

Problematikk knyttet til fremmedvann i avløpsnettet i Holvika

Lokalisering av innlekket fremmedvann
Utarbeidelse av kost-nytte analyse for aktuelle tiltak



BJØRNAR VALLE
NYGÅRDSETER



LASHAND SIVATHASAN
NADARAJAH



ALI REZA
HEIDARI

VEILEDERE

Helge Liltved, UiA
Tore Terkelsen, Asplan Viak AS
Geir Knudsen, Grimstad Kommune

Universitetet i Agder 2017

Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap



Obligatorisk gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer avslutningen på vår treårige ingeniørutdanning innen bygg ved Universitetet i Agder, institutt for teknologi og realfag. Oppgaven har et omfang på 20 studiepoeng, og er skrevet våren 2017 i samarbeid med konsulentfirmaet Asplan Viak AS og Grimstad kommune.

Omfang og rammer for oppgaven har blitt definert i samarbeid med intern og eksterne veiledere. Oppgaven ble valgt med bakgrunn i vår interesse for vann- og avløpsteknikk, og vårt engasjement for å tilegne oss kunnskaper innen VA-teknikk. Alle forfatterne av oppgaven har fullført 10 poengsemnet «Vann- og Avløpsteknikk» ved UiA.

For Norges kommuner er fremmedvann på avløpsnett et svært aktuelt og utfordrende tema. Et stadig forfallende ledningsnett kombinert med økningen av intense og hyppige nedbørsepisoder, byr på store utfordringer. For å imøtekomme stadig strengere krav og forskrifter står kommunene overfor et stort arbeid. Grimstad kommune har derfor stor interesse av denne studien, og de funn som er fremstilt i denne studien vil være relevante i deres videre arbeid.

Gruppen vil rette en stor takk til intern veileder og foreleser i VA-faget, Helge Liltved. Han har vært svært behjelpelig med faglig påfyll, undersøkelser på lab, og har delt sin erfaring med oss. En stor takk til Tore Terkelsen og Dagfinn Jensen fra Asplan Viak AS, samt Geir Knudsen fra Grimstad kommune for deres engasjement, bidrag med utstyr, og veiledning. Også en stor takk til mannskapet fra teknisk etat i Grimstad kommune.

Samtlige veiledere har bidratt til at gruppen har fått et stort læringsutbytte av oppgaven, og har løst oppgaven med de best mulige forutsetninger.

Vi håper Grimstad kommune og private aktører innen VA-bransjen kan bruke våre resultater og analyser som et ledd i deres videre arbeid med avløpsnett i Holvika.

Grimstad, 15. mai 2017

Lashand Sivathasan Nadarajah

Ali Reza Heidari

Bjørnar Valle Nygårdseter

Summary

Sewage systems in Norway are today facing a significant challenge regarding inflow and infiltration. Due to a rapidly changing environment and increasing precipitation with high intensity, the amount of inflow is increasing in a sewage system in poor condition [1]. RIF (Association of Consulting Engineers, Norway) gives the condition of sewage systems in Norway 2 out of 5 points, where 5 is considered excellent [2].

The purpose of this report is to locate and estimate the amounts of inflow and infiltration into the sewage system in Holvika, Grimstad. It also presents a cost-benefit analysis for short-term and long-term measures that can be taken to reduce or prevent furthermore inflow. The municipality of Grimstad has not yet done a complete search for inflow/infiltration in the assigned area, although data shows increased pumping of sewage in periods with intense rainfall.

To achieve these objectives, manual measurements of water-levels and temperature have been completed in the sewage system in both rainfall and dry weather at night. In addition to manual measurements, two electronic flow measuring devices have been installed in selected manholes. To get a complete overview of possible factors contributing to inflow/infiltration, water analysis of sewage water samples and a visual analysis of manholes have also been completed.

Various methods utilized in this bachelor thesis shows that inflow water in the sewage system in Holvika poses around 46 627 m³ per year, 40 % of the total amount of sewage. Our calculations result in a cost estimated to 331 500 NOK per year only in additional costs related to cleansing and pumping due to inflow and infiltration. These numbers are based on results from flow measurements.

The provided cost-benefit analysis contains a list with suggested measures that should be taken to reduce the amount of inflow water in this area. These costs are calculated with estimated prices from suppliers and consultants. Cost saving calculations shows that the municipality can to save approximately 144 000 NOK per year over a 100-year period if all discovered problems are solved.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk gruppeerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
Forord.....	iii
Summary	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste	ix
Tabelliste	xi
1. Innledning.....	1
2. Samfunnsperspektiv	2
2.1 Miljøkonsekvenser av fremmedvann.....	2
2.2 Økonomiske konsekvenser	3
2.3 Hvorfor redusere fremmedvann i avløpssystemet?	4
2.3.1 Miljømessig nytte	4
2.3.2 Samfunnsøkonomisk nytte	4
3. Teori.....	5
3.1 Urbanisering og befolkningsvekst.....	5
3.2 Klimaendringer	7
3.3 Avløpssystemer	8
3.3.1 Generelt.....	8
3.3.2 Utfordringer.....	8
3.4 Fremmedvann	9
3.4.1 Årsaker til fremmedvann	9
3.4.2 Kilder til fremmedvann	11
3.4.3 Tiltak for reduksjon av andel fremmedvann	12
3.5 Fornyelse av VA-ledninger med ” NoDig” metoder	13
3.5.1 Ulike NoDig-metoder	13
3.5.2 Strømperenovering.....	14
3.6 Nivellement.....	15
3.6.1 Kontroll av nivelleringskikkert	15
3.6.2 Avlesning av høyde og distanse.....	16
3.7 Kjemiske og fysiske parametere	17
3.8 Beregning av vannmengde.....	18
3.8.1 Beregning av teoretisk vannmengde	18
3.8.2 Beregning av vannmengde ved bruk av Darcy Weissbachs ligning	18
3.8.3 Beregning av fremmedvannandel ved bruk av fortynningsmetoden.....	19

3.8.4 Livssyklus kostnader for bruk i kost-nytte analyser.....	20
4. Forskerspørsmål	23
4.1 Formulert forskerspørsmål med delmål	23
5. Case	24
5.1 Beskrivelse av området	24
5.1.1 Generelt	24
5.1.2 Topografi og grunnforhold	25
5.1.3 Innbyggere og bebyggelse	26
5.1.4 Oppbygning av avløpssystemet	27
5.1.5 Byggeår	28
5.1.6 Pumping inn til området	28
6. Metode	30
6.1 Helse, Miljø, Sikkerhet (HMS)	30
6.2 Soneinndeling.....	30
6.3 Kummer for vannhøydemåling	31
6.3.1 Valg av kummer	31
6.3.2 Inspeksjon av kummer: vannhøyde- og temperaturmåling	31
6.4 Valg av kummer for kjemisk og fysisk vannanalyse	33
6.4.1 Utførelse av kjemisk og fysisk vannanalyse	33
6.5 Tilstandsanalyse av kummer	35
6.6 Elektronisk innhenting og lagring av data	36
6.6.1 Nivus PCM 4.....	36
6.6.2 Teledyne ISCO 2150 vannmengdemåler.....	37
6.6.3 Casella nedbørmåler	37
6.7 Nivellement	38
6.8 Dataverktøy og programvarer.....	39
6.8.1 Gemini portal	39
6.8.2 Regnbygge.no	39
6.8.3 Bearbeiding av logget data fra elektroniske vannmengdeloggere.....	39
6.8.4 Teledyne ISCO Flowlink 5.1 Software	40
6.9 Røyktesting.....	41
6.10 Rørinspeksjon med kamera	42
6.11 Beregning av fremmedvannmengder ved fortynningsmetoden	43
6.12 Teoretisk avløpsvannsmengde.....	44
6.13 Beregning av fremmedvannmengder basert på vannmengdemålinger	44
6.13.1 Konstant innlekking	44
6.13.2 Direkte nedbørsbetiget innlekking	44

6.14	Kostnad knyttet til fremmedvann	45
6.15	Vurdering av tiltak.....	45
6.15.1	Multikriterieanalyse.....	45
6.15.2	Beregning av nåverdi og årskostnader basert på LCC	46
7.	Resultater	47
7.1	Elektroniske vannmengdemåling.....	47
7.2	Endring i temperatur i nedbør og tørrværsavrenning	50
7.3	Pumping fra Holvika pumpestasjon	51
7.4	Pumping fra andre områder ved store regnbyger	52
7.4.1	Molland pumpestasjon	52
7.4.2	Østerhus 2 pumpestasjon.....	53
7.5	Korrelasjon mellom parametere.....	54
7.5.1	Korrelasjon mellom Tot-P og ledningsevne.....	54
7.5.2	Korrelasjon mellom vannhøyde og Tot-P	55
7.5.3	Korrelasjon mellom vannhøyde og turbiditet	55
7.6	Kjemisk og fysisk vannanalyse	56
7.7	Vannhøydemålinger	60
7.8	Beregning av fremmedvannmengder basert på vannhøydemålinger	61
7.9	Økonomiske beregninger knyttet til pumping og rensing av fremmedvann.....	64
7.9.1	Konstant nedbørsuavhengig innlekking basert på vannmengdemålinger	64
7.9.2	Direkte nedbørsavhengig innlekking basert på vannmengdemålinger	64
7.9.3	Total kostnadsberegning basert på vannhøydemålinger	65
7.10	Beregning av fremmedvannmengder basert på fortynningsmetode	66
7.11	Røyktesting.....	67
7.12	Rørinspeksjon med kamera	68
7.12.1	Langemyrjordet (sone 1)	68
7.12.2	Holvikasvingen gang/sykkelvei (sone 2)	69
7.13	Tilstandsanalyse av kummer	70
8.	Diskusjon	71
8.1	Totalvurdering. Hvor forekommer det betydelige mengder fremmedvann?	71
8.1.1	Grafisk fremstilling av konstant innlekking.....	71
8.1.2	Grafisk fremstilling av nedbørsbetiget innlekking.....	72
8.1.3	Sone 1	73
8.1.4	Sone 2	74
8.1.5	Sone 3	75
8.1.6	Sone 4	76
8.1.7	Sone 5	77

8.1.8 Sone 6	78
8.1.9 Oppsamlende utløpskum for hele området	79
8.2 Miljøutfordringer	80
8.3 Kost-nytte analyse for aktuelle tiltak	81
8.3.1 Vurdering etter sonespesifikke forhold	81
8.3.2 Multikriterieanalyse	86
8.3.3 Kostnadsestimat av aktuelle tiltak	87
8.3.4 Estimert av innsparing ved gjennomføring av spesifiserte tiltak	89
8.3.5 Prioritering av tiltak for reduksjon av fremmedvann	90
8.4 Vurdering av metoder benyttet i oppgaven	91
8.4.1 Vannhøydemåling	91
8.4.2 Temperaturmåling	91
8.4.3 Elektroniske vannmengdeloggere	92
8.4.4 Kjemisk og fysisk vannanalyse	92
8.5.5 Beregning av fremmedvann basert på fosforkonsentrasjon	93
9. Konklusjon	94
10. Anbefalinger	96
11. Referanser	97
12. Vedlegg	100

Figurliste

Figur 2. 1: Algeoppblomstring/eutrofiering [49]	2
Figur 2. 2: Drikkevannslekkasjer (%) i ulike land [9]	3
Figur 3. 1: Folketall i Norge, 1.okt.2016 [12]	5
Figur 3. 2: Oversikt over fornyelse av avløpsnett i samtlige norske fylker [17]	9
Figur 3. 3: Grafisk fremstilling av årsaker og kilder til fremmedvann [4] [15]	10
Figur 3. 4: Grensen mellom det private og offentlige VA-anlegget i tilkoblingspunktet på offentlig ledning [19].....	13
Figur 3. 5: Nivelleringskikkert [21].....	15
Figur 3. 6: Kontroll av nivelleringskikkert [21].....	15
Figur 3. 7: Avlesning av høyde og distanse på nivelleringsstang [21]	16
Figur 3. 8: Relasjon mellom vannføring, vannhastighet og hydraulisk radius ved ulike delfyllinger [26]	18
Figur 3. 9: Forklaring på Brettings formel for delfylling i røret	19
Figur 3. 10: Grafisk forklaring av nåverdi [27]	20
Figur 3. 11 Grafisk forklaring av årskostnader [27]	21
Figur 5. 1: Oversikt over området med avløpsledninger knyttet til oppgaven	24
Figur 5. 2: Grunnforhold i Holvika-området [29].....	25
Figur 5. 3: Oversikt over områder med permeable flater	26
Figur 5. 4: Oversikt over ledningsnettets byggeår	28
Figur 5. 5: Oversikt over pumpestasjoner som pumper avløpsvann inn til Holvika pumpestasjon.....	29
Figur 6. 1: Soneinndeling av utvalgt område.....	30
Figur 6. 2: Utvalgte kummer for måling av vannmengde og temperatur	31
Figur 6. 3: Vannhøyde- og temperaturmåling	32
Figur 6. 4: Utdrag av skjema for vannhøyde- og temperaturmåling.....	32
Figur 6. 5: Utvalgte kummer for prøvetaking.....	33
Figur 6. 6: Fra venstre - måling av pH-verdi, turbiditet og ledningsevne.....	34
Figur 6. 7: Tot-P analyser av prøver.....	35
Figur 6. 8: Utdrag fra tilstandsanalyseskjema	36
Figur 6. 9: Uthenting av data fra elektronisk vannmengdemåler (Nivus PCM 4) i felt	36
Figur 6. 10: Uthenting av data fra vannmengdemåler (ISCO 2150) i felt	37
Figur 6. 11: Casella nedbørsmålere med vippekarfunksjon	37
Figur 6. 12: Nivellering av ledningsstrekke.....	38
Figur 6. 13: Skjermdump av Holvikasvingen, Gemini portal	39
Figur 6. 14: Inndata lagt inn av gruppen for registrering av vannmengde, hastighet og temperatur ..	40
Figur 6. 15: Røyktesting sammen med Grimstad kommune.....	41
Figur 6. 16: Oversikt over ledningsstrekke for røyktesting	41
Figur 6. 17: Rørinspeksjon med kamera utført av Søgne Rørservice	42
Figur 6. 18: Oversikt over ledningsstrekke for rørinspeksjon med kamera	43
Figur 7. 1: Vannmengde inn til Holvika pumpestasjon i tørrvær og nedbør.....	47
Figur 7. 2: Vannmengde inn til Holvika pumpestasjon i tørr- og nedbør	48
Figur 7. 3: Vannmengde til innløpet i Holvika pumpestasjon i nedbør og nedbørsmengde.....	48
Figur 7. 4: Vannmengde i tørrvær og nedbør for sone 1 og 3.....	49
Figur 7. 5: Vannmengde i nedbør og nedbørsmengde for sone 1 og 3.....	49

Figur 7. 6: Temperaturendringer for hele området i tørrvær og regnvær i innløpet til Holvika pumpestasjon	50
Figur 7. 7: Sammenheng mellom nedbørsmengde og gangtid for Holvika pumpestasjon i perioden 2.8	51
Figur 7. 8: Sammenheng mellom nedbørsmengde og gangtid for Molland pumpestasjon	52
Figur 7. 9: Sammenheng mellom nedbørsmengde og gangtid for Østerhus 2 pumpestasjon	53
Figur 7. 10: Korrelasjon mellom Tot-P og ledningsevne, korrelasjon= 0,81.....	54
Figur 7. 11: Korrelasjon mellom vannhøyde og Tot-P, korrelasjon= -0,47.....	55
Figur 7. 12: Korrelasjon mellom vannhøyde og turbiditet, korrelasjon= -0,35.....	55
Figur 7. 13: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for fosforkonsentrasjoner i både tørrvær og nedbør	56
Figur 7. 14: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for temperatur i både tørrvær og nedbør ..	57
Figur 7. 15: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for ledningsevne i både tørrvær og nedbør	58
Figur 7. 16: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for turbiditet i både tørrvær og nedbør.....	59
Figur 7. 17: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for vannhøyde i tørrvær og nedbør	60
Figur 7. 18: Grafisk fremstilling av mengde innlekket fremmedvann m3 pr. døgn pr. km ledningsnett	62
Figur 7. 19: Resultater fra røyktesting. Til venstre: feilkoblet taknedløp, til høyre: røyk stigende opp fra stakeluke uten lokk på terrasse	67
Figur 7. 20: Utløpskum, kum nr. 15886	70
Figur 7. 21: Kum nr. 10365	70
 Figur 8. 1: Kart over foreslåtte tiltak	 88

Tabelliste

<i>Tabell 3. 1: Oversikt over ulike NoDig-metoder og egenskaper</i>	14
<i>Tabell 5. 1: Boenheter og innbyggere pr. sone</i>	27
<i>Tabell 6. 1: Det beregnede teoretiske vannforbruket for ulike soner i vårt område</i>	44
<i>Tabell 7. 1: Gjennomsnitt og standardavvik for fosforkonsentrasjoner i tørrvær, n=3</i>	56
<i>Tabell 7. 2: Gjennomsnitt og standardavvik for fosforkonsentrasjoner i nedbør, n=3</i>	56
<i>Tabell 7. 3: Gjennomsnitt og standardavvik for temperaturmålinger i tørrvær, n=3</i>	57
<i>Tabell 7. 4: Gjennomsnitt og standardavvik for temperaturmålinger i nedbør, n=3</i>	57
<i>Tabell 7. 5: Gjennomsnitt og standardavvik for ledningsevne i tørrvær, n=3</i>	58
<i>Tabell 7. 6: Gjennomsnitt og standardavvik for ledningsevne i nedbør, n=3</i>	58
<i>Tabell 7. 7: Gjennomsnitt og standardavvik for turbiditet i tørrvær, n=3</i>	59
<i>Tabell 7. 8: Gjennomsnitt og standardavvik for turbiditet i nedbør, n=3</i>	59
<i>Tabell 7. 9: Gjennomsnitt og standardavvik ved tørrværsmålinger, n=3</i>	60
<i>Tabell 7. 10: Gjennomsnitt og standardavvik ved nedbørsmålinger, n=3</i>	60
<i>Tabell 7. 11: Beregnet konstant nedbørsuavhengig innlekking pr. sone</i>	61
<i>Tabell 7. 12: Direkte nedbørsavhengig innlekking pr. sone</i>	61
<i>Tabell 7. 13: Totale fremmedvannmengder pr. sone og totalt</i>	62
<i>Tabell 7. 14: Total andel fremmedvann pr. sone og totalt</i>	63
<i>Tabell 7. 15: Totale kostnader tilknyttet konstant innlekking</i>	64
<i>Tabell 7. 16: Kostnader knyttet til nedbørsavhengig innlekking, pr. mm</i>	64
<i>Tabell 7. 17: Kostnader knyttet til nedbørsbetinget innlekking, pr. år</i>	65
<i>Tabell 7. 18: Totale kostnader knyttet til fremmedvanninnlekking i Holvika</i>	65
<i>Tabell 7. 19: Gjennomsnittlige fosforkonsentrasjoner for hver sone</i>	66
<i>Tabell 7. 20: beregnet fremmedvannsandel ved fosformetode</i>	66
<i>Tabell 8. 1: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 1</i>	81
<i>Tabell 8. 2: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 2</i>	83
<i>Tabell 8. 3: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 3</i>	84
<i>Tabell 8. 4: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 4</i>	84
<i>Tabell 8. 5: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 5</i>	85
<i>Tabell 8. 6: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 6</i>	85
<i>Tabell 8. 7: Kost-nytte for aktuelle tiltak i utløpskummen</i>	86
<i>Tabell 8. 8: Generell vurdering av risiko, kostnader og nytte av vanlige tiltak</i>	87
<i>Tabell 8. 9: Kostnadsestimering av aktuelle tiltak</i>	87
<i>Tabell 8. 10: Forutsetninger for å beregne nåverdi og årskostnad</i>	89
<i>Tabell 8. 11: Estimert av innsparing ved gjennomføring av tiltak ved investering</i>	89

1. Innledning

Dagens avløpssystem i Norge vil møte store utfordringer i årene som kommer. Det har store vedlikeholdsetterlep, og er generelt sett ikke dimensjonert for fremtidig befolkningsvekst, urbanisering og klimaendring. I tillegg har Norge stor andel fremmedvann i avløpssystemet, og undersøkelser viser at Norge kommer dårligere ut enn nabolandene Sverige og Danmark [3]. Store mengder fremmedvann i avløpsnettene kan overbelaste systemet og medføre store økonomiske, samfunnsmessige og miljømessige konsekvenser.

Fremmedvann defineres som vann i avløpsledninger som ikke kommer av spillvannsproduksjon. Fremmedvann kan komme fra flere kilder, som grunnvann, drensvann, overvann fra overflater, utlekket drikkevann og bekkevannsinntak [4]. Fremmedvann er stort sett rent, og trenger derfor som regel ikke å bli rensset. Fremmedvann i avløpssystemet er derfor uønsket.

Ifølge Vannforsk koster fremmedvann Norge omtrent 1 milliarder kr per år [5]. Innlekking av fremmedvann fører til større driftskostnader for både pumpestasjoner og renseanlegg. Overbelastning av ledningsnettene på grunn av store mengder fremmedvann medfører også store skader på private eiendommer og infrastruktur. Et typisk eksempel er kjelleroversvømmelser ved intense nedbørsepisoder. I tillegg medfører fremmedvann overløp som gir miljømessige konsekvenser i form av forurensing og algeoppblomstring i resipienter.

Hensikten med oppgaven er å lokalisere og beregne mengden fremmedvann i avløpssystemet i Holvika, og deretter lage en kost/nytteanalyse som gir grunnlag for å prioritere tiltak for å redusere dette problemet.

Resultatene fra oppgaven er nyttige i arbeidet med å belyse områder med mye fremmedvann i Grimstad kommune, samt danne et grunnlag for at hensiktsmessige samfunnsøkonomiske investeringer blir gjort.

2. Samfunnsperspektiv

2.1 Miljøkonsekvenser av fremmedvann

Fremmedvann i avløpsnett medfører behov for større dimensjoner på ledninger, pumper og renseanlegg. Ved store mengder fremmedvann i avløpsnett kan kapasiteten overskrides, og det kan føre til overløp. Dette resulterer i urensset utslipp fra ledningsnett og renseanlegg [6]. Det medfører stor fare for at resipienten bli forurenset, noe som har store konsekvenser for akvatisk liv. Store utslipp av avløpsvann medfører store konsentrasjoner av næringsstoffer i resipientene som igjen fører til eutrofiering, også kjent som algeoppblomstring. Store algemengder kan gi uønsket farge og smak på vannet, samt dårlig levekår for dyr i og ved vannet [7].

Enkelte algearter kan også utvikle *giftstoffer*. Disse giftene er skadelige for mennesker og dyr, og kan føre til at vann blir uegnet for menneskelig bruk. Når algene dør synker de til bunnen, hvor de brytes ned til CO₂ og vann ved hjelp av bakterier som forbruker oksygen. Dette medfører lave oksygenkonsentrasjoner i vannet, og dermed problemer for akvatisk liv i vannet [7].

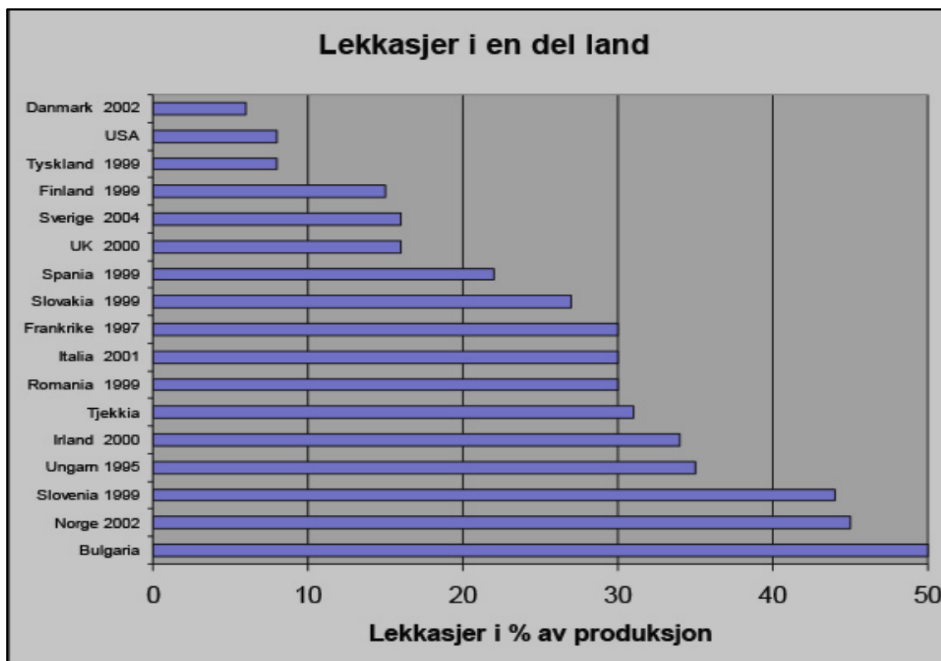


Figur 2. 1: Algeoppblomstring/eutrofiering [49]

Overløp utsetter også resipientene for utslipp av *organiske stoffer*. Organiske stoffer stammer hovedsakelig fra husholdninger, proteiner, karbohydrater og fettstoffer. For høy tilførsel av organisk stoff fra avløpsutslipp kan føre til begroing i elver og bekker, samt oksygensvikt i innsjøer og fjorder. Lavt oksygeninnhold kan gjøre det ulevelig for fisk og andre akvatiske organismer, samt føre til råtne forhold og lukt. For eksempel er det fare for dannelse av hydrogensulfid. Resultatet av disse forholdene kan gjøre resipienten uegnet som rekreasjonsområde og drikkevannskilde [8].

2.2 Økonomiske konsekvenser

Norge har større mengde fremmedvann i avløpssystemet enn nabolandene Sverige og Danmark. Selv om Norge har betydelig mindre drensvann fra bygninger i avløpsnett i forhold til Sverige, samt halvparten så stor andel fellessystem som Danmark, er det likevel Norge som har den største andelen fremmedvann blant landene. Hovedårsaken til dette er det dårlige ledningsnett i Norge og mange drikkevannslekkasjer. Ingen andre vestlige land har så mye drikkevannslekkasjer som Norge [4].



Figur 2. 2: Drikkevannslekkasjer (%) i ulike land [9]

Ifølge Vannforsk koster fremmedvann Norge omtrent 1 milliarder kr per år. Innlekking av fremmedvann fører til større driftskostnader. Dette kommer av at store mengder fremmedvann krever ekstra rensing og medfører økt bruk av kjemikaler og mer energi enn hva som ellers hadde vært nødvendig på rensianleggene. I tillegg vil fremmedvann medføre økt pumping, økt vedlikehold på anlegg og større forbruk av utstyr [4].

Innlekking av fremmedvann i ledningsnett har også betydning for størrelsen på rensianlegget. Større mengder vann krever større arealer til rensing, og det må dermed bygges større rensianlegg. Dette medfører administrasjons- og byggekostnader. Større rensianlegg krever flere ansatte til drift og vedlikehold, noe som gir høyere lønnskostnader. I tillegg er det økonomiske konsekvenser knyttet til opprydding etter overløp som kan inntreffe ved stor vannføring i rørene [5].

Store mengder fremmedvann kan også medføre overbelastning av ledningsnett, som igjen fører til store skader på private eiendommer og infrastruktur. Dette skjer særlig ved store nedbørperioder som kan forårsake kjelleroversvømmelser. Ved store nedbørperioder kan ikke avløpsledningen klare å håndtere vannmengden på grunn av alt fremmedvann som gjør at kapasiteten på ledningene overstiges, og urent vann strømmer ut i nærliggende påkoblinger [10].

2.3 Hvorfor redusere fremmedvann i avløpssystemet?

Reduksjon av fremmedvannmengden i avløpssystemet vil redusere forurensningsutslippene og utgiftene til drift av renseanleggene i norske kommuner. Det vil også hjelpe kommunene med å møte de strenge kravene i forurensningsforskriften og vannforskriften som sikrer innbyggere gode VA-tjenester.

Utskifting av avløpsledninger krever mye tid og ressurser. Det er derfor ofte mer hensiktsmessig å lokalisere lekkasjer og feilkoblinger i eksisterende avløpsnett, og deretter komme med konkrete tiltak for å redusere fremmedvannmengden [5]. Reduksjon av fremmedvann gir både miljømessig- og samfunnsøkonomisk nytte.

2.3.1 Miljømessig nytte

Den miljømessige gevinsten av tiltak som reduserer fremmedvann er bedret badevannkvalitet, bedre vannkvalitet i vassdragene, bedre leveforhold for akvatisk liv, mindre utslipp og bedre opplevelseskvalitet knyttet til rekreasjonsområder. I tillegg blir det lettere for kommunen å oppnå miljømålene satt i vannforskriften. Nyten for disse er det ikke mulig å sette kroneverdi på. Dette går under ikke prissatte virkninger, det vil si at nytten for miljø og samfunn er ikke kvantifiserbar [11].

2.3.2 Samfunnsøkonomisk nytte

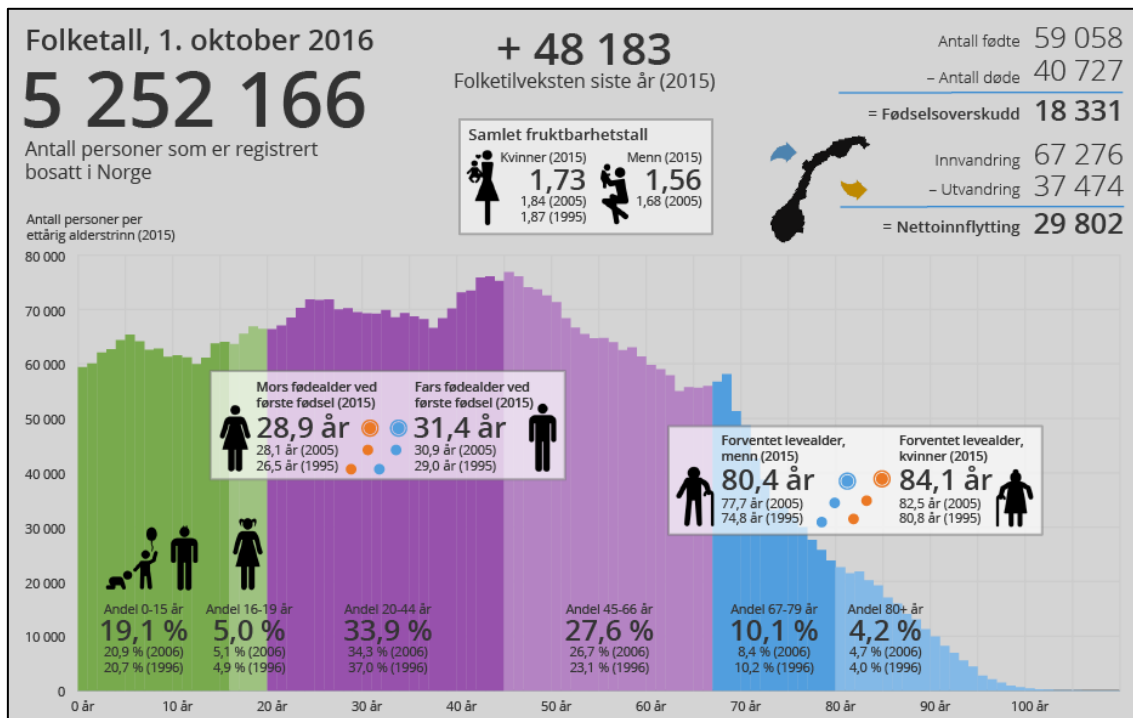
Samfunnsøkonomisk nytte er all samfunnsmessig nytte knyttet til tiltakene mot fremmedvann. Den fremste nytten er en betydelig reduksjon av fremmedvannmengde i avløpssystemet som medfører reduksjon i kostnader tilknyttet rensing og pumping av fremmedvann. Sparte kostnader knyttet til dette kan istedenfor brukes til for eksempel å bedre det offentlige tjenestetilbudet i kommunene. Samfunnsøkonomisk nytte kan dermed regnes som prissatte virkninger og kan settes kroneverdi på [11].

3. Teori

3.1 Urbanisering og befolkningsvekst

Som følge av økt befolkningsvekst i Norge skjer det en hurtig urbanisering. Spesielt i tettsteder er befolkningsveksten høy, og det medfører behov for bedre infrastruktur. Urbanisering fører til økt andel tette flater, som igjen fører til at vegetasjon og naturlig drenerende flater blir fjernet.

Eksempler på tette flater er hustak, gater, vegger og flyplasser. Dette betyr at naturlig permeabel grunn og naturlige vannveger blir fjernet [12].



Figur 3. 1: Folketall i Norge, 1.okt.2016 [12]

Store deler av det eksisterende avløpsnettets ble dimensjonert og bygget for mange år siden. Da ble det ikke tatt høyde for økningen i regntintensitet som følge av klimaendringer som vi ser i dag. I tillegg planlegges nye byggeprosjekter tettere med formål om å skape kompakte byer med sentrale boliger. Dette går også utover et avløpssystem som allerede er overbelastet [13].

Sammen med klimaendringene utgjør foretting en stor utfordring med tanke på overvannshåndtering i urbane områder. Det er behov for økt forskning innen avrenningsmønstre i urbane områder, og utvikling av tekniske løsninger for lokal overvannsdistribusjon for å dempe flommer og effekter av forurensning fra overvann [5]. I tillegg til økende urbanisering, foregår det en endring i industri og tjeneste-virksomheter. Produksjonsindustri som næringsmiddelindustrien sentraliseres ytterligere, samtidig som det er en økt sentralisering av hotell- og restaurantindustri. Dette har ytterligere konsekvenser for avløpsanlegg i urbane områder, da det kan føre til overbelastning av avløpsrenseanleggene i byene [5].

VannForsk skriver i en rapport om FoU-behovet i vannsektoren at befolkningsøkningen i et område fører til en økning av vannbehov og mengden avløpsvann som produseres. For dimensjonering av nye VA-anlegg og systemer må verktøy og metoder som kan analysere hva som er teknisk og økonomisk optimalt benyttes. Erfaringsmessig dimensjoneres det for en fremtidig belastning som ikke er i overenstemmelse med det faktiske bildet i ettertid. Dette kan føre til en lite bærekraftig utbygging av VA-anlegg. Det er av den grunn viktig med en tverrfaglig planleggingsprosess, med kompetente fagmiljøer innen by- og regionalplanlegging samt økonomisk planlegging [5].

Det er stor risiko knyttet til flomskader. Flomskader er forstyrrende for trafikk i byene og kan gi forsinkelser både for kollektiv- og nyttetrafikk. Flommer gir skader på veger i form av erosjonsskader, og det er fare for vannskader i private boliger. Folkehelse er i tillegg utsatt da det er knyttet risiko til smitte og infeksjoner ved kontakt med infisert avløpsvann. Næringslivet kan igjen oppleve mindre omsetning som følge av produksjonsstans og vannskader på lokaler og lager. I tillegg er det fare for skade på komponenter i VA-systemet, samt strøm- og telefonkabler [13].

Miljøskader er ikke til å unngå da det forekommer store forurensningsutslipp som følge av avløpsanlegg som overbelastes, i tillegg til skadde kjemikalie- og oljetanker fra industri. Kommunalt ansatte og private virksomheter innen VA-sektoren må legge ned et større arbeid for å få et bedre ledningsnett, ettersom det i fremtiden vil forekomme økte utslipp gjennom overløp og infiltrasjonsvann i rør på grunn av økt grunnvannsnivå om dagens standard ikke bedres [8].

3.2 Klimaendringer

Værmålingene i Norge startet i 1860. Siden den gang har det blitt observert en ensrettet utvikling. Middelttemperaturen på jorden har siden den gang steget med 0,74 grader, og i det siste har andelen ekstremvær økt kraftig. I Norge kommer vi til å oppleve en økning i nedbør på 5 til 20 %, og enda hyppigere ekstremvær [14]. Økende global temperatur medfører økt smelting på polene og stigende havnivå.

Ved prosjektering av VA-anlegg er denne utviklingen noe som må tas i betraktning. Et resultat av ekstremvær blandet med urbanisering er tettere flater med større avrenning ved regnvær. Det er derfor viktig å dimensjonere overvannssystemet stort nok slik at ikke fare for stor innlekking på avløpsledningen til renseanlegget oppstår. Dette vil medføre økte utgifter i form av rensing, pumping og risiko for skader på anlegg og husstander. Der hvor det er fellessystem bør det også snarest legges om til separate system for avløp- og overvann.

Det er ikke klimaendringer i seg selv som fører til innlekking av fremmedvann, men konsekvensene øker markant med dem. De forventede klimaendringene vil med dagens kvalitet på ledningsnett øke mengden fremmedvann i avløpssystemet betraktelig. Dette vil komme av økt grunnvannsspeil og nedbørsavhengig innlekking fra feilkoblede takrenner, gatesluk og lignende [4].

3.3 Avløpssystemer

3.3.1 Generelt

Det finnes to typer avløpssystem i Norge; felles og separate avløpssystemer. Forskjellen på fellessystem og separatsystem er hovedsakelig at førstnevnte fører både spillvann og overvann i samme rør til renseanlegg. I et separatsystem er det egne rør for overvann som ledes direkte ut til resipient, og spillvann som føres til renseanlegget. Fordelen med separate systemer er at det i teorien bare skal komme forurenset vann inn på renseanlegget, noe som minker ressursbruken til rensing av ellers rent vann, slik som i fellessystemer. I Norge finnes det i dag ca. 7 600 km med fellesledninger, 27 600 km separate spillvannsledninger og 19600 km separate overvannsledninger. Dette gir til sammen 54 800 km med kommunale avløpsledninger [15].

Tilstanden på avløpssystemer i Norge varierer fra kommune til kommune, men generelt holder norske avløpssystemer en dårlig tilstand, slik at funksjonaliteten er truet. RIF (Rådgivende Ingeniørers Forening) gir det norske avløpssystemet karakteren 2 av 5, og påstår at det vil det koste 100 milliarder NOK å oppgradere systemet til et akseptabelt nivå [16].

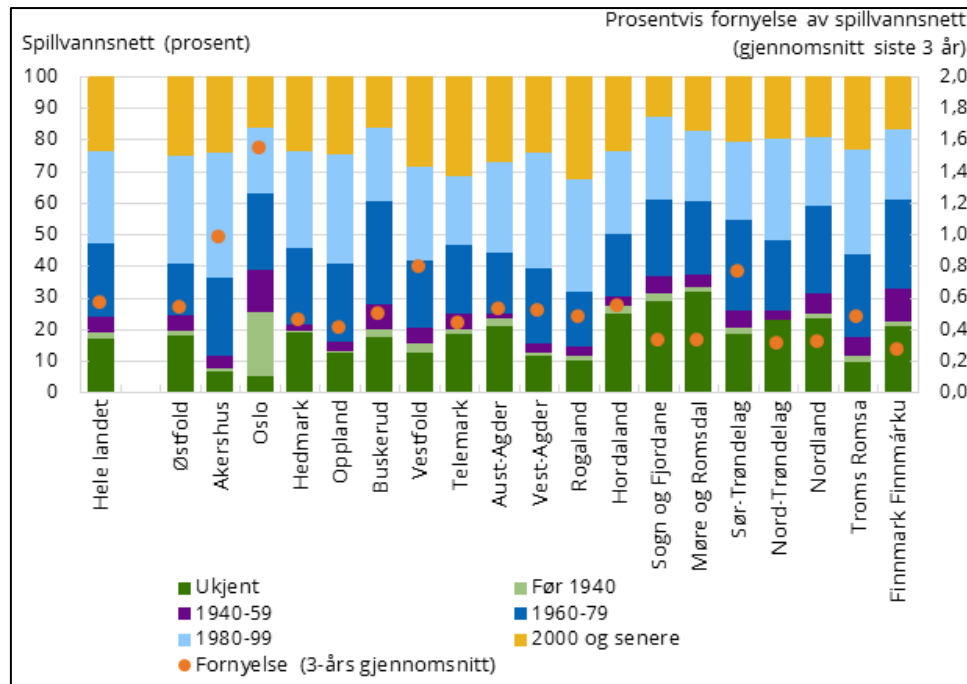
Tilstanden på det norske avløpsnettet er påvirket av forholdene nedenfor, noe som gjør utslipps- og hydraulisk kontroll vanskelig for norske kommuner [16]:

- Innlekking og utlekking av fremmedvann på grunn av utette ledninger og kummer
- Store mengder vann i avløpssystemet på grunn av fellessystem, felleskummer og feilkoblinger
- Svært mange overløp av varierende størrelse og utforming med mangelfull hydraulisk kontroll
- Mangelfull informasjon om avløpssystemet

3.3.2 utfordringer

Avløpssystemet i Norge vil i årene som kommer møte store utfordringer. Det foreligger et vedlikeholdsetterlep, og sammen med prognoser om økt befolkning i byer, urbanisering og klimaendring vil dette gi ytterligere utfordringer. Strengere regelverk stiller økt krav til avløpstjenestens kvalitet og sikkerhet.

Rekrutteringen til VA-sektoren er lav, og må økes for å kunne oppfylle kommende behov. Andelen utskiftet kommunalt avløpsnett var i 2015 på 0,62%, noe som gjør at ledningsnettet må ha lengere levetid enn det de er dimensjonert for. Regjeringen har derfor fastsatt som et nasjonalt mål at landets ledningsnett skal fornyes med minst 2% hvert år fremover [9]. I følge Norsk Vann er det kun 310 km vannledninger som fornyes hvert år. Dette må økes til 540 km om etterselepet skal imøtekommes innen 2040.



Figur 3. 2: Oversikt over fornyelse av avløpsnett i samtlige norske fylker [17]

3.4 Fremmedvann

Definisjon

Fremmedvann defineres som vann i avløpsledninger som ikke kommer av spillvannsproduksjon. Fremmedvann kan differensieres inn i to hovedkategorier [15].

1. Hydrologisk betinget/nedbørsbetinget fremmedvann
2. Hydrologisk uavhengig/konstant innlekket fremmedvann

3.4.1 Årsaker til fremmedvann

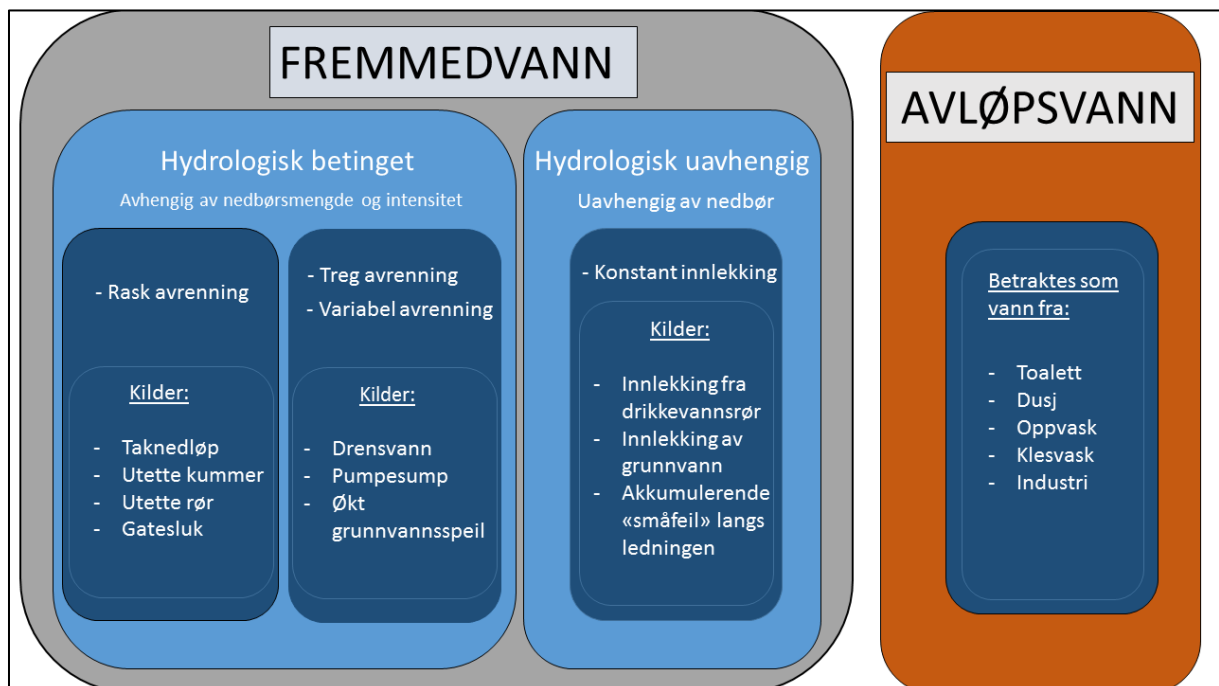
Hydrologisk betinget fremmedvann kan deles inn i to ytterlige underkategorier: *direkte* og *indirekte nedbørsbetinget fremmedvann*. Begge underkategoriene har til felles at de er avhengige av nedbørmengde og intensitet. Hydrologisk uavhengig fremmedvann er uavhengig av nedbør [4].

Direkte nedbørsbetinget fremmedvann er tilknyttet *rask nedbørsavrenning* fra tette flater, og skyldes direkte inntrengning inn i avløpsledningene. Sjeldent er alle overvannsrør fullstendig tette, og det forekommer lekkasjer fra disse rørene som trenger inn i avløpsledningene. Andre årsaker kan være utette kumlokk, feilkoblede gatesluk og nedløp fra takrenner. Feilkoblede taknedløp gir rask respons på økt tilrenning ved nedbør, da det er store flater som gir direkte avrenning inn i spillvannsledningen. Denne typen fremmedvann gir de mest intense tilførslene, og kan merkes momentant på økt vannføring i rørene [4].

Indirekte nedbørsbetiget fremmedvann er tilknyttet *treg avrenning* og *variabel innlekking* fra tette flater, og oppstår ved forhøyet grunnvannstand ved mye nedbør. Årsaker til innlekking på grunn av dette kan være feilkoblede drenerør, utette rørsjøter og sprukne rør. Fremmedvann fra treg avrenning bruker lang tid på å lekke inn i avløpsledninger, ettersom det infiltrerer grunnen først [15].

Hydrologisk uavhengig fremmedvann er derimot typisk inntrenging av grunnvann eller lekkasje på drikkevannsledning som renner over i spillvannsledningen. Det utlekkede drikkevannet og grunnvannet trenger inn i avløpsledningen, og blir dermed omtalt som *konstant innlekking*. Konstant innlekking gir det største bidraget til innlekket fremmedvann i Norge i dag [4]. Det utgjør på landsbasis omtrent halvparten av den totale vannføringen i avløpsledninger. Det er hovedsakelig utette skjøter, sprekker i rør, samt lignende «småfeil» langs ledningen som bidrar til konstant innlekking. Også gamle toaletter som lekker, folk som skrur på kraner om vinteren for at det ikke skal fryses igjen, og dusjhoder som lekker kan regnes som konstant innlekking.

Figur 3.3 viser en fremstilling av inndelingen av ulike typer fremmedvann, og hvordan spillvann skiller seg fra fremmedvann. Denne er basert på kategoriseringen Karstensen og Strauman presenterer i sine mastergradsavhandlinger [4] [15].



Figur 3.3: Grafisk fremstilling av årsaker og kilder til fremmedvann [4] [15]

Tilstanden til avløpssystemet og klimaet rundt er helt avgjørende for fremmedvannmengden i ledningsnettet. Faktorer som alder, vedlikehold, materialtype, korrosjon, grøfteegenskaper, konstruksjonsmetoder og systemutforming har store innvirkninger på fremmedvannmengden. Feil på ledningsnettet er vanligvis forårsaket av aldrende rør, jordbevegelser, ulykker eller feilkoblinger. Feilkobling mellom kommunale hovedledninger og de private stikkledninger er en typisk årsak til fremmedvann, og utgjør 50% av feilene [4].

3.4.2 Kilder til fremmedvann

For å kunne redusere andel fremmedvann i avløpssystemet er det viktig å finne kilder som bidrar til økte mengder fremmedvann i systemene. Andre kilder utenom feilkoblinger som bidrar til fremmedvann kan være grunnvannsinnlekking, drensvann, overvann fra overflater, utlekket drikkevann og bekkevannsinnntak [4].

Grunnvannsinnlekking

I perioder med høyt grunnvannsnivå kan mettede løsmasser omringe rørledninger. Dette kan skyldes utlekket drikkevann eller infiltrert nedbør i grunnen. Høy grunnvannstand sammen med avløpsnett i dårlig tilstand kan føre til at mengden *grunnvannsinnlekking* blir høy [4].

Drensvann

Drensvann fra private kjellere er den vanligste årsaken for fremmedvann gjennom drenering. Dreneringen har som formål å fjerne vann fra nedbør som infiltrerer rundt bygningene. Selv om dette naturligvis er avhengig av mengden nedbør, kan regnvannet infiltrere inn i systemet etter at nedbøren har tatt slutt. Hensikten med drensledningene er at de skal føres til overvannsledningene, men som følge av feilkoblinger kan det forekomme en høy andel drensvann i spillvannsledningene. I fellessystem skal likevel drensvann føres sammen med spillvannet [4].

Overvann

Regnvann som renner av tette overflater, og som ikke blir infiltrert ned i grunnen umiddelbart defineres som *overvann*. Eksempler på dette er avrenning fra hustak, parkeringsplasser og veger. I tettebebygde områder treffer kraftige regnskylt harde flater uten at regnvannet har mulighet for infiltreres eller fordrøyes [18]. Fellessystemene mottar vann direkte fra takrenner og gatesluk. Som resultat av dette kan avløpssystemet bli overbelastet, og samfunnet risikerer oversvømte veger og vann inn i bygninger.

Utlekket drikkevann

I Norge ble store deler av ledningsnettets bygget i perioden 1950 til 1970 årene, men med stor unøyaktighet. Dårlige forhold og lite vedlikehold på disse ledningene fører til brudd på drikkevannsledninger, samt brudd eller setninger på avløpsledninger. I følge Norsk Vann er den midlere lekkasjeandel på drikkevann i Norge rundt 40%. I Norge er det vanlig å plassere drikkevannsledningen og avløpsledningen i samme grøft, og utlekket drikkevann vil kunne drenere inn i avløpsledningen [4].

Bekkevanninnlekking

Tidligere i Norge ble bekker svært forurenset etter å ha blitt brukt som avløpsresipient, og dermed lagt i rør.

Til tross for at flere bekker i dag åpnes, ligger det fortsatt rør som bidrar med fremmedvann inn til avløpsnett. Dette gjelder hovedsakelig for fellessystem. Mange avløpsledninger ligger nær de lukkede bekkene, og dersom ledningene ikke er tette vil det forekomme en kontinuerlig strøm av bekkevanninnlekking [4].

Andre faktorer

I Norge forekommer det eksempelvis store flommer om våren, og mye nedbør om høsten. Områder med større nedbør risikerer mer innlekket fremmedvann enn områder med mindre nedbør. Geologiske egenskaper som løsmasser og berggrunn spiller også inn i bildet, hovedsakelig for ulik overflateavrenning, og dermed også fremmedvannmengden til avløpsnett [4].

3.4.3 Tiltak for reduksjon av andel fremmedvann

Håndtering av overflatevann

For å redusere fremmedvannmengden er det viktig å begrense mengden overflatevann i størst mulig grad. Moderne tiltak for håndtering av overflatevann (LOD) innebærer å la vannet finne naturlige veier via infiltrasjon til grunn og /eller renne bort via åpne vannveger og dammer. Et annet tiltak er å benytte fordrøyningsbasseng for å utjevne avløpsmengdetopper, slik at ledningsnett og renseanlegg ikke overbelastes av store vannmengder eller forurensningsmengder. Formålet er å sikre at renseanlegget fungerer best mulig, samt at mest mulig av avløpsvannet når fram til renseanlegget uten å gå i overløp på avløpsnett.

Utbedre utette avløpsrør

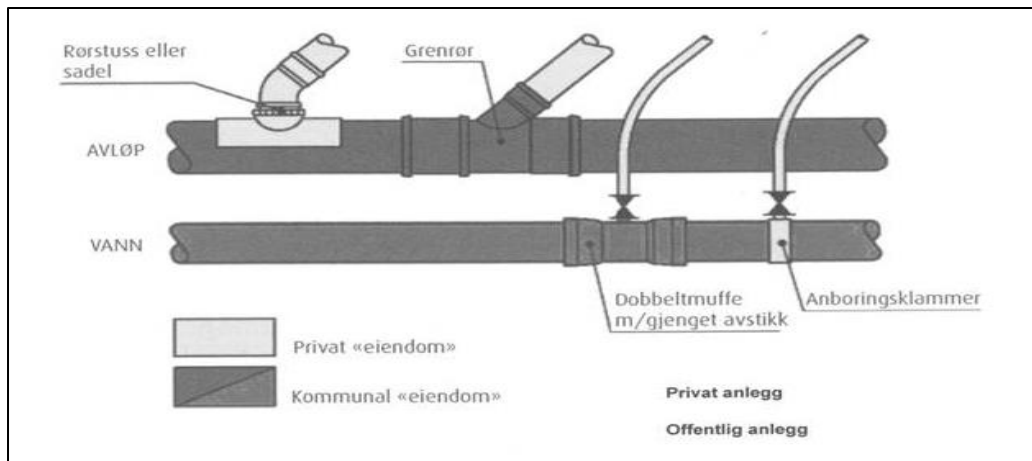
Utettheter på avløpsnett medfører fremmedvannmengder som belaster kapasiteten, og fører til unødvendige kostnader. Årsaken til disse feilene er som regel utette skjøter som kommer av manglende skjøtepakninger, ledningsforskyvning, oppsprekking og sammenbrudd. Et tiltak for å redusere fremmedvann som følge av disse utetthetene er å tette avløpsledninger, kummer og stikkledninger. Dette kan gjøres ved å rovere og rehabilitere, eller utskifting av rørene. Av tiltakene er utskifting av rør det som er mest kostbart, men samtidig gir det god effekt.

Tette lekkasjer på drikkevannsledninger

I følge Norsk Vann lekker 36-40 prosent av alt drikkevann tilført drikkevannssystemet ut. Dette fører til en nær fordoblet kostnad knyttet til produksjon, tap av drikkevann og økt andel fremmedvann innlekket til avløpsledningene [5]. Utbedring av drikkevannslekkasjer vil forbedre tilstanden på drikkevannsnettet, samtidig som avløpsnett vil få en lavere andel innlekket fremmedvann.

Sanere og separere stikkledninger

For å få best mulig utbytte av et separatsystem, er det vesentlig at private eiendommer gjør en tilsvarende omlegging til separate ledninger for overvann og avløpsvann. Da kobles taknedløp, drenering, sluk og lignende til overvannsledningen. Avløp fra vask, toalett og dusj innomhus kobles til spillvannsledningen. Det er i tillegg en fordel for huseiere å utføre en omlegging, da man vil redusere faren for tilbakeslag i kjellere ved store nedbørsmengder. Jf. Forurensningsloven § 22 andre ledd sier at kommunen kan kreve at huseiere separerer avløpsledningene sine ved en kommunal omlegging til separatsystem [19]. Dette tiltaket er nærmest kostnadsfritt for kommunene, ettersom private bygningseiere blir pålagt å separere stikkledningene for egen kostnad.



Figur 3. 4: Grensen mellom det private og offentlige VA-anlegget i tilkoblingspunktet på offentlig ledning [19]

Senke grunnvannsnivået

Ved å senke grunnvannsstanden og utbedre ledningsnettets kan infiltrasjon av fremmedvann under bakken reduseres. Senking av grunnvannsstanden kan gjøres ved drenering, eller ved aktiv pumping av vann bort fra området. Sistnevnte er kostnadskrevenende [15].

Ved å senke grunnvannstanden er det samtidig en stor risiko tilknyttet skader på nærliggende infrastruktur som veier, boliger og annet. Det må derfor brukes riktige fyllmasser.

3.5 Fornyelse av VA-ledninger med ”NoDig” metoder

NoDig metoder benyttes for fornyelse av gamle vann- og avløpsledninger med minimal eller ingen graving. Metoden kan også benyttes ved etablering av nye ledninger under følgende forhold der:

- Graving er kostbart
- Graving er samfunnsmessig uakseptabelt
- Graving er umulig som følge av eksempelvis eksisterende bygningsmasse, infrastruktur eller grunnforhold

De ulike NoDig metoder egner seg i varierende grad avhengig av tilstanden til det eksisterende røret [20].

3.5.1 Ulike NoDig-metoder

NoDig-metodene kan klassifiseres i følgende tre kategorier [20] :

Strukturell metode

Definisjon: renoveringsproduktet (det nye røret) kan alene motstå opptredende krefter i hele levetiden.

Semi-strukturell metode

Definisjon: renoveringsproduktet er delvis avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden.

Ikke strukturell metode

Definisjon: renoveringsproduktet er helt avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden.

De fleste NoDig-metodene kan benyttes i både vann og avløpsledninger og kan klassifiseres i hovedgruppene som vist i tabellen på neste side:

Tabell 3. 1: Oversikt over ulike NoDig-metoder og egenskaper

Metoder	Strukturelle metoder	Semi strukturelle metoder	Ikke- strukturelle metoder
Rørtrykking / nytt rør	x		
Boring i løsmasser / nytt rør	x		
Boring i fjell eller kombinasjonsmasser / nytt rør	x		
Rørrinnføring (Relining) / nytt rør	x		
Utblokkning / nytt rør	x		
Strømperenovering		x	
Tett-tilsluttet rør		x	
Belegg (kun for vannledning)		(x)	x

3.5.2 Strømperenovering

Metoden gjennomføres ved å føre inn en strømpe innvendig i det eksisterende røret. Det nye røret vil legge seg ut mot veggen til det eksisterende røret for å kunne motstå opptredende krefter. Materialet som brukes i strømpeføring er normalt glassfiber eller filterstrømpe som er mettet med polyester eller epoksy-harpiks. Materialet herdes med varmt vann, damp eller ultrafiolett lys. Strømperenovering er en økonomisk og tidseffektiv metode som gir miljømessig og samfunnsmessig gevinst, i tråd med bærekraftig utvikling. Metoden trenger liten plass ved innføring og kan gjennomføres fra kum til kum eller til blind ende. Metoden bør etter utførelse kvalitetssikres og dokumenteres ved rørinnspeksjon med kamera [20].

3.6 Nivellement

Nivellering er den mest brukte og sikre metoden for å måle høydeforskjeller mellom to punkter i terrenget. Måling av høydeforskjeller mellom punkter i terrenget foregår ved hjelp av horisontal sikt mot nivelleringsstang [21].

3.6.1 Kontroll av nivelleringskikkert

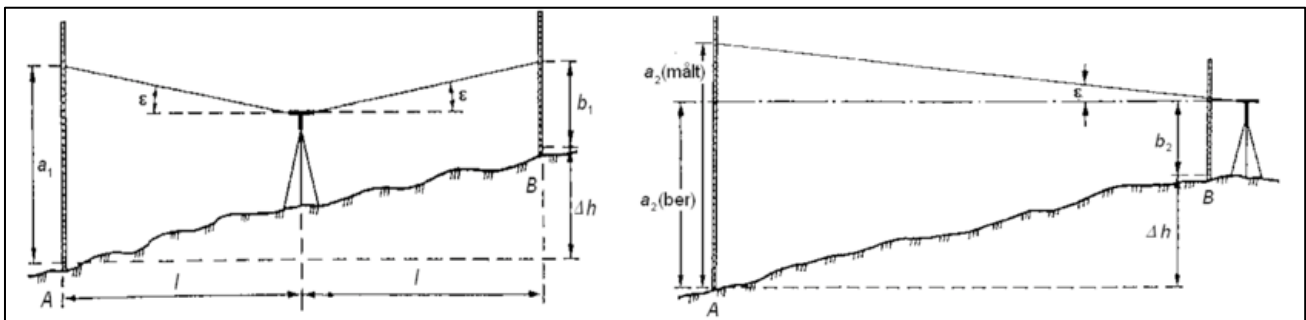
Før nivellering er det viktig å horisontere kikkerten. Den manuelle horisonteringen utføres ved hjelp av libeller. Den må justeres slik at libellen (boblen) er innenfor ringen som på bildet. Det gjøres med å dreie på de tre justeringskruene som sitter på justeringsplaten [21].



Figur 3. 5: Nivelleringskikkert [21]

Når nivelleringskikkerten er horisontert, må det kontrolleres at siktaksen er horisontal. Dette gjøres ved å plassere stativet midt mellom to punkter A og B med minimum 15 meters avstand fra kikkerten til hvert punkt. Deretter registreres høydeforskjellen mellom A og B.

Kikkerten flyttes deretter med fot og ramme omtrent 2 meter bak punkt B; fremdeles på linje med punktene. Ny høyde til punkt A og B registreres og resultatene sammenlignes med tidligere resultater. Differansen skal da være maks 0,2 mm [21].

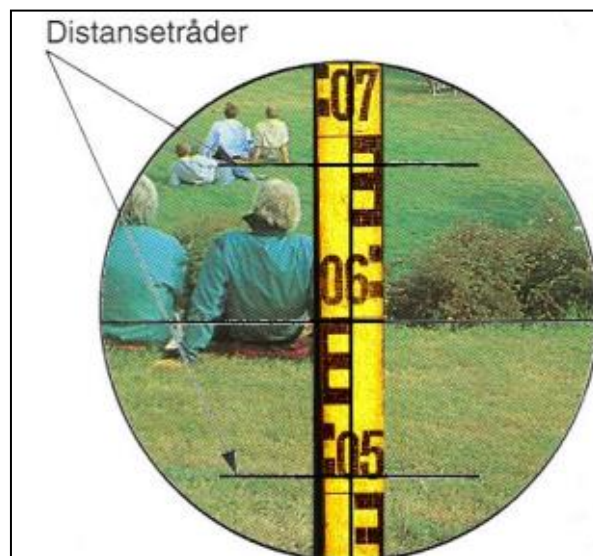


Figur 3. 6: Kontroll av nivelleringskikkert [21]

3.6.2 Avlesning av høyde og distanse

Den midterste tråden på nivelleringsstanga er *høyden* over punktet nivelleringsstanga står på [21].

Ved hjelp av de korteste strekene på trådkorset kan omtrentlig avstand til nivelleringsstanga leses av. I figur 3.7 er distansetrådene påvist. Den avleste *distansen* blir da: $100 * (\text{øvre tråd-nedre tråd})$. For å kunne få en mest mulig nøyaktig avlesning er det viktig å sikte vinkelrett på nivelleringsstanga. Til dette er libellene på stanga og kikkerten til hjelp [21].



Figur 3. 7: Avlesning av høyde og distanse på nivelleringsstang [21]

3.7 Kjemiske og fysiske parametere

Kjemiske og fysiske parametere kan være indikasjoner på, og hjelpe med lokalisering av fremmedvann. Ved innlekking vil som regel konsentrasjoner av kjemiske stoffer endres siden innlekkingsvannet har annen sammensetning enn avløpsvannet [22].

pH

pH er et mål for vannets surhetsgrad, og et pH-meter måler H⁺ konsentrasjonen i vannet. Nøytral pH har verdi lik 7. PH i overflatevann i Norge ligger normalt mellom 6 og 8, mens i avløpsvann er verdien normalt 7-8 [22].

Ledningsevne

Ledningsevne er en fysisk parameter, og angir vannets evne til å lede elektrisk strøm. Salter i vannet øker dets ledningsevne. Måleenhet er mS/cm, og i naturlig vann og drikkevann vil ledningsevnen være nær 0. Normal verdi i spillvann er 0,2 mS/cm. Høye verdier tyder på lite innlekking, mens lave verdier kan tyde på stor innlekking i området [22].

Temperatur

Avløpsvannets temperatur kan være med å avsløre innlekking. Det består av både varmt vann fra dusj og vask, samt kaldere vann fra toalett og skylling. Normalt vil avløpsvann ha en temperatur rundt 10 grader celsius. Drikkevann og regnvann i vinter- og vårsesongen vil ha temperatur som er lavere enn dette, og lav temperatur i spillvannet kan tyde på stor innlekking av fremmedvann [22].

Turbiditet

Turbiditet er et fysisk mål for vannets partikkelinnhold. Måleapparatet fungerer ved å sende en lysstråle gjennom en vannprøve for så å måle hvor stor andel av lyset som kom gjennom. Finkornede partikler som silt, organisk stoff og mikroorganismer vil spre og blokkere lyset og dermed bidra til høy turbiditet [22].

Avløpsvann inneholder normalt mye partikler og vil ha en høy turbiditet, mens lav turbiditet kan tyde på stor innlekking av rent drikke- eller regnvann.

Fosfor

Det kjemiske stoffet fosfor er et grunnstoff og viktig mineral i kroppen. Det er et næringsstoff som kroppen tar opp, samtidig som det ofte er brukt til gjødsling i jordbruket. Fosfor i avløpsvann kommer hovedsakelig fra avføring og vaskemidler. Ved utslipp av store mengder fosfor kan resipient bli overgjødset som kan føre til eutrofiering som gir algeoppblomstring, misfarging og påvirke liv i resipienten [23]. Ved fremmedvannsanalyser er det mulig å bruke fosformåling for å kalkulere andelen fremmedvann basert på standardverdier for avløpsvann. Tot-P er en forkortelse for totalt fosfor, og medregner både løst og uløst fosfor.

I artikkelen «Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett» skrevet av Oddvar G Lindholm antas det at gjennomsnittlig fosforproduksjon er 1,8 g/pe × d Tot-P [24].

3.8 Beregning av vannmengde

3.8.1 Beregning av teoretisk vannmengde

For å kunne beregne vannmengden som avløpsrørene skal transportere, legges det til grunn forbrukstall per person og antall innbyggere i aktuelt område. I utgangspunktet skal mengden vann i avløpsrørene tilsvare den mengden vann som er forsynt til en husstand. Norsk Vann skriver i rapporten «B20-2016, Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk», at det i bransjen i dag benyttes $160 \text{ l/pe} \times d$ i beregninger [25].

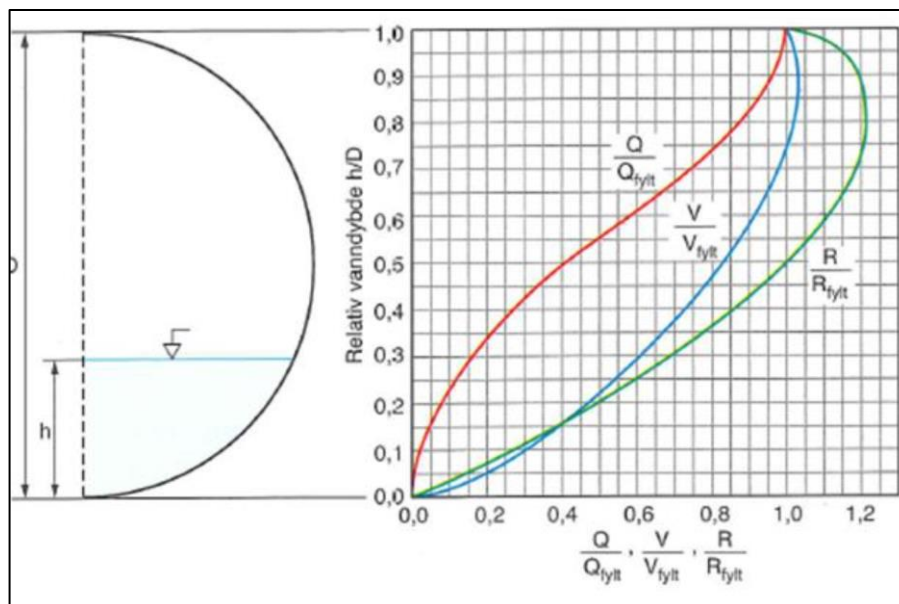
3.8.2 Beregning av vannmengde ved bruk av Darcy Weissbachs ligning

Ved å bruke Darcy Weissbachs ligning kan en beregne vannføringen (Q_{fylt}) i avløpsledning når den er fylt. Det forutsetter at en kjenner dimensjon og fall på ledningen. For å finne (Q_{fylt}) foretas en omforming av ligningen, som vist nedenfor [26]:

Ligning 1.1: Darcy Weissbachs ligning for Q_{fylt}

$$\Delta h = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v_{fylt}^2}{2g} \rightarrow v_{fylt}^2 = \frac{\Delta h \times D \times 2g}{f \times L} \rightarrow Q_{fylt} = A \times v_{fylt}$$

For å finne vannføring (Q) ved en gitt delfylling (h) kan man benytte seg av Brettings formel eller delfyllingsdiagrammet vist i figur 1.1. Herfra trekkes en vertikal linje til vi treffer kurven for Q/Q_{fylt} . Videre trekkes en horisontal linje mot venstre og den tilhørende h/D -verdien leses av.



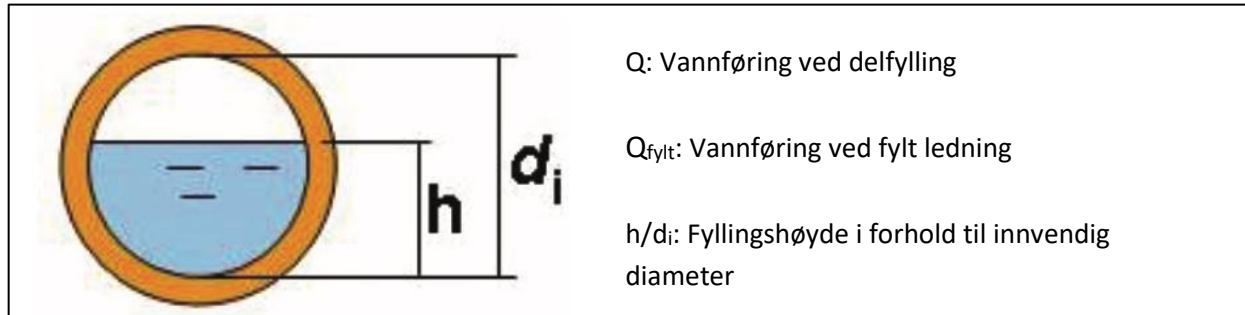
Figur 3. 8: Relasjon mellom vannføring, vannhastighet og hydraulisk radius ved ulike delfyllinger [26]

Ligning 1.2: Delfylling i røret [26]

$$\frac{Q}{Q_{\text{fylt}}} = \frac{h}{D} \rightarrow Q = \frac{h}{D} \times Q_{\text{fylt}}$$

Ligning 1.3: Delfylling i røret ved bruk av Bretttings formel: [26]

$$\frac{Q}{Q_{\text{fylt}}} = 0.46 - 0.5 \cos\left(\pi \frac{h}{d_i}\right) + 0.04 \cos\left(2\pi \frac{h}{d_i}\right)$$



Figur 3. 9: Forklaring på Bretttings formel for delfylling i røret

Formlene som er oppgitt brukes i denne oppgaven til å beregne en tilnærmet verdi på hvor stor mengde den konstante innlekkingen bidrar med. For å beregne dette trengs det å måle vannhøyde på nattestid i en tørrværsperiode. Tilsvarende kan man ved å benytte seg av målte høydeforskjeller mellom nedbørsperioder og tørrvær, beregne vannføring som følge av nedbørsbetiget innlekking.

3.8.3 Beregning av fremmedvannandel ved bruk av fortynningsmetoden

Fortynningsgraden av totale fosfor (TOT-P) kan også benyttes til å beregne fremmedvann i avløpssystemet. Med fortynningsgrad menes fortynning avløpsvannet medfører ved tilførsel av fremmedvann. Konsentrasjonen av TOT-P i innløpet av renseanlegget brukes som en indikator på anleggets totale mengde fremmedvann (1). Metoden tar i utgangspunkt i at hver person i gjennomsnitt produserer en viss mengde TOT-P per døgn og en viss mengde avløpsvann per døgn. Det vil si at avløpsvannet ved innløpet i renseanlegget bør innholdet en viss konsentrasjon av TOT-P. Dersom konsentrasjonen er lav ved innløpet kan det bety at det er mye fremmedvann i avløpssystemet [24].

Ligning 2.1: Beregning av fremmedvann basert på fortynningsmetoden [24]

$$FV\% = \left(1 - \frac{Q_a \cdot C_i}{P_{pd}}\right) \cdot 100$$

FV: fremmedvann i renseanlegget [%]

P_{pd} : Produsert fosfor (TOT – P) per personenheter og døgn [mg/pd]

C_i : konsentrasjon av TOT – P i innløpet til renseanlegget

Q_a : mengde produsert avløpsvann per person og døgn [l/pd]

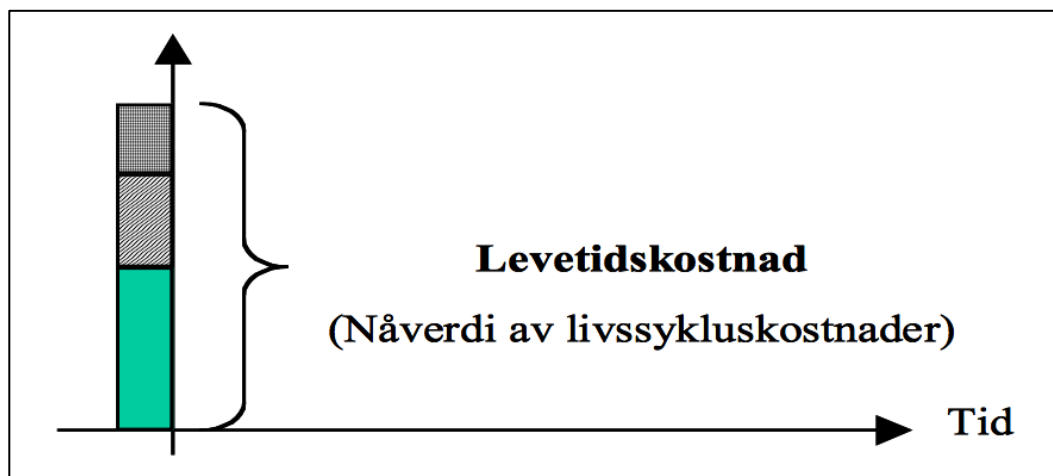
3.8.4 Livssyklus kostnader for bruk i kost-nytte analyser

Livssyklus kostnader (LCC) er summen av investeringskostnad og alle kostnader knyttet til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU) av bygg og anlegg. Livssyklus kostnader tar for seg all investering i nær framtid (kapitalkostnaden) sammensatt med drifts og vedlikeholdskostnader over anleggets levetid. Hensikten er å se om investering er lønnsomt og om man kan vinne på driftskostnader mot investering. I mange prosjekter er LCC-beregninger et viktig verktøy for å få et godt beslutningsgrunnlag. Livssyklus kostnader gir en total økonomisk vurdering av ulike løsninger og kan hjelpe med å redusere de årlige kostnadene og dermed redusere totale kostnadene over hele levetiden [27].

Norsk standard 3454 «Livssyklus kostnader for byggverk, prinsipper og struktur», definerer kostnadsposter og begreper, samt klargjør forholdet og sammenhengen mellom disse. Standarden gjelder alle type bygge- og anleggsprosjekter og er et godt verktøy til å synliggjøre utgiftene knyttet til ulike kostnader ved bygging og rehabilitering [28].

For å kunne bruke denne standarden er det viktig å forstå følgende begreper:

Nåverdi: «nåverdi av en fremtidig kostnad (K_t) er verdien av kostnaden målt i forhold til basisåret (t_0) ved en gitt kalkulasjonsrente. Nåverdien forekommer ved å multiplisere det fremtidige beløpet (i dagens kroneverdi) med en diskonteringsfaktor (d_t)» [28].



Figur 3. 10: Grafisk forklaring av nåverdi [27]

Ligning 3.1: Beregning av nåverdi [28]

$$NV = K_t \times d_t$$

Nv = Nåverdi

K_t = Kostnad i et gitt år (t)

d_t = diskonteringsfaktor for en gitt t (antall år regnet fra basisår)

Ligning 3.2: Diskonteringsfaktor [28]

Diskonteringsfaktor er nåverdien av 1 kr innbetalt i slutten av år t etter følgende formel:

$$d_t = \frac{(1+r)^{-t}}{(1+r)^t}$$

d_t = diskonteringsfaktor for en gitt t

t = et gitt år (antall år fra basisåret til t)

r = kalkulasjonsrente

Ligning 3.3: Summen av nåverdier av kostnader i analyseperioder [28]

$$NV_T = \sum_{t=0}^T K_t * d_t$$

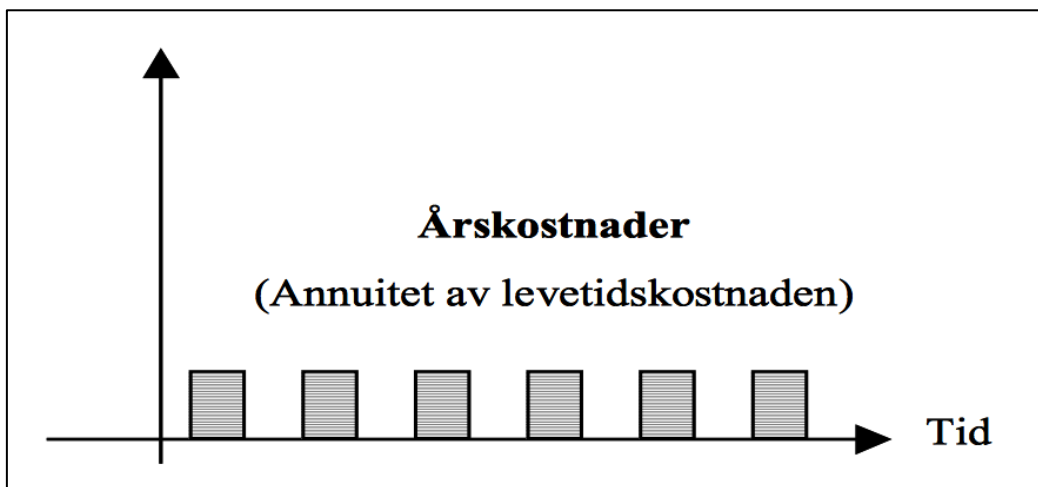
NV_T = Summen av nåverdier i analyseperioden T

K_t = Kostnad i et gitt år (t)

t = et gitt år (antall år fra basisåret til t)

d_t = diskonteringsfaktor for et gitt år (t)

Årskostnad: «Defineres som summen av årskostnadene til kapital og FDVU. Den beregnes ved å multiplisere NV_T med annuitetsfaktoren. Årskostnad må ikke forveksles med årlig kostnad, som er registrert eller påløpte kostnader for et år» [28].



Figur 3. 11 Grafisk forklaring av årskostnader [27]

Ligning 3.4: Beregning av årskostnad [28]

$$\text{ÅK} = NV_T \times a$$

ÅK = Årskostnad

NV_T = Nåverdi av kostnadene i analyseperioden

a = annuitetsfaktor

Annuitetsfaktor: «Annuitetsfaktoren er den summen som må legges til side hvert år for å amortisere (forrente og avdrag) 1 kr i løpet av t år» [28].

Ligning 3.5: Beregning av annuitetsfaktor [28]

$$a = \frac{r}{1 - (1+r)^{-T}}$$

a = annuitetsfaktor

r = kalkulasjonsrente

T = analyseperiode (antall år regnet fra basisår)

4. Forskerspørsmål

Problemstillingen er knyttet til fremmedvann i avløpsnettet i Holvika-området. En stor utfordring i avløpshåndtering er fremmedvann, ettersom det medfører både økonomiske og miljømessige konsekvenser. Norge er det landet i Norden som har størst andel fremmedvann i avløpsnettet.

Målet med studien er å lokalisere fremmedvann på avløpsnettet i Holvika-området, og årsakene til disse. I studien vil vi bruke ulike metoder for lokalisering av fremmedvann. Vi ønsker at prosjektet skal være et bidrag i kommunens arbeid for reduksjon av andelen fremmedvann i avløpsnettet.

4.1 Formulert forskerspørsmål med delmål

I prosjektet er følgende forskerspørsmål blitt definert:

Hvilke soner i avgrenset område har betydelige mengder fremmedvann, og hva er årsakene til dette? Hvilke konsekvenser har dette for miljø og økonomi? Basert på resultatene skal det utarbeides en kost-nytte analyse som prioriterer aktuelle tiltak.

Formålet med oppgaven er å kartlegge fremmedvann i avløpsnettet i Holvika i Grimstad. Gruppen definerer soner og undersøker deretter mengden fremmedvann i hver av disse sonene. I prosjektet vil ledningsstrekke med stor innlekking bli lokalisert. Deretter skal det utarbeides en kost-nytteanalyse for utføring av vurderte aktuelle tiltak.

Målsetting og delmål

- Kartlegge feilkoblinger på private eiendommer
- Kartlegge utette ledninger og kummer
- Kartlegge vannføring i tørrværs- og nedbørsperioder
- Utføre enkel tilstandsanalyse av samtlige kummer
- Innhente nedbørsdata
- Sammenligne vannføring i nedbørsperioder med nedbørsdata
- Utføre kjemisk vannanalyse i tørrværs- og nedbørsperioder
- Beregne andel fremmedvann i hver sone
- Utføre rørispeksjon med kamera og røyktesting i soner med stor andel av fremmedvann
- Foreslå aktuelle tiltak for reduksjon av fremmedvann i avløpsnettet
- Utarbeide kost-nytteanalyse som grunnlag for prioritering av aktuelle tiltak
- Vurdering av metoder og tiltak brukt i oppgaven

5. Case

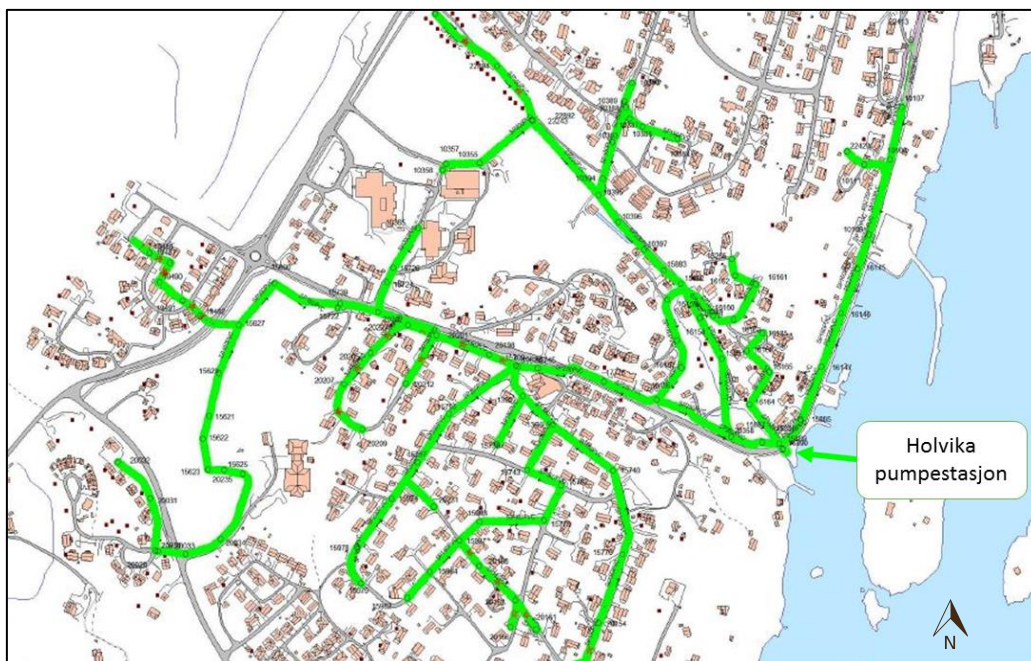
Studien tar for seg avløpsnettets som er tilknyttet pumpestasjonen i Holvika-området i Grimstad. Deler av området ble sanert i 2005, og er nå et separatsystem der alle spillvannsrørene er laget av PVC. Grimstad kommune opplever til tross for den nylige oppgraderingen betydelige mengder fremmedvann i avløpsnettets som medfører økte kostnader tilknyttet til drift av renseanlegget, pumping, og noe skade på miljø på grunn av overløp.

På bakgrunn av dette er oppgaven tildelt med formål om å lokalisere ledningsstrek med ulik grad av innlekking av fremmedvann, og kartlegge årsakene til disse. En stor del av oppgaven er å foreslå aktuelle tiltak for reduksjon av fremmedvann, og den økonomiske kostnaden tilknyttet hvert tiltak. Det er også vesentlig å sammenligne den langvarige nytten av et eventuelt tiltak, mot den økonomiske kostnaden tiltaket medfører.

5.1 Beskrivelse av området

5.1.1 Generelt

Oppgavens område omfatter et område på ca. 0,6 km² og ligger i Holvika i Grimstad kommune. Området har variert topografi og ulike bruksområder. Store deler av områder består av byggefelter, og flesteparten av boligene ligger i villastrøk med en flott beliggenhet og fin sjøutsikt. Bebyggelsen er hovedsakelig eneboliger i byggefelt, med varierende byggeår. De største byggefeltene i området er fra 1970 og 1980, og de ligger i kjernen av området. De nyere byggefeltene stort sett er fra 2000-tallet og ligger i periferien av området. Oppgavens område omfatter også Langemyrjordet skole, Holvika skoler, en dagligvarebutikk, to idrettshaller og et større utendørs fritidsområde med kunstgressbane.



Figur 5. 1: Oversikt over området med avløpsledninger knyttet til oppgaven

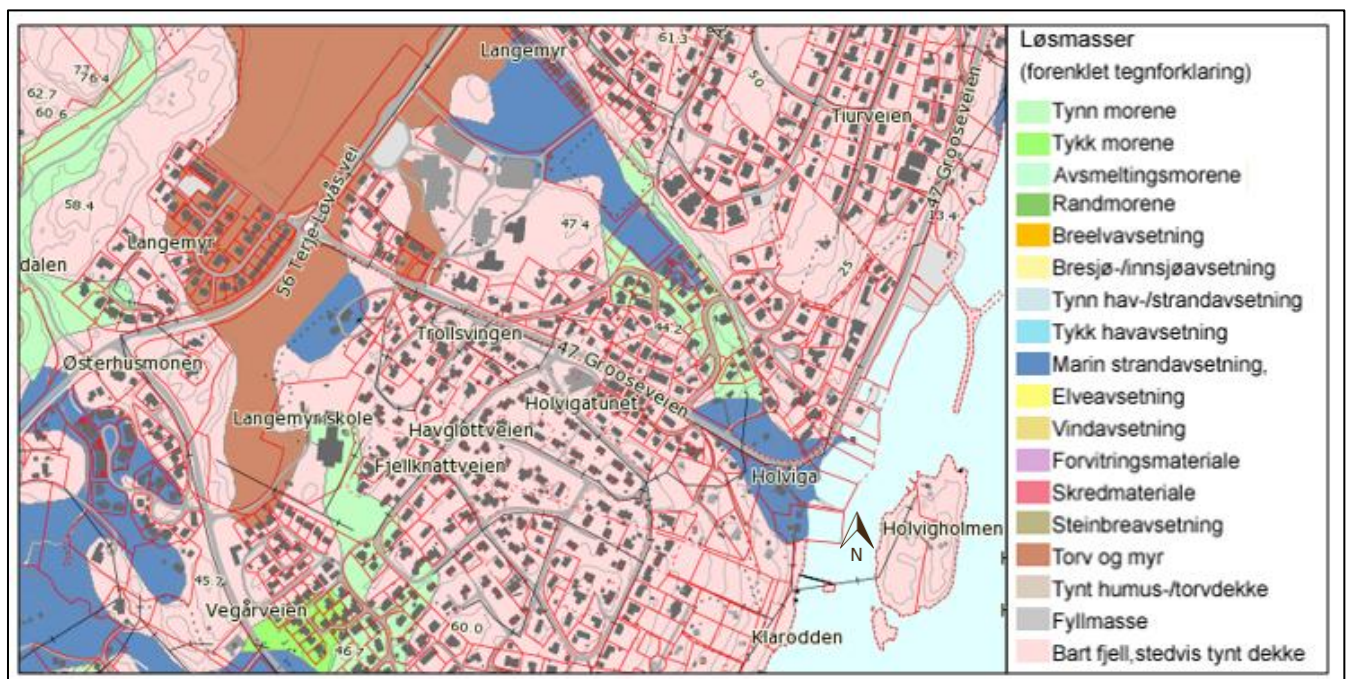
5.1.2 Topografi og grunnforhold

I kjernen av området går Grooseveien som leder ned mot sjøen og Holvika pumpestasjon. Grooseveien går i bunnen av et lavbrekk.

Øverst i feltet ligger Langemyrjordet, som topografisk skiller seg fra resten av området. Her ligger et jorde i et svakt lavbrekk, hvor det også ligger avløpsledninger.

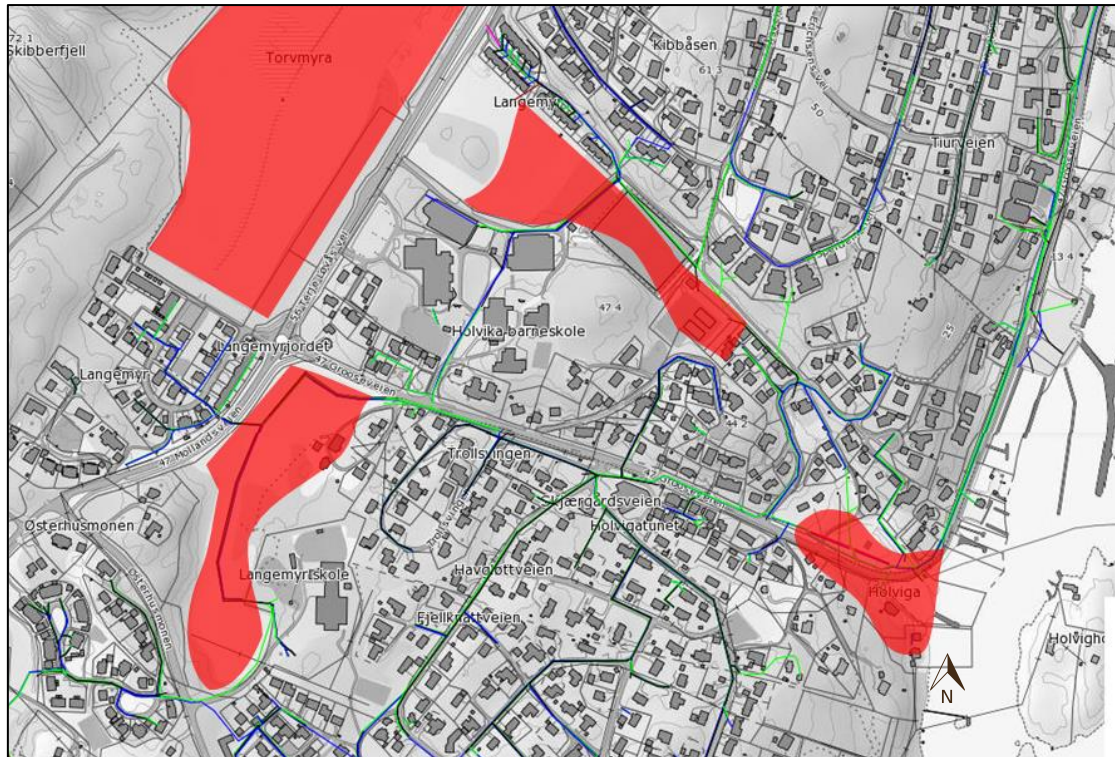
Mellom Holvika skoler og Volleveien ligger nok et stort jorde og Holvika kunstgressbane.

Disse områdene fører avløpsledninger, og består av store deler permeable flater med høy grunnvannsstand og lite fall. Øverst i feltet ligger Torvmyra, en stor myr som kan holde store mengder grunnvann. Ved utettheter og skader på ledningene er det en fare for at det i disse områdene kan infiltreres store mengder fremmedvann til avløpsnettet.



Figur 5. 2: Grunnforhold i Holvika-området [29]

Utsnittet fra NGU viser at langs kysten og i sentrum av det avgrensede området, består undergrunnen for det meste av bart fjell og noen strandavsetninger. Dermed er ikke dette områder med stor risiko for indirekte nedbørsavhengig innlekking.



Figur 5. 3: Oversikt over områder med permeable flater

Avløpsledningene i Langemyrjordet, området ved kunstgressbanen og ved pumpestasjonen kan være mer utsatt for indirekte nedbørsavhengig innlekking, ettersom Langemyr-området består av torv og myr. Myr fungerer svært godt for overvannshåndtering, og er gode flomdemperer. Derfor utgjør det også en risiko for konstant innlekking grunnet høy grunnvannstand rundt avløpsrørene. Den høye vannstanden kan medføre setninger som varierer med årstidene, og kan føre til varierende fall og forskyvning på ledningsnett.

5.1.3 Innbyggere og bebyggelse

Holvika er et relativt tett bebygd område. I Holvika grunnkrets bor det ifølge SSB 735 personer. [12] Grunnkretsen omfatter ikke alle boliger som slipper ut til oppgavens ledningsnett, så derfor er antall boliger blitt manuelt telt opp til å være 364. Ifølge Grimstad kommunes egne tall bor det 2,655 personer pr. boenhet (vedlegg 3). Utregninger tilsier da at det bor 969 personer i oppgavens område. I oppgaven har vi brukt $160 \text{ l/pe} \times \text{døgn}$ som normalt vannforbruk i området [25].

Området tilføres også avløpsvann fra barneskoler og idrettshaller. I følge boken Vann- og avløpsteknikk vil skoler gi en hydraulisk belastning på $40 \text{ l/elev} \times \text{døgn}$ [30]. Vi har tatt utgangspunkt i at disse to idrettshallene hver gir en hydraulisk belastning på omtrent 1128 l/døgn .

I det avgrensede området som senere er inndelt i soner (kapittel 6.2) er det følgende antall boenheter, og derav innbyggere:

Tabell 5. 1: Boenheter og innbyggere pr. sone

Sone	Boenheter	Innbyggere	Annet
1	56	149	En skole med ca. 50 elever
2	74	197	To idrettshaller
3	34	90	To skoler med tilsammen 510 elever
4	98	260	
5	55	146	En barnehage med ca. 25 barn
6	47	125	
Totalt	364	969	

5.1.4 Oppbygning av avløpssystemet

Områdets topografi har tydelig lagt føringer for oppbygningen av avløpssystemet i området. Oppgavens område omfatter ikke andre pumpestasjoner, alt går på selvføll ned til Holvika pumpestasjon. Alle rørene i området er av materialet PVC, og har dimensjoner fra 160 til og med 315 mm.

Som tidligere nevnt går Grooseveien i retning vest/øst i et lavbrekk og blir et naturlig samlepunkt for alle tilførlingsledninger. Avløpsrørene løper ut i Holvika pumpestasjon i Holvikasvingen, som pumper fra oppgavens utvalgte område til Groos renseanlegg.

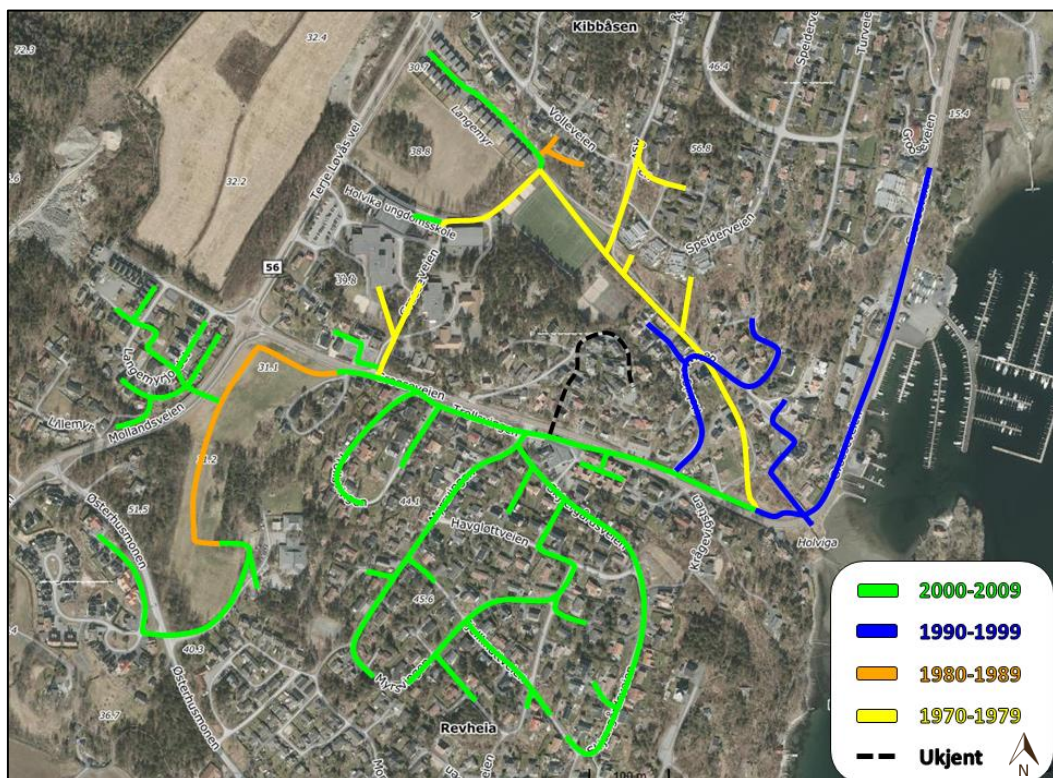
Hovedledningen har mange påkoblinger av stikkledninger. Blant de mest befolkede er ledningene fra Skjærgårdsveien, Myrsvingen og Langemyr/Volleveien. I boligfeltene i området ligger ledningene stort sett i veiene, hvor private stikkledninger er koblet på. Nederst i området ved Holvikasvingen synes påkoblingene å bli mindre systematisk oppdelt, med flere private stikkledninger som tilføres i kum.

5.1.5 Byggeår

Alder er viktig å ta med i betraktning når avløpsnettets tilstand kartlegges. For fremmedvannlokalisering er det vesentlig å undersøke eldre ledninger for skader og feil som har akkumulert over tid.

Avløpsnettet i Holvika er bygget mellom 1978 og 2014. Godt over halvparten av nettet er fra 1990 eller nyere, noe som er veldig nytt i forhold til den gjennomsnittlige alderen i landet (se figur 5.2).

Dagens PVC-ledninger har ifølge produsentene en teoretisk levetid på over 100 år [31]. Eldre PVC-rør har betydelig mindre levetid, og medfører derfor større risiko for rørbrudd med tiden.



Figur 5. 4: Oversikt over ledningsnettets byggeår

5.1.6 Pumping inn til området

Området til oppgaven omfatter ikke pumpestasjoner, men det blir likevel pumpet inn til områder fra flere steder. I følge Gemini portal for Grimstad kommune som er kartoversikten over VA-nettet pumpes det inn på området fra følgende steder:

- Molland pumpestasjon ved Mollandsveien til Myrsvingen
- Østerhus II pumpestasjon ved Langstrand til Skjærgårdsveien

Av disse er Molland den største pumpestasjonen, som pumper avløpsvann fra blant annet Molland, Østerhus industriområde, Støle, og de nye byggefeltene i Kjæråsen.

I tillegg kan det være flere private pumper i området som ikke er kartlagt av kommunen, og dermed ikke lagt inn i Gemini portal. Det antas at bidraget fra disse pumpene er ubetydelig i forhold til kommunale pumpestasjoner.



Figur 5. 5: Oversikt over pumpestasjoner som pumper avløpsvann inn til Holvika pumpestasjon

6. Metode

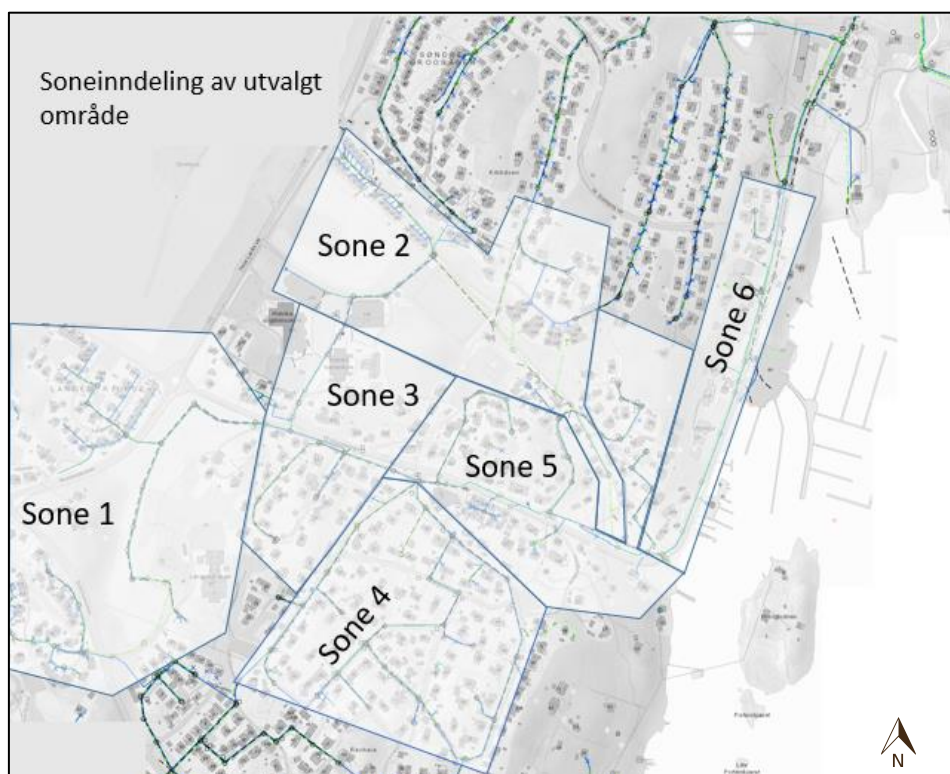
6.1 Helse, Miljø, Sikkerhet (HMS)

Prosjektet innebærer mye feltarbeid både på dagen og om nettene. Blant annet skal en del av arbeidet utføres i vegbanen og i områder med høy aktivitet. Det er derfor viktig å utarbeide gode rutiner for arbeid i trafikkert vei.

Arbeidet med avløpsvann kan være helsefarlig ettersom vannet inneholder sykdomsframkallende mikroorganismer, og helsefarlige gasser. Det utgjør en risiko for at uønskede hendelser inntreffer underveis i prosjektet.

For å redusere sannsynligheten for uhell er det hensiktsmessig å utarbeide en SHA-plan (sikkerhet, helse, arbeidsmiljø). Denne planen sikrer risikoforholdene i prosjektet og håndterer det på en forsvarlig måte. I samarbeid med Grimstad kommune og Asplan Viak AS har gruppen utarbeidet en SHA-plan som beskriver rutinene ved arbeid i vei, prøvetaking og prøvehåndtering. SHA-plan er lagt ved som vedlegg 9.

6.2 Soneinndeling



Figur 6. 1: Soneinndeling av utvalgt område

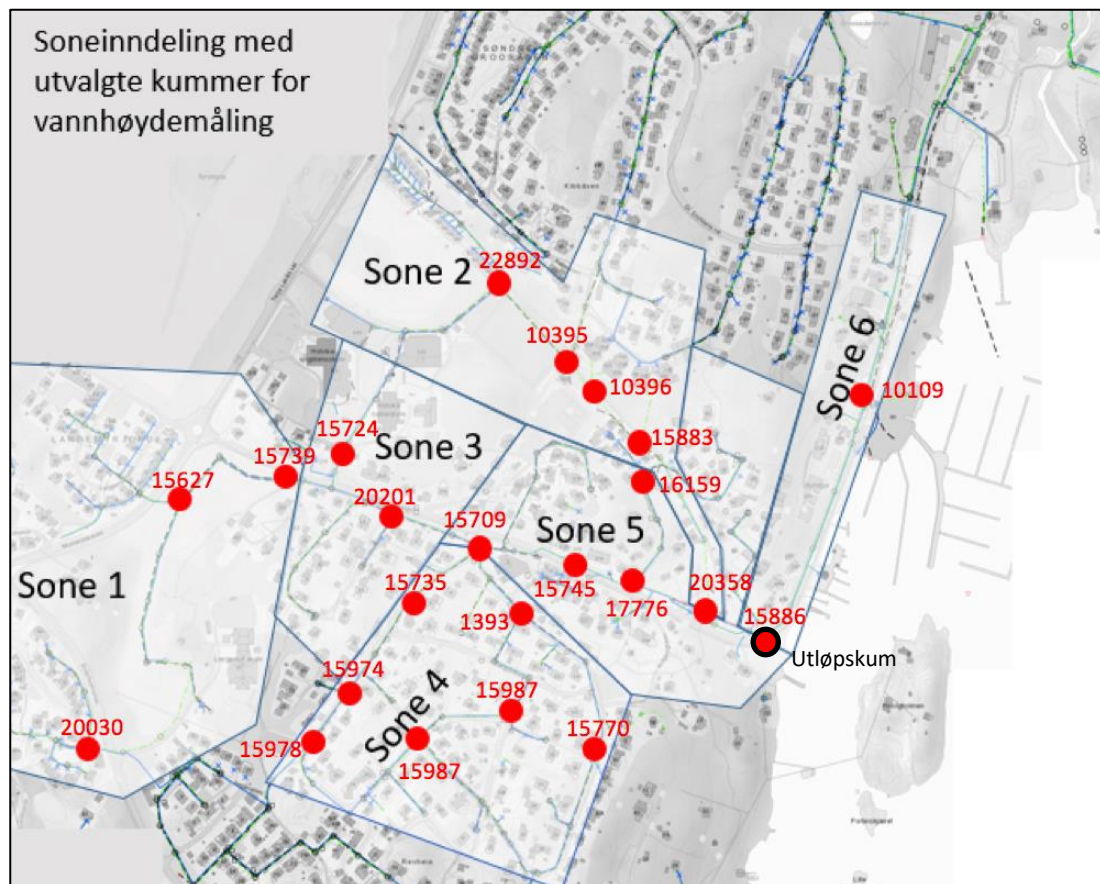
For å avgrense oppgaven er områder med selvfall til Holvika pumpestasjon utvalgt for kartlegging av innlekking av fremmedvann. Dette området har blitt studert i Gemini portal for Grimstad kommune.

Området er så langt det er mulig delt inn etter ledningsstrek som samles i en kum. Dette har resultert i seks hensiktsmessige soner. Dette har vært nyttig i arbeidet med kartlegging av fremmedvannandeler på de ulike ledningsstrekene.

6.3 Kummer for vannhøydemåling

6.3.1 Valg av kummer

Ved hjelp av Gemini-portalen er det valgt ut 23 kummer hvor det skal måles vannhøyde og temperatur i vannet. Hensikten med å måle i flere kummer per strekk er å finne indikasjoner på innlekking. Gjennom visuell kontroll, temperaturmåling og vannhøydemåling skal det i både tørrvær- og nedbørsperioder kartlegges innlekking på de forskjellige strekkene.



Figur 6. 2: Utvalgte kummer for måling av vannmengde og temperatur

6.3.2 Inspeksjon av kummer: vannhøyde- og temperaturmåling

For å måle vannhøyde har vi benyttet en nivelleringsstang for å kunne nå ned til bunnen av kummen. Nivelleringsstangen føres ned til vannspeilet, og denne høyden leses av i toppen av kummen. Deretter føres nivelleringsstangen ned til bunnen av røret, og ny høyde leses av i toppen av kummen. Differansen mellom disse er da målt vannhøyde: $H_1 - H_2$. Det er konsekvent ikke målt i øyeblikk ved




pumping til røret eller ved åpenbare skyll som ved f.eks. toalettbruk, dusj o.l. Ved normalt liten vannstand vil en slik skylling utgjøre en stor feilkilde.

I prosjektet er det benyttet termometer for å måle temperaturen i avløpsvannet. Temperaturen måles i feltet like etter uttak av prøve fra kummen. Den skal i teorien ligge normalt rundt 12-20 grader [32]. En lavere temperatur på avløpsvannet enn normalt vil tyde på innlekking av fremmedvann til avløpssystemet.



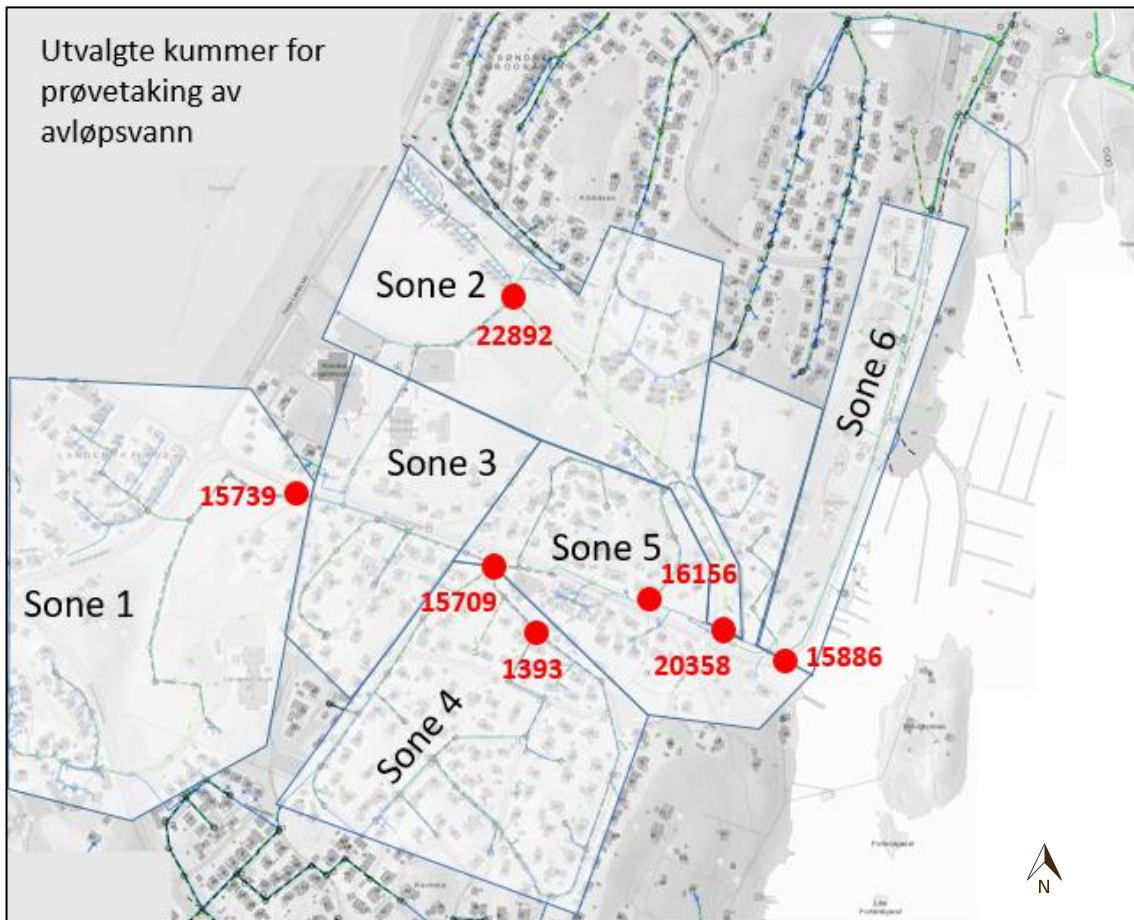
Figur 6. 3: Vannhøyde- og temperaturmåling

Vannhøyde og temperatur har blitt målt på ulike innløp i kummen, alt etter hvilke strekk som gruppen ønsker måling på. I noen kummer er det hensiktsmessig å måle midt på, i innløpet eller i utløpet. Resultatene fra vannhøydemålingene i nedbør og tørrvær er sentrale i beregning av fremmedvann. På figuren under er det et utsnitt av skjemaet gruppen har utarbeidet for vannhøyde- og temperaturmåling.

Tørrvær målrunde 1 NATT										
Dato + lufttemp	Sone	Kum nr	Temperatur	Vannhøyde i utløp (cm)	Vannhøyde 	Vannhøyde 	Vannhøyde 	Hastighet knop	Klokkeslett	Kommentar?
24.03. 2 grader	Sone 1	20030	NA	0					00:42	
		15627	6	3,9					00:54	
		15739	7	1,9					01:09	
24.03. 2 grader	Sone 2	10396	6	1,2					01:40	
		15883	10	0,7					01:48	
		10395	8	0,5					01:30	
		22892	7	0,3		0,1	0,1		01:23	
18.03.2017		20358	7			0,5		01:30	Konstant rennende klart vann	

Figur 6. 4: Utdrag av skjema for vannhøyde- og temperaturmåling

6.4 Valg av kummer for kjemisk og fysisk vannanalyse



Figur 6. 5: Utvalgte kummer for prøvetaking

6.4.1 Utførelse av kjemisk og fysisk vannanalyse

Kjemisk og fysisk analyse av avløpsvannets sammensetning er en av metodene vi har brukt for å kartlegge fremmedvann i avløpssystemet. I prosjektet har det blitt foretatt kjemisk og fysisk vannanalyse av prøvene som er tatt i utvalgte kummer i felt. Parametere som er analysert er pH, turbiditet, ledningsevne, og fosforkonsentrasjon. Ved høyt innhold av fremmedvann vil mange av disse parametere i teorien få lavere verdi.

For å kunne måle de kjemiske og fysiske parametere har vi valgt å ta prøver fra utløpskummene i bunnen av hver sone. Der det er hensiktsmessig, eksempelvis ved store soner og lange strekk, har vi tatt prøver i flere kummer.

For å kunne hente ut prøver fra kummene er en avskåret brusflaske festet til nivelleringsstangen, og deretter er prøvevannet helt over i egne flasker for oppbevaring frem til videre vannanalyse. I motsetning til temperatur er de resterende parametere analysert i laboratorium. Prøvene har blitt oppbevart i kjøleskap maksimalt i 5 dager.

pH-verdi

pH i vannet måles ved hjelp av en pH-meter, som måler H^+ konsentrasjoner i vannet ved hjelp av en elektrode. Målingen foregår ved at prøven overføres til målebeger og elektroder settes i vannprøven. Verdien på pH-meter må stabiliseres før den leses av. Det er viktig å vaske elektrodene med destillert vann for å sørge at målingen ikke påvirkes av tidligere målinger. For å få nøyaktig verdi er det viktig med stabil omrøring. Til dette brukes en magnetrører.

Tidligere i rapporten har vi nevnt at pH-verdien i naturlige vannforekomster er lavere enn verdien i avløpsvannet. Derfor kan vi måle pH og se om denne parameteren kan hjelpe oss ved lokalisering av fremmedvann.

Turbiditet

Turbiditet kan måles ved hjelp av et turbidimeter. Målingen gjennomføres ved å fylle et måleglass med vannprøven, plassere det i måleinstrumentet og deretter lese av verdien på turbiditeten. Avløpsvannet har enn høyere turbiditet enn naturlige vannforekomster og denne parameteren kan derfor være en god indikator for innlekking av fremmedvann.

Ledningsevne

Ledningsevne i vannet måles ved hjelp av en konduktivetsmåler som måler vannets saltinnhold. Prøven gjennomføres ved å fylle et målebeger med vannprøven og deretter plassere sensoren i vannprøven for å lese verdien på konduktivetsmåleren. For å få nøyaktig verdi er det viktig å vaske sensoren med destillert vann før hver måling.

Som nevnt tidligere i rapporten vil ledningsevnen på avløpsvannet være høyere enn naturlige vannforekomster. Høy verdi av ledningsevne tyder på lite innlekking av fremmedvann mens lav verdi av ledningsevne tyder på mye innlekking av fremmedvann.



Figur 6. 6: Fra venstre - måling av pH-verdi, turbiditet og ledningsevne

Tot-P

For å bestemme fosforkonsentrasjonen har vi brukt et spektrofotometer. Det måler fosforkonsentrasjonen ved gjennomstråling av prøven med lys med bølgelengde på 880nm, og andelen lys som trenger gjennom. Målingen gjennomføres ved å bruke et prøvesett med navn «LCK 348» fra Hack-Lange som måler Tot-P. Det skal tilsettes 0,5 ml vannprøve som fortynnes med destillert vann i 1:1 forhold. Prøven kokes ved 100 grader i 60 min, deretter avkjøles prøven til romtemperatur og ristes forsiktig. Til slutt tilsettes 0,2 ml «reagens B» og «Doticap» påføres. Verdien

som spektrofotometer viser er fosforkonsentrasjonen. Den avleste verdien skal så dobles ved fortykning.

Tot-P kan brukes for å beregne fremmedvannmengden i avløpssystemet. Ved innlekking av fremmedvann vil man i teorien se en lavere Tot-P verdi i nedbørsperioder.



Figur 6. 7: Tot-P analyser av prøver

6.5 Tilstandsanalyse av kummer

Samtidig som stikkmålingene har blitt foretatt, er det foretatt en enkel tilstandsanalyse av alle kummer. Inspeksjonene har blitt foretatt i tørrvær og nedbørsperioder.

Tilstandsanalysen er basert på enkel tilstandsanalyse nivå 1 i NS3424. Formålet med tilstandsanalysen er å: [33]

- Foreta generell vurdering av tilstanden ut fra visuelle observasjoner
- Påvise begynnende skadeutvikling
- Vurdere behov for preventive tiltak

Tilstandsgraden (TG) vurderes opp mot følgende tilstandselementer som gruppen har satt:

- Stigerør i PVC
- Åpne spetthull
- Sprukken kumhals
- Ufagmessig tilkobling
- Fare for innlekking
- Mye fukt og/eller betydelige renner langs vegg
- Fare for sikkerhet

Deretter gis hver kum en tilstandsgrad mellom 1-3, der 1: *tett*, 2: *mulig innlekking*, 3: *lekker inn*. Referansenivået for tilstandsanalysen er satt til funksjonskrav.

Enkel tilstandsanalyse av kummer. Referansenivå: myndighetskrav og funksjonskrav											
Inndata			Tilstandsgrad og årsaker til innlekking. 1: God, 2: Mulig innlekking, 3: Lekker inn								
Dato	Sone	Kum nr	TG [1-3]	PVC stigerør	Åpne spetthull	Sprukken kumhals	Ufagmessig tilkobling	Fare for innlekking	Mye fukt og/eller betydelige renner langs vegg	Fare for sikkerhet og skade	Andre kommentarer
14.mar.17	Sone 4	15378	1						X		
		15374	1	X							
		15735	1	X							Lavt innvendig rør, fare for innlekking ved høy stand i betong
		1333	2					X	X		
		15779	2					X	X		
		15387	1						X		Litt fukt på vegger
		15770	1	X							
23.feb.17	Sone 5	16159	1		X						Ikke fare for stort innlekk fra overflate pga. dosering. Dårlig
		15886	3		X	X		X	X		Konstant innlekking fra vegg, samme side som drikkevann
		15745	1	X							Høy grunnvannsstand rundt PVC stigerør
		17776	1	X							

Figur 6. 8: Utdrag fra tilstandsanalyseskjema

Det har blitt dokumentert med kamera med dato og tidspunkt for inspeksjonen. Se elektronisk vedlegg 3 for fullstendig tilstandsanalyseskjema som har blitt utarbeidet av gruppen, og brukt for utvalgte kummer i samtlige soner. Se vedlegg 5 for tilstandsanalyse for kummer gitt TG2-TG3.

6.6 Elektronisk innhenting og lagring av data

Elektronisk vannmengdemåler har blitt benyttet til å registrere vannføring og temperatur i utvalgte kummer. Innsamlingen av disse dataene har gått kontinuerlig over en periode på omtrent 3 måneder. I prosjektet sammenlignes målerverdier fra elektroniske vannmengdemålere med resultatene fra nedbørmåler.

6.6.1 Nivus PCM 4



Figur 6. 9: Uthenting av data fra elektronisk vannmengdemåler (Nivus PCM 4) i felt

Vannmengdemåler av typen Nivus PCM4 er satt ut i kum nr. 15889 i innløpet til Holvika pumpestasjon, ettersom alt avløpsvann fra studiens område samles og pumpes herfra til Groos renseanlegg. Installasjonen ble utført av Asplan Viak AS i samarbeid med kommunen. Gruppen har kalibrert loggeren til å logge hvert 5. minutt, og data hentes ut jevnlig. Dataene fra minnekortet

lagres i Excel-dokument, for videre sammenligning med data fra nedbørmåler for å se etter indikasjoner på innlekking av fremmedvann.

6.6.2 Teledyne ISCO 2150 vannmengdemåler



Figur 6. 10: Uthenting av data fra vannmengdemåler (ISCO 2150) i felt

Teledyne ISCO 2150-måleren ble satt ut i kum 20201 den 4. april. Denne måler samlet tilrenning fra sone 1 og 3. Måleren ble kalibrert til å logge vannføring og temperatur hvert 5. minutt i måleperioden. Dataene lastet direkte inn i Teledynes egen programvare Flowlink®, og måtte deretter eksporteres til rådata for å kunne hentes inn i Excel. Deretter behandles dataene på samme måte som fra Nivus-måleren.

6.6.3 Casella nedbørmåler

Nedbørmåler av typen Casella er montert på en privat tomt like i området ved Holvika pumpestasjon. Nedbøren blir samlet opp i beholder øverst i apparatet, og deretter ført ned til en vippe, også kjent som en «tipping bucket». Hvert vipp tilsvarer 2 mm nedbør. Resultatene kan lastes ned direkte fra nettsiden regnbygge.no. Dataene benyttes til å sammenligning med vannføringsdataene fra avløpsnett.



Figur 6. 11: Casella nedbørmåler med vippekarfunksjon

6.7 Nivellement

I prosjektet har gruppen benyttet nivellering for å finne høydeforskjeller mellom utløpskum og en nærliggende kum på samme strekning. Slik kan det gjennomsnittlige fallet på ledningen finnes, og dermed kan vannføringen i strekningen beregnes ved bruk av metoden beskrevet i delkapittel 6.13.

Gruppen skulle i utgangspunktet benytte vannhøydemålingene og fall på ledningsnett til å beregne vannføringen i ulike soner. Ettersom det stedvis er manglende data for fall på ledningsnett i Gemini portal for Grimstad kommune, valgte gruppen å benytte nivellering for å finne høyde på utløpskummene i hver sone (vedlegg 11). Dette brukes videre i beregninger.

Følgende utstyr er benyttet for å nivellere høydeforskjeller mellom utvalgte kummer.

- Nivelleringskikkert
- Instrumentstativ
- Nivelleringsstang



Figur 6. 12: Nivellering av ledningsstrek

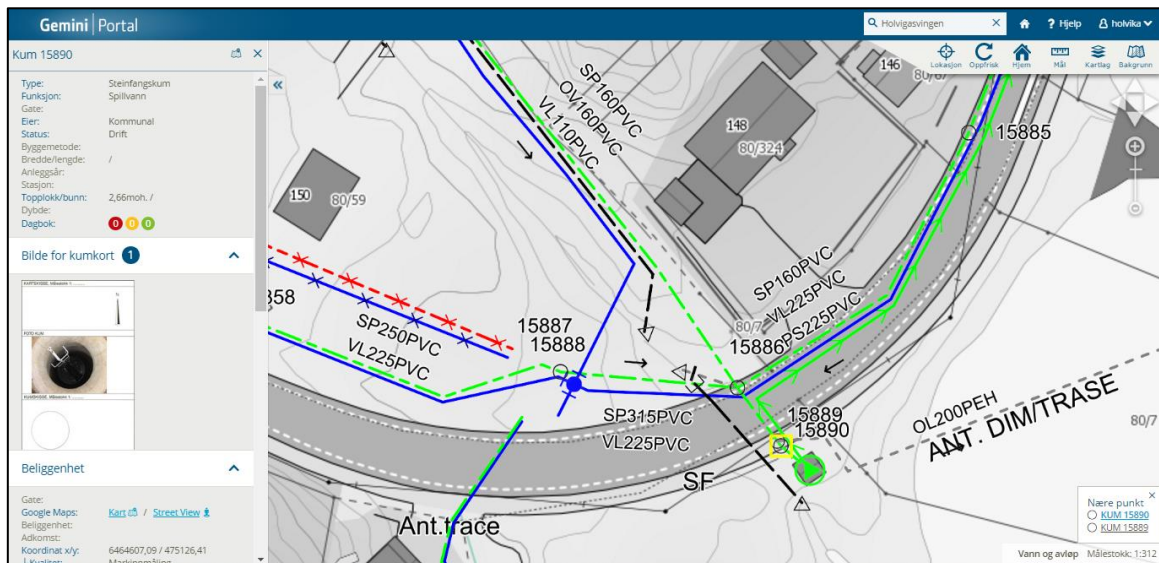
Nivellering

I sone 3 og 5 er det manglende data for fall på ledningsnett. Her har gruppen valgt å finne det gjennomsnittlige fallet på kummene 15724, 20201 i midten og venstre stikk. På grunn av svært bratt stigning til nærmeste kum for utløpskum 20201 i venstre innløp, har gruppen målt i flere nivellements nivå. Denne metoden er benyttet i flere nivellementsdrag med bratt stigning.

6.8 Dataverktøy og programvarer

6.8.1 Gemini portal

Tidlig i oppgaven fikk gruppen tilgang til Grimstad kommune sin kartdatabase i den interaktive plattformen Gemini Portal levert av Powel AS. Verktøyet har blitt brukt til å få tilgang til eksisterende data med informasjon om ledningsnett, kummer og pumper. Gruppen har også benyttet portalen i Gemini til soneinndeling, og for å velge ut kummer for stikkmålinger, tilstandsanalyse og prøvetaking. Ute i felt har programvarens innebygde GPS-funksjon blitt brukt til å navigere.



Figur 6. 13: Skjermdump av Holvikasvingen, Gemini portal

6.8.2 Regnbyge.no

Gruppen har gjennom Asplan Viak fått tilgang til regnbyge.no, en portal for overvåking av nedbør. Nedbørsmåleren som er plassert i området sender rådata direkte til nettstedet, og gruppen kan deretter få utarbeidet rapporter i form av IVF, rådata, døgn, timedata eller 5-min data.

6.8.3 Bearbeiding av logget data fra elektroniske vannmengdeloggere

For å kunne hente ut logget data fra måleren foran Holvika pumpestasjon, har gruppen fysisk byttet både minnebrikke og batteri opptil to ganger i uken. Når minnebrikkene byttes, kan gruppen lese av loggede data f.o.m siste minnebrikkebytte. På samme måte må data hentes ut fra ISCO måleren elektronisk med kabel til pc. Disse dataene er først leselige når de overført til Microsoft Office, Excel. Ut fra dataene kan dato, tid, vannhøyde, fart, strømningsmengde og temperatur leses.

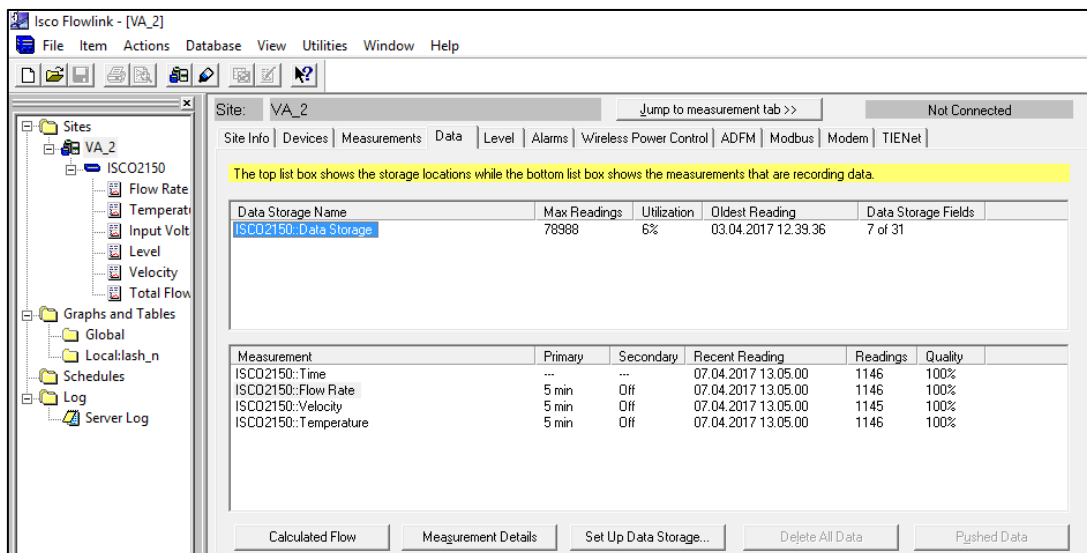
Programmet har også blitt brukt til å fremstille grafer og gjøre beregninger av fremmedvannmengde, korrelasjoner, gjennomsnittsverdier og standardavvik.

6.8.4 Teledyne ISCO Flowlink 5.1 Software

Teledyne ISCO Flowlink Software benytter Microsoft Windows for å kunne direkte overføre data fra vannmengdemåleren ISCO 2150. Programmet har en mengde funksjoner som blant annet umiddelbare grafer, og en real-time funksjon som viser eksempelvis vannføring og temperatur. Fowlink tillater brukere å selv tilpasse hvilke verdier og intervall som ISCO 2150-måleren skal måle. [34]

Alle data blir lagret i en standard Microsoft Access-database, og kan bli ordnet for videre studier. Programmet er et nyttig verktøy for å sammenligne tørrværsperioder og nedbørsperioder med tanke på vannføring, innlekking og infiltrasjon. [34]

Innhenting av data må gjøres ute i felt, med PC tilkoblet til ISCO 2150-måleren manuelt. Nedenfor er inndata vist som gruppen har lagt inn for vannføring, hastighet og temperatur. Hvert 5. minutt er benyttet som loggeintervall, ettersom det samme er benyttet på Nivus-måleren i kummen ved Holvika pumpestasjon.



Figur 6. 14: Inndata lagt inn av gruppen for registrering av vannmengde, hastighet og temperatur

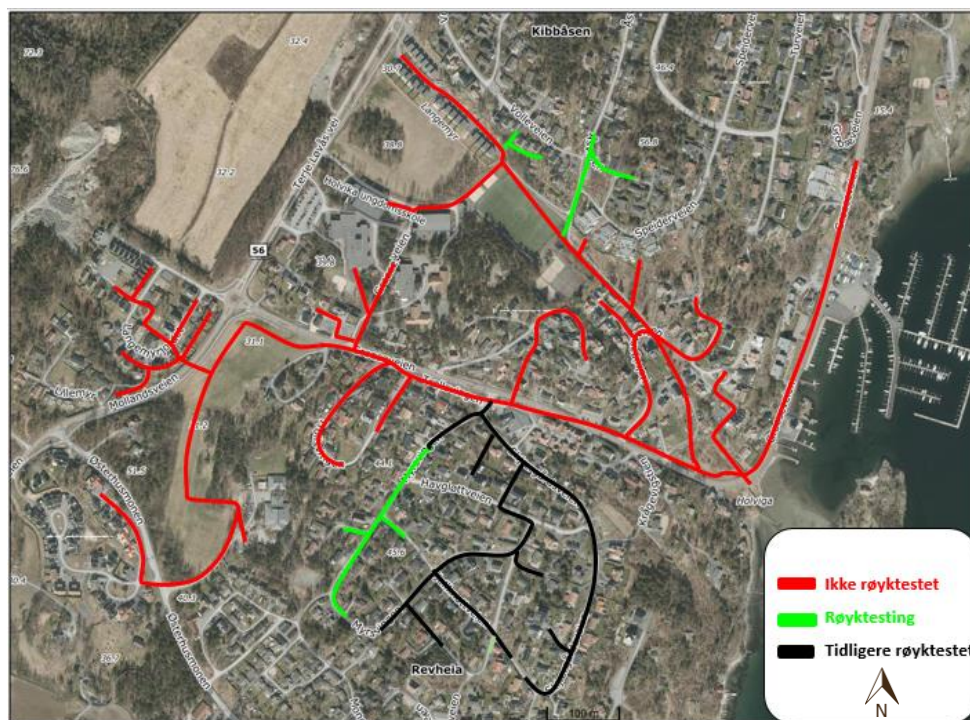
6.9 Røyktesting

Røyktesting er en effektiv metode for å avdekke feilkoblede private stikkledninger. Røyken som benyttes er kald og ufarlig røyk. Feil på private stikkledninger som tørre vannlåser og utette vannlåser vil også avdekkes med denne type røyktesting. Utvalgt ledningstrekk blir røyktestet ved at det i en utvalgt kum blir pumpet inn store mengder røyk via rør i et eventuelt stikk. Videre plugges innløpet til neste kum på ledningstrekket, slik at røyken på denne måten vil presse seg ut gjennom eventuelle feilkoblede takrenner/dreneringer fra påkoblede hus.



Figur 6. 15: Røyktesting sammen med Grimstad kommune

Basert på avvikende vannhøydemålinger, resultater fra kjemiske og fysiske vannanalyser og visuelle observasjoner har vi valgt ut noen områder i de ulike sonene for røyktesting. Ved røyktesting er det plassert gruppemedlemmer som observerer hus som er koblet på det aktuelle ledningstrekket som testes. Røyken som siger ut kan være vanskelig å oppdage, og det er derfor viktig med nærhet til konstruksjonen.



Figur 6. 16: Oversikt over ledningstrekk for røyktesting

6.10 Rørinspeksjon med kamera

Sammen med røyktesting er rørinspeksjon med kamera et nyttig verktøy for å avdekke og kartlegge feil visuelt på ledningsnett. Hensikten med rørinspeksjon med kamera er blant annet [35]:

- Finne årsak til gjentatte problemer på et ledningsstrek
- Kartlegge rørene og benytte rapport fra rørinspeksjonen for anbud
- Kontrollere rensing av rørene for avleiringer og røtter
- Avdekke bend og setninger på ledningsnett
- Avdekke og kartlegge skjulte stakekummer
- Kontrollere nyanlegg før de settes i drift
- Dokumentasjon av tilstanden på et ledningsstrek

Et rørinspeksjonskamera er et video-kamera konstruert for å filme i et rør. Kameraet er vanntett, og dimensjonene på kamera varierer fra 28 mm til 160 mm. De minste kameraene benyttes til å kjøre i sluk, og de største med selvgående traktor benyttes i f.eks vanlige boliger. Signalene fra verktøyet sendes digitalt til mottaker. [35]

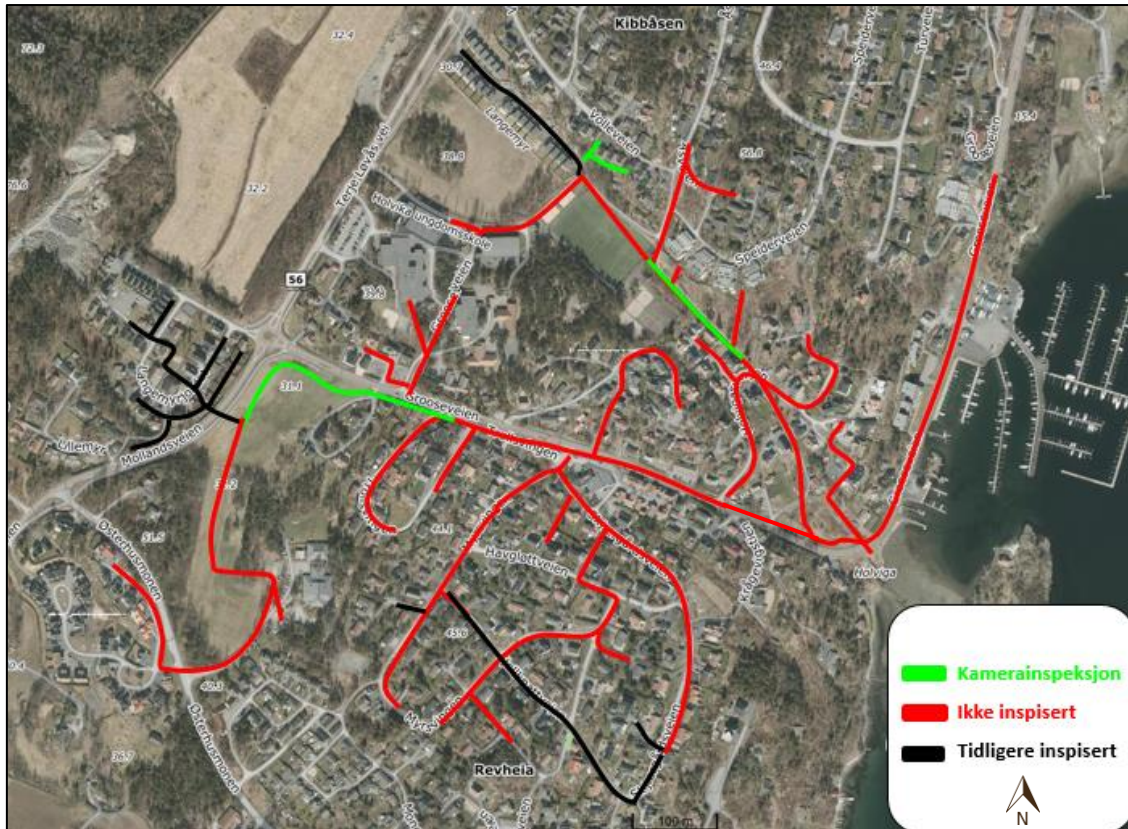


Figur 6. 17: Rørinspeksjon med kamera utført av Søgne Rørservice

Der vannstanden er for høy for inspeksjon, benyttes septiktankbil for å rengjøre røret og suge ut avløpsvann.

I Gemini portalen er det oppgitt at noen ledningsstrek i sone 4 er inspisert tidligere med kamerakjøring. Det er gjort sist i 2007, og det er ikke registrert noe videre arbeid på disse ledningene. Det er også utført sluttkontroll ved nyere boligfelt.

Ledningsstrekene som er valgt ut for rørinspeksjon er basert på resultater fra vannhøydemålinger, kjemisk og fysisk vannanalyse og røyktesting. Der gruppen har fått mistenkelige resultater og lite utslag på røyktestingen har vi valgt å benytte rørinspeksjon med kamera.



Figur 6. 18: Oversikt over ledningsstrek for rørinspeksjon med kamera

6.11 Beregning av fremmedvannmengder ved fortynningsmetoden

For å beregne fremmedvannmengden basert på fosforkonsentrasjon har gruppen brukt måledataene fra vannanalyse. Konsentrasjonen av Tot-P både ved nedbør og tørrværsperioder har blitt benyttet til å beregne andel fremmedvann i avløpsnett om nettene. Teorien bak beregningene har blitt forklart tidligere i rapporten i delkapitlet 3.8.3. Fremmedvannmengder som beregnes ved bruk av ligning 2.1 (fortynningsmetoden) inkluderer både konstante og nedbørsbetiget innlekking.

Prøvene er tatt i utvalgte kummer i både tørrvær og nedbørsepisoder i samtlige soner. Verdien på Tot-P har blitt målt i laboratoriet ved Universitetet i Agder.

I prosjektet har gruppen benyttet beregningsmetoden beskrevet i Oddvar G. Lindholm og Jarle T. Bjerkeholt sin artikkel «Stor andel fremmedvann i norske avløpsanlegg» [24].

I denne beregningen er antatt samlet fosforproduksjon 1,8 g/pd. Det er også antatt 160l/pd vannforbruk som er standardtallet til Norsk Vann.

Basert på gjennomsnittlige Tot-P-verdier fra måleepisodene har vi beregnet andel fremmedvann for hver sone.

6.12 Teoretisk avløpsvannsmengde

Ved å beregne det teoretiske vannforbruket for området har vi kommet frem at det skal i utgangspunktet være følgende gjennomsnittlige vannmengde i ulike soner, som presentert i tabell 6.1. Beregningen bak disse tallene har blitt forklart i vedlegg 7.

Tabell 6. 1: Det beregnede teoretiske vannforbruket for ulike soner i vårt område

Sone	l/s	l/døgn
1	0,30	25840
2	0,39	33776
3	0,40	34800
4	0,48	41600
5	0,28	24360
6	0,23	20000
Totalt	2,08	180376

6.13 Beregning av fremmedvannmengder basert på vannmengdemålinger

For å finne strekninger med betydelig fremmedvannmengde, har gruppen utført vannmengdemålinger av utvalgte kummer i alle soner. Vannmengdemålinger skal gjennomføres om natten, da det antas at det ikke er forbruk eller utslipp fra bolighus eller industri.

6.13.1 Konstant innlekking

Kartlegging av konstant innlekking skal gjennomføres ved å utføre vannhøydemålinger i perioden 01:00-05:30 i tørrværsperioder. Disse beregningene er basert på gjennomsnitt av tre vannhøydemåling om natten, alle i tørrvær. Det antas at den konstante innlekkingen er lik hele døgnet. Målt vannhøyde brukes til å beregne vannmengde ved hjelp av ligning 1.1 og 1.3 som er beskrevet i delkapittel 3.8. Dette tallet brukes deretter til å finne innlekking per dag og år.

6.13.2 Direkte nedbørsbetiget innlekking

Tilsvarende som i metoden for konstant innlekking skal det utføres tre vannhøydemålinger om natten, men i dette tilfellet ved nedbør. Direkte nedbørsbetiget innlekking finnes ved å fortsatt anta ingen forbruk, og deretter kan differansen i gjennomsnittlig vannmengde mellom målingene i tørrvær og nedbør beregnes. Differansen i vannhøyde målt ved nedbør brukes til å beregne vannmengde ved hjelp av ligning 1.1 og 1.3 som er beskrevet i delkapittel 3.8.

Denne metoden vil også få med seg litt av den trege avrenning som ellers er vanskelig å måle, ettersom den indirekte nedbørsbetigede innlekkingen kan vare i flere dager. Gruppen har derfor besluttet å samle all målt nedbørsbetiget innlekking under direkte nedbørsbetiget innlekking.

En regnbygge vil normalt øke gradvis i intensitet til den når en topp, for så å synke gradvis igjen. I dette tilfellet forenkles dette prinsippet, og de målte vannhøydene antas som gjennomsnittsverdier for regnet. Nedbørmåleren i feltet måler nedbørmengde og varighet, som videre tas et gjennomsnitt av for nedbørperiodene det er utført måling.

Det kan dermed beregnes en innlekket vannmengde for hver nedbørepisode som så deles på antall mm nedbør, og det finnes en verdi for liter innlekket fremmedvann pr. mm nedbør i området. Normalverdier for årlig nedbør fra Landvik målestasjon gir så grunnlag for å beregne en årlig innlekking av direkte nedbørsavhengig fremmedvann [36].

$$(\text{Vannføring}_{\text{nedbør}} - \text{Vannføring}_{\text{tørrvær}}) \times \text{varighet periode} = \text{FVmengde pr. periode}$$

$$\frac{\text{FVmengde pr. periode}}{\text{Nedbør pr. periode}} = \frac{\text{FVmengde}}{\text{Nedbørmengde}} \times \text{årlig nedbør} = \underline{\underline{\text{Årlig FVmengde, direkte innlekk}}}$$

6.14 Kostnad knyttet til fremmedvann

Store mengder fremmedvann i avløpssystemet forårsaker ekstra pumpe- og renskostnader for kommunen. Basert på de årlige mengdene konstant og nedbørsbettinget innlekking er det beregnet en kostnad i form av pumping og rensing for hver sone og værtype. Det er også beregnet en kostnad pr. mm nedbør i området for hver sone. Utfyllende beregninger er beskrevet i vedlegg 7.

På grunn av måleusikkerheten i tidligere metoder vil denne metoden gi omtrentlige kostnader.

Asplan Viak AS har oppgitt en sannsynlig renskostnad på 7 kr pr. m³ (vedlegg 3), og gruppen har beregnet en pumpekostnad på 0,108 kr pr. m³ (vedlegg 7) fra pumpedata fra Holvika pumpestasjon og en antatt midlere strømpris på 1 kr pr. kWt.

6.15 Vurdering av tiltak

Aktuelle tiltak satt i system med tilhørende skade/feil og årsaker, før de blir vurdert i et risiko-kost-nytte perspektiv under *sonespesifikke forhold*.

6.15.1 Multikriterieanalyse

Tiltakene er etter vurdering av sonespesifikke forhold blitt vurdert *generelt* gjennom en multikriterieanalyse som vektet risiko opp mot kost og nytte. På grunnlag av denne analysen blir tiltak prioritert for hver sone. Deretter blir estimerte kostnader tilknyttet alle prioriterte tiltak beregnet og presentert. Gjennom denne analysen kan tiltak som er lite hensiktsmessige utelukkes fra videre kostnadsberegninger.

6.15.2 Beregning av nåverdi og årskostnader basert på LCC

Når tiltakene vurderes mot hverandre, benyttes kostnadene tilknyttet hvert tiltak. For å kunne tallfeste disse kostnadene, beregnes nåverdi og årskostnad per tiltak etter ligning 3.3 og 3.4 som er beskrevet i delkapittel 3.8. Investeringskostnader er innhentet fra relevante aktører i næringslivet og offentlig sektor.

I disse beregningene er det benyttet en kalkulasjonsrente på 4 % og levetiden er satt til 100 år. Dette er basert på at kommuner i Norge får en relativt god rente, og i artikkelen «Revidert kalkulasjonsrente for statlige tiltak» utgitt av Økonomisk forum skrives det at en reell kalkulasjonsrente på 4 % skal benyttes i kost-nytte analyser. [37]

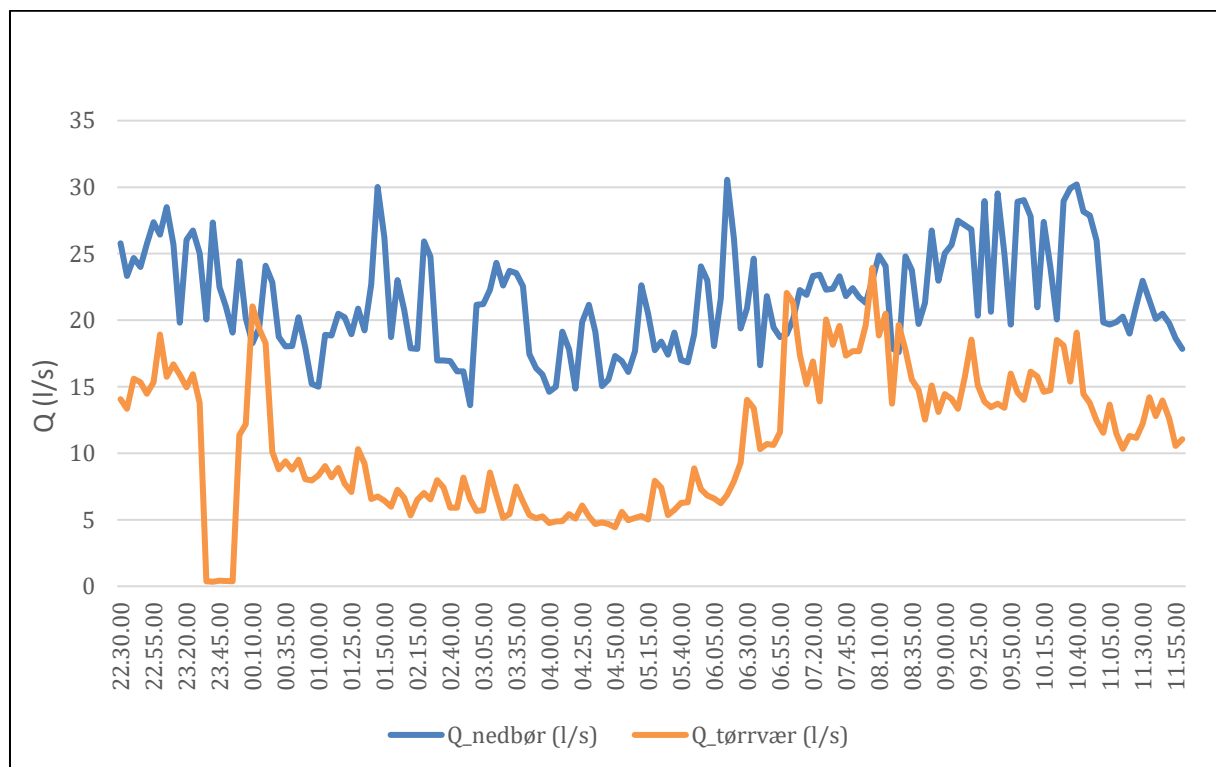
7. Resultater

7.1 Elektroniske vannmengdemåling

Dataene fra vannmengdemåleren som er plassert i innløpet til Hovika pumpestasjon viser vannføringen for hele området og har blitt benyttet til å finne mengden innlekking av fremmedvann i området. Vi har tatt utgangspunkt i en natt (8.03) med tørrværsavrenning og en natt med nedbør (28.02) for utarbeidelse av grafene fremstilt i figur 7.1. Dataene for disse to nettene er sammenstilt og sammenlignet med hverandre. Målingene fra nedbør- og tørrværsavrenning starter og slutter på samme tidsperiode.

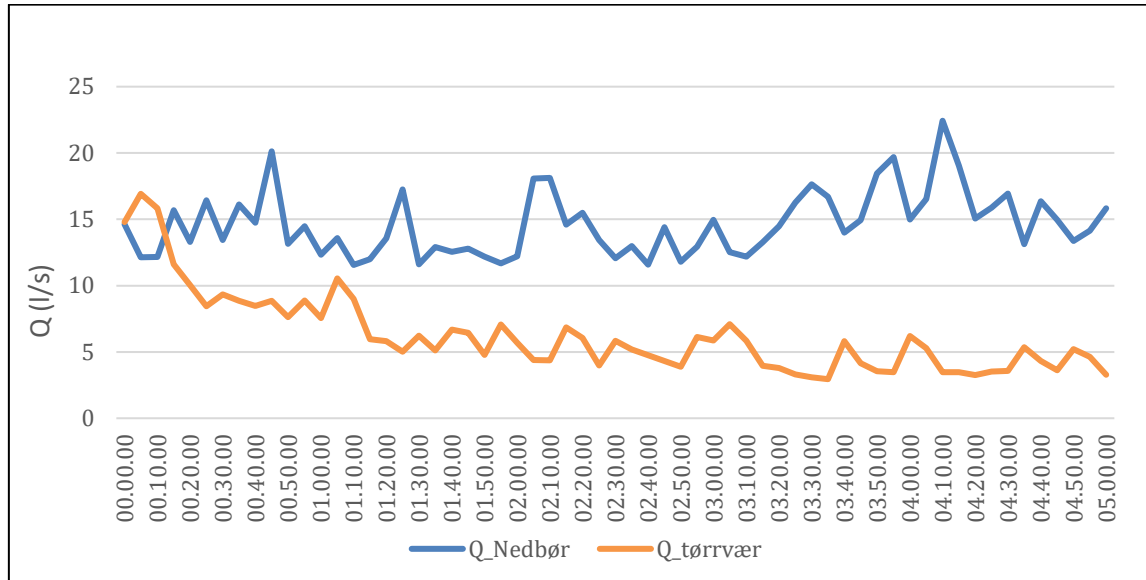
I figur 7.1 ser vi at den totale vannføringen for hele området i avløpssystemet er høyere ved nedbør sammenlignet med tørrværsavrenning. Det viser at en stor del av fremmedvann i avløpssystemet forårsakes av direkte nedbørsbetenget innlekking. Vannføringen i avløpsnettlet øker i det nedbøren starter og faller tilbake til normal føring etter nedbøren.

I utgangspunktet skal vannføringen om natta være tilnærmet null, men figur 7.1 viser en konstant vannføring i tørrvær på ca. 5 l/s. Det viser at konstant innlekking forekommer i området.



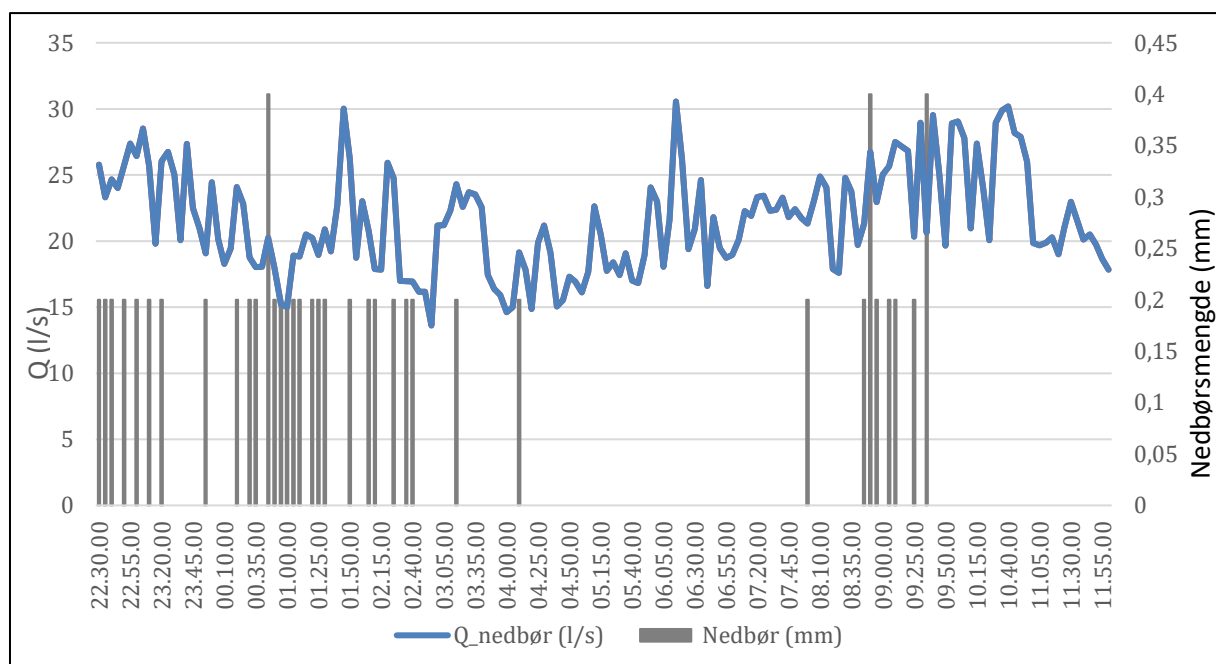
Figur 7. 1: Vannmengde inn til Holvika pumpestasjon i tørrvær og nedbør

Figur 7.2 viser vannføringen for hele området i en annen natt med nedbør (22.02) mot vannføringen i tørrvær (21.02) for hele området. Tilsvarende som figur 7.1 ser vi også her at nedbørbetinget innlekking forekommer i området. Konstant innlekking i området er på samme omtrent samme nivå som figuren 7.1.



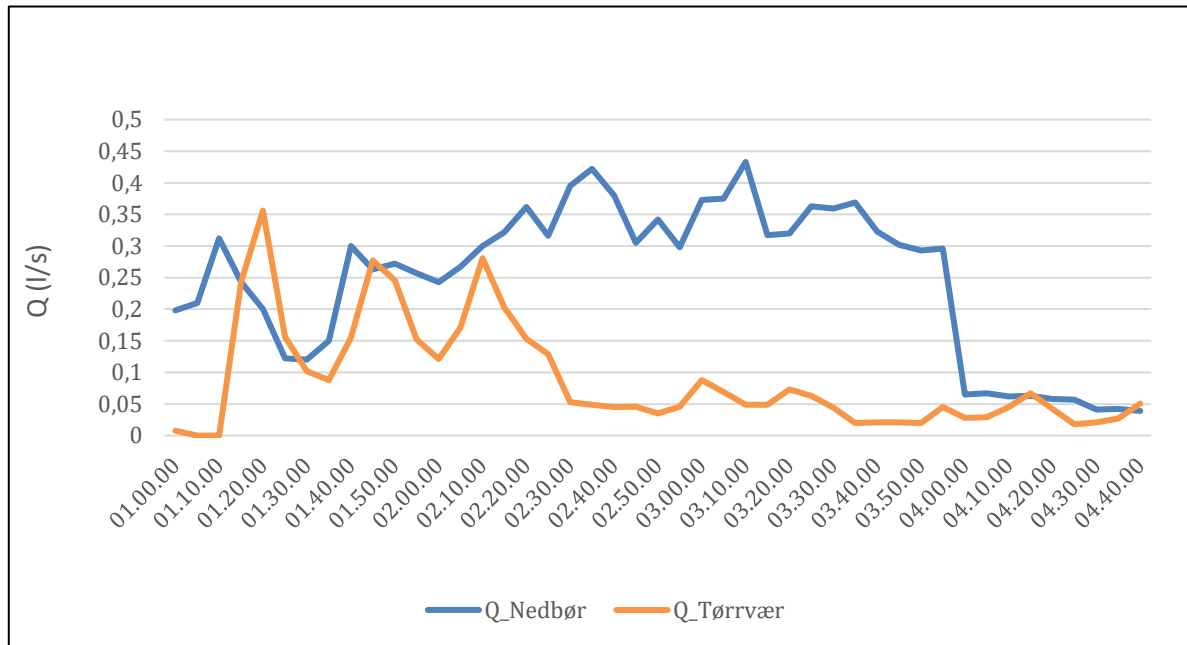
Figur 7. 2: Vannmengde inn til Holvika pumpestasjon i tørr- og nedbør

I figur 7.3 har vi tatt utgangspunkt i en natt (28.02), da det var nedbør. Figuren viser at vannføringen i avløpsrørene øker med nedbørintensitet større enn 2 mm per time. Det viser at nedbørbetinget innlekking forekommer i området. Manuelle vannmengdeberegninger kan hjelpe oss med å finne spesifikke feilkilder i ulike strekninger i området.



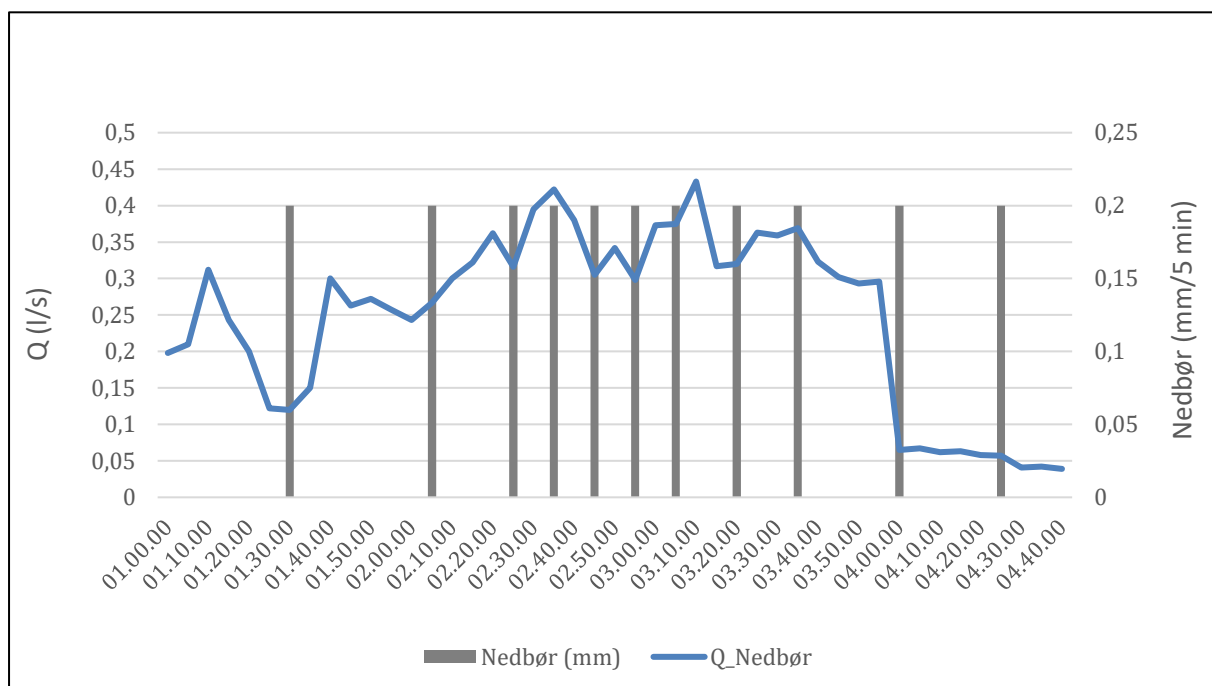
Figur 7. 3: Vannmengde til innløpet i Holvika pumpestasjon i nedbør og nedbørsmengde

Figur 7.4 illustrerer vannmengdeforskjellen for sone 1 og 3 i tørrvær (04.04) og ved nedbør (28.04). Ifølge nedbørsdatabasen regnbygge.no var det nedbør i det korte tidsintervallet 01:00 – 04:00. I dette tidsrommet kan vi se at $Q_{\text{regnvær}}$ øker drastisk. Dette viser at det forekommer nedbørsbetinget innlekking fra sone 1 og 3. Figuren viser noen unormale topper ved kl. 02:40, og 3:10 for $Q_{\text{regnvær}}$ i perioden med nedbør. Ettersom $Q_{\text{tørrvær}}$ ikke har noen slike topper forsterker dette mistanken om nedbørsbetinget innlekking i sone 1 og 3.



Figur 7. 4: Vannmengde i tørrvær og nedbør for sone 1 og 3

Figur 7.5 viser vannføring og nedbørsmengde for sone 1 og 3 en natt i nedbør (28.04).

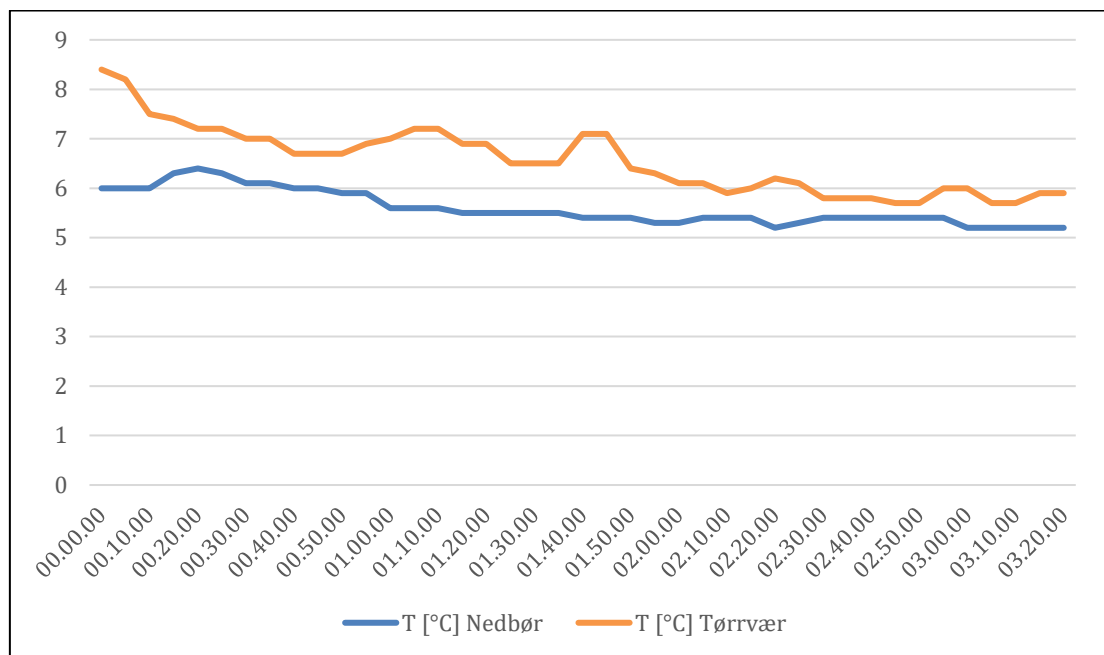


Figur 7. 5: Vannmengde i nedbør og nedbørsmengde for sone 1 og 3

7.2 Endring i temperatur i nedbør og tørrværsavrenning

Figur 7.6 viser temperaturen av avløpsvannet både ved nedbør (28.02) og tørrvær (08.03) i samme tidsperiode. Temperaturene er registrert i innløpet til Holvika pumpestasjon ved hjelp av elektronisk vannmengdemåler. Grafene viser hvordan temperaturen i avløpsvannet endrer seg i tørrvær og nedbør.

Ut fra grafen er det tydelig at temperaturen på avløpsvannet synker når vannmengden i avløpsnettet øker ved nedbørsperioder. Endring i temperaturen på avløpsvannet ved nedbør kan indikere at det finnes nedbørsbetenget fremmedvann i avløpssystemet.

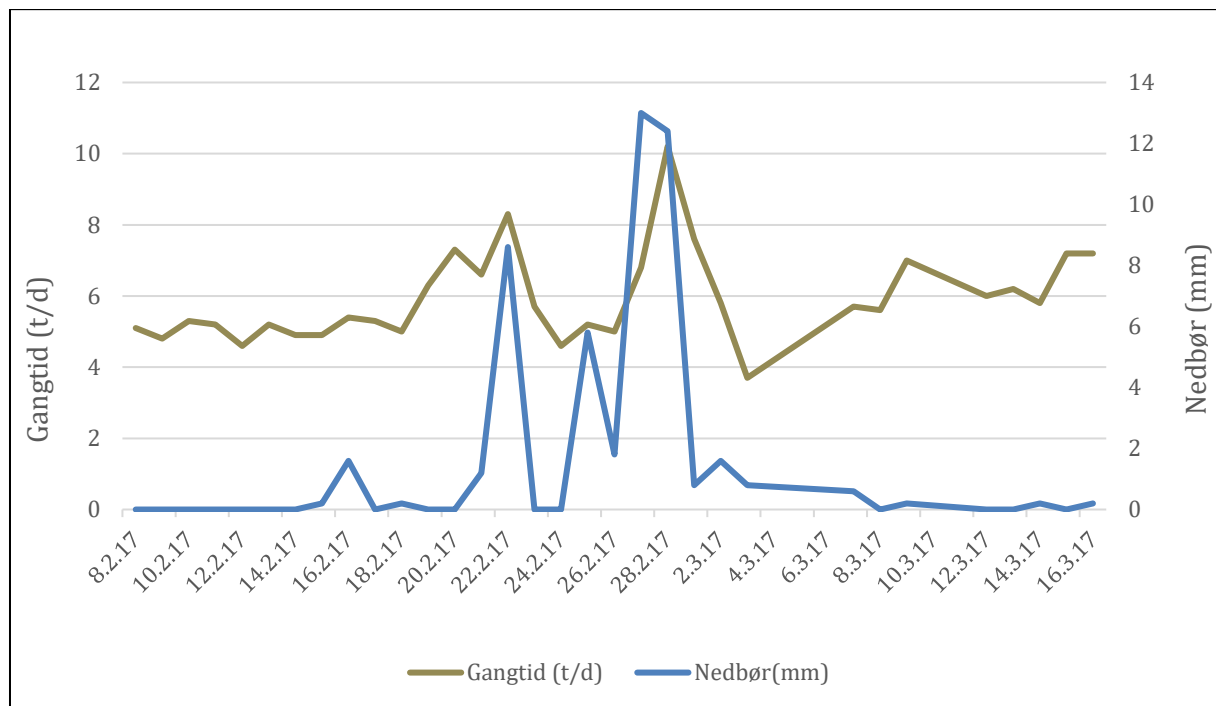


Figur 7. 6: Temperaturendringer for hele området i tørrvær og regnvær i innløpet til Holvika pumpestasjon

7.3 Pumping fra Holvika pumpestasjon

Pumpedataene for Holvika pumpestasjon viser at det finnes store mengder fremmedvann i avløpsnettene som følge av nedbørsbetiget innlekking. Figur 7.7 viser at i perioder med mye nedbør øker gangtidene for pumpene, noe som viser at det er sterk sammenheng mellom de to parametrene. Korrelasjonen mellom disse to parametrene er 0,48 og betyr at avløpssystemet i Holvika er utsatt for stor mengde fremmedvann i periode med høy nedbørintensitet.

Disse dataene inkluderer også innpumping fra Østerhus 2 og Molland pumpestasjon, og fremmedvann i disse områdene vil også være inkludert i denne grafen.



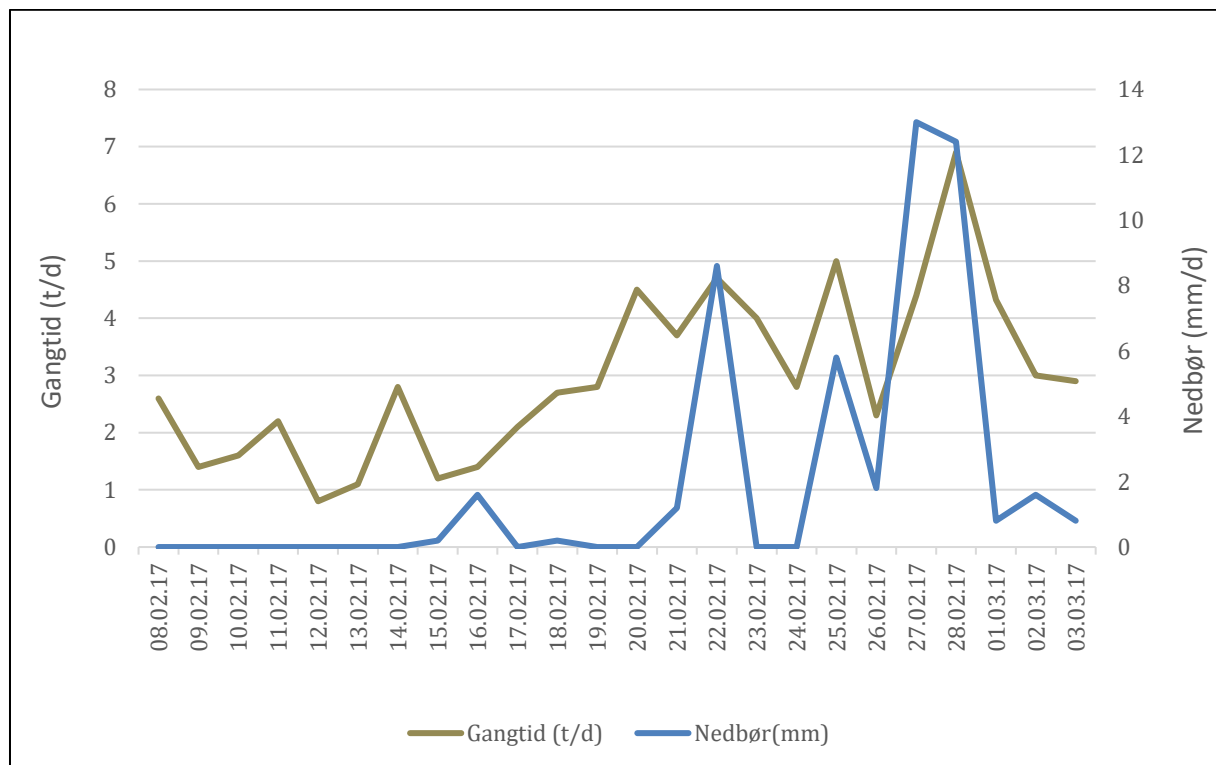
Figur 7. 7: Sammenheng mellom nedbørsmengde og gangtid for Holvika pumpestasjon i perioden 2.8

7.4 Pumping fra andre områder ved store regnbyger

Pumpedataene fra Grimstad kommune viser at det pumpes avløpsvann fra Molland og Østerhus 2 til Holvika pumpestasjon. Dataene viser at pumping fra disse to områdene medfører store mengder nedbørsbettinget fremmedvann i avløpssystemet til Holvika ved nedbørsperioder med høy nedbørintensitet. Ettersom oppgaven er definert med Holvika som avgrenset område, har vi ikke beregnet innlekkingen i disse to områdene. Det er likevel viktig å ikke utelukke at pumping fra disse to områdene kan gi utslag i Holvika ved store nedbørsperioder.

7.4.1 Molland pumpestasjon

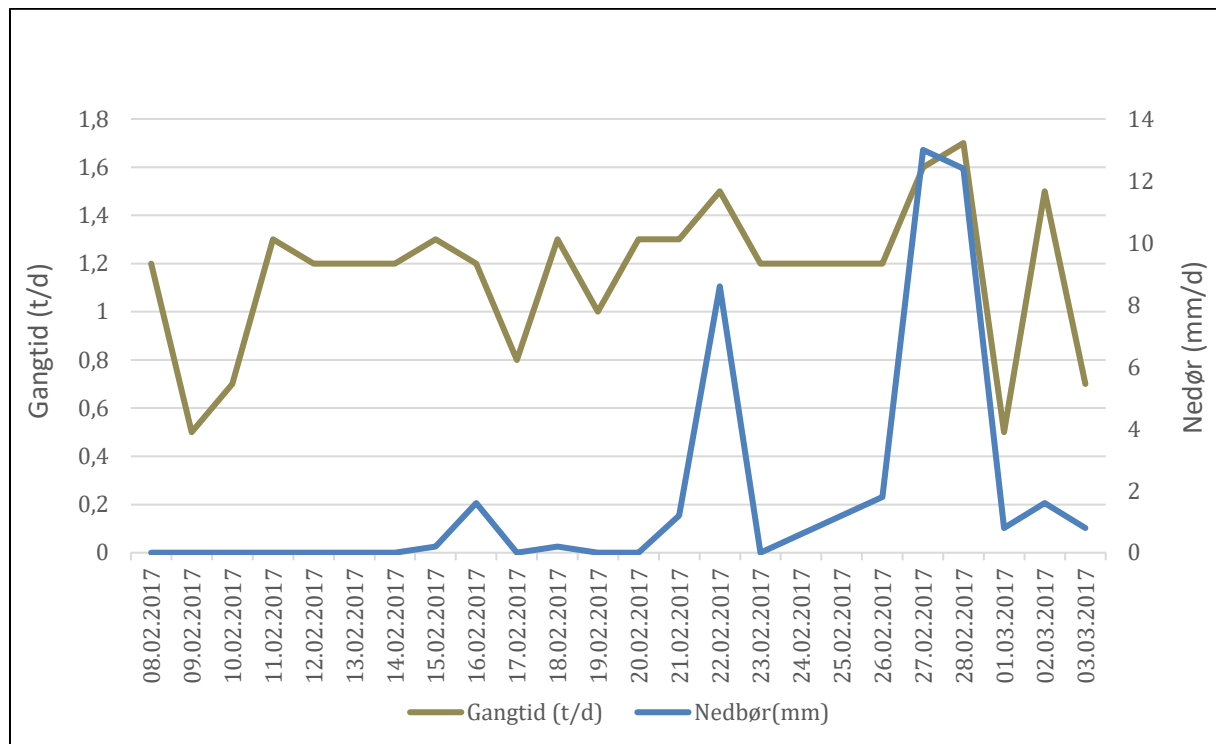
I figur 7.8 har vi tatt utgangspunkt i perioder fra februar til mars og plottet gangtidene til Molland pumpestasjon sammen med nedbørsmengden i tilsvarende periode. Det er da interessant å se sammenhengen mellom de to parameterne, ved at gangtidene til pumpene øker når nedbørsmengden øker. Figuren viser en korrelasjon på 0,66. Dette indikerer en sterk sammenheng mellom gangtidene til pumpene og nedbørsmengden. Det tyder på at avløpssystemet i Holvika er utsatt for stor mengde nedbørsbettinget fremmedvann som følge av pumping fra Molland pumpestasjon.



Figur 7. 8: Sammenheng mellom nedbørsmengde og gangtid for Molland pumpestasjon

7.4.2 Østerhus 2 pumpestasjon

I motsetning til Molland pumpestasjon pumpes det mindre vann fra Østerhus 2 pumpestasjon, noe som gjør at pumpene har mindre gangtid. Vannet fra denne pumpestasjonen er kun husholdningsavløp. Figur 7.9 viser at det finnes små topper på gangtidene til pumpene i perioder med nedbør, men det er ikke store mengder direkte nedbørsavhengig innlekking fra denne pumpestasjonens område.



Figur 7. 9: Sammenheng mellom nedbørsmengde og gangtid for Østerhus 2 pumpestasjon

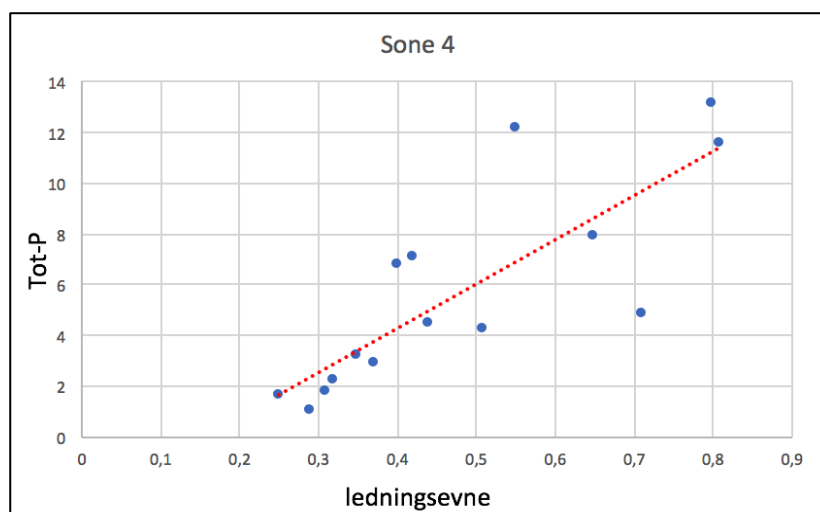
7.5 Korrelasjon mellom parametere

Resultatene fra kjemisk og fysisk vannanalyse har blitt benyttet til å finne korrelasjon mellom målte parametere. Hensikten med det er å finne sammenhengen mellom de ulike parametere. En positiv korrelasjon betyr at størrelser på parametere varierer i takt, mens negativ korrelasjon betyr at størrelser på parametere varierer i utakt. Korrelasjon mellom de ulike parametere har variert for de ulike sonene.

Gruppen har valgt å presentere korrelasjonene mellom parametere i sone 4. Dette begrunnes med at sone 4 er sonen med høyest befolkningstall. Det er også her gruppen har flest data som gir gode korrelasjon mellom ulike parametere. Målinger som skiller seg markant fra de andre verdier har blitt fjernet, ettersom disse regnes som feilmålinger. Korrelasjon mellom ulike parametere for de resterende sonene er lagt ved som vedlegg 6.

7.5.1 Korrelasjon mellom Tot-P og ledningsevne

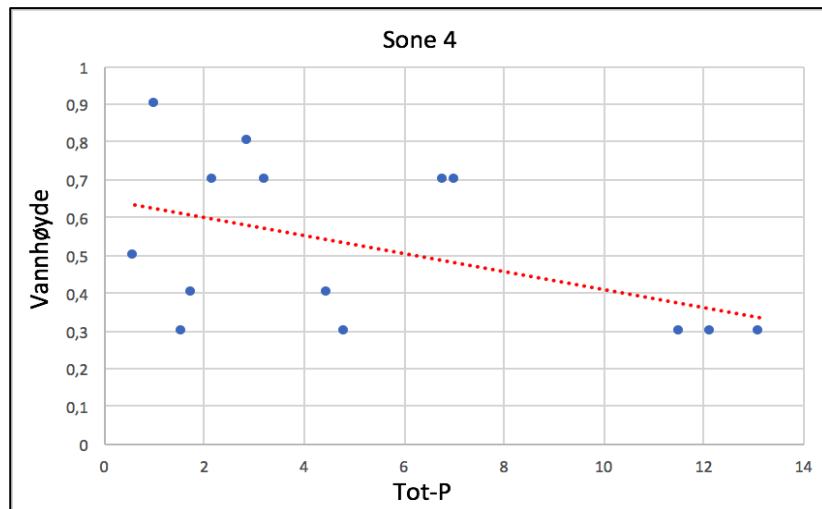
Ledningsevne og Tot-P har gitt en god sammenheng som vist i figur 7.10. Der verdien for ledningsevne øker, øker også fosforkonsentrasjonen tydelig i takt. Ettersom det er en samvarians mellom parametere er det en mulighet for at vannet er tynnet ut som konsekvens av fremmedvann. Det kan likevel ikke besluttes at det forekommer innlekking uten å sammenligne verdiene for disse parametere med vannmengde. Korrelasjonen på 0,81 viser en sterk sammenheng.



Figur 7. 10: Korrelasjon mellom Tot-P og ledningsevne, korrelasjon= 0,81

7.5.2 Korrelasjon mellom vannhøyde og Tot-P

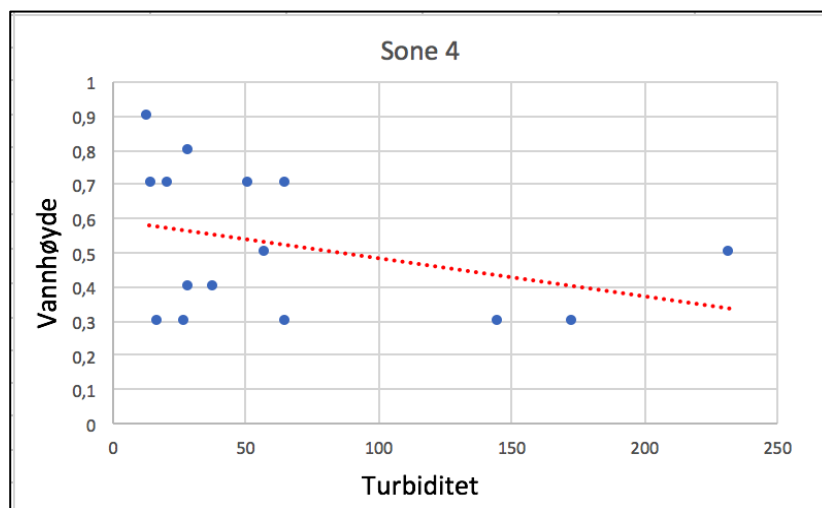
Figur 7.11 illustrerer hvordan fosforkonsentrasjonen synker i takt med at vannhøyden stiger. Dette er en god indikasjon på fremmedvann. Korrelasjonen på $-0,47$ viser en sammenheng mellom vannhøyde og Tot-P.



Figur 7. 11: Korrelasjon mellom vannhøyde og Tot-P, korrelasjon= $-0,47$

7.5.3 Korrelasjon mellom vannhøyde og turbiditet

I likhet med sammenhengen mellom vannhøyde og Tot-P, endrer turbiditeten seg negativt i takt med at vannhøyden øker. Sammen med figur 7.11 forsterker figur 7.12 indikasjonen på fremmedvann i sone 4. Korrelasjonen på $-0,5$ viser en moderat korrelasjon.



Figur 7. 12: Korrelasjon mellom vannhøyde og turbiditet, korrelasjon= $-0,35$

7.6 Kjemisk og fysisk vannanalyse

I dette kapittelet er det presentert beregnede gjennomsnitt og standardavvik for de kjemiske parameterne Tot-P, turbiditet, ledningsevne og temperatur presentert. Beregningene er basert på vannanalyser av samtlige soner i både tørrvær og nedbør. Parameteren pH er i vårt tilfelle lite anvendelig, og derfor utelatt.

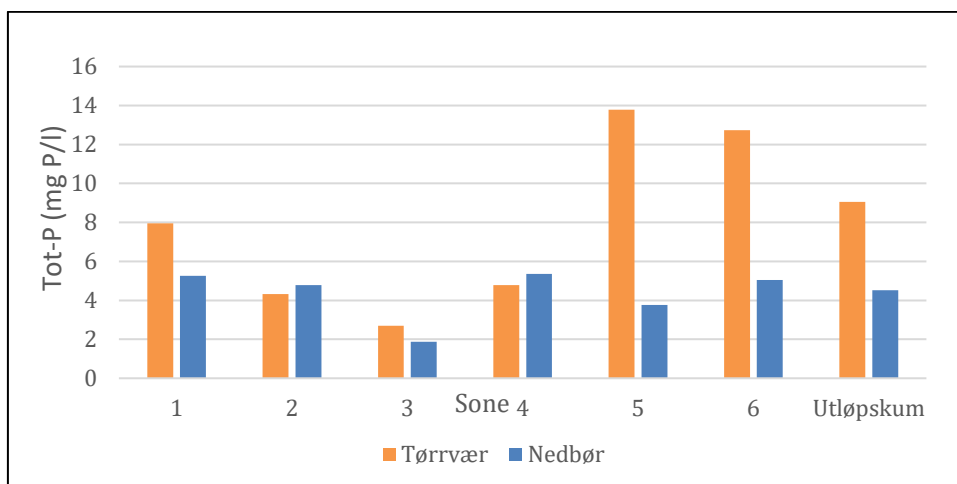
Tot-P

Tabell 7. 1: Gjennomsnitt og standardavvik for fosforkonsentrasjoner i tørrvær, n=3

Tot-P, tørrværsperioder: 18.03, 24.03, 27.-28.03		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	7,95	3,73
2	4,33	1,65
3	2,70	2,88
4	4,79	4,47
5	13,79	4,04
6	12,73	0,95
Utløpskum	9,06	0,46

Tabell 7. 2: Gjennomsnitt og standardavvik for fosforkonsentrasjoner i nedbør, n=3

Tot-p, nedbørsperioder: 28.02, 05.03, 24.04		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	5,26	4,21
2	4,79	1,63
3	1,87	1,05
4	5,36	3,93
5	3,76	4,41
6	5,05	4,76
Utløpskum	4,52	2,69



Figur 7. 13: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for fosforkonsentrasjoner i både tørrvær og nedbør

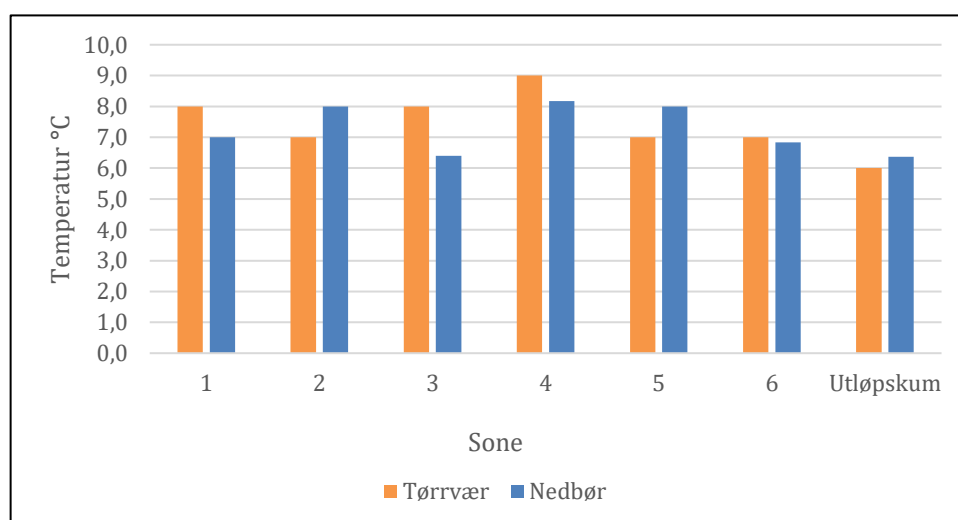
Temperatur

Tabell 7. 3: Gjennomsnitt og standardavvik for temperaturmålinger i tørrvær, n=3

Temperatur, tørrværsperioder: 18.03, 24.03, 27.-28.03		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	8,0	1,0
2	7,0	0,0
3	8,0	7,7
4	9,0	3,0
5	7,0	1,0
6	7,0	2,0
Utløpskum	6,0	0,0

Tabell 7. 4: Gjennomsnitt og standardavvik for temperaturmålinger i nedbør, n=3

Temperatur, nedbørsperioder: 28.02, 05.03, 24.04		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	7,0	1,7
2	8,0	0,0
3	6,4	2,0
4	8,2	0,8
5	8,0	0,0
6	6,8	1,3
Utløpskum	6,4	1,7



Figur 7. 14: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for temperatur i både tørrvær og nedbør

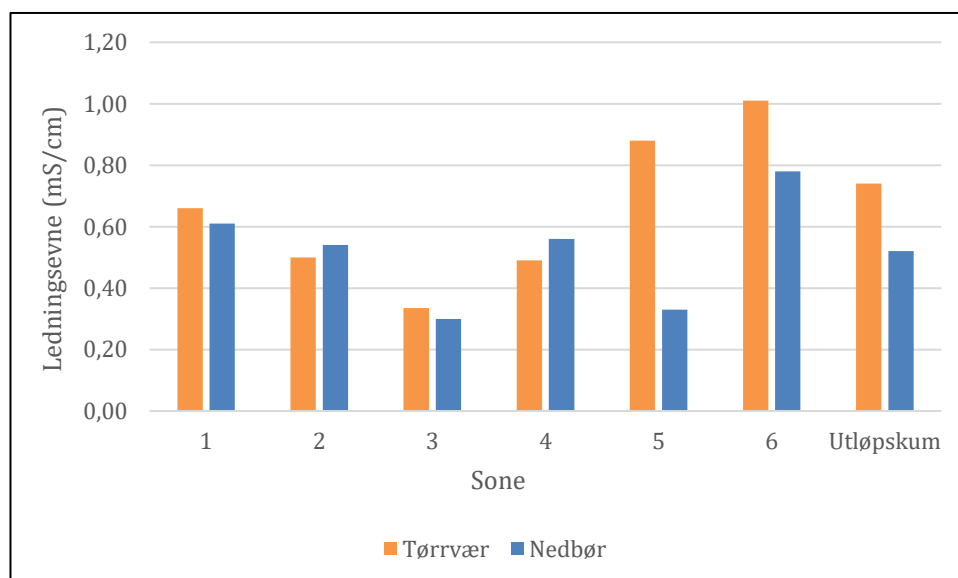
Ledningsevne

Tabell 7. 5: Gjennomsnitt og standardavvik for ledningsevne i tørrvær, n=3

Ledningsevne, tørrværsperioder: 18.03, 24.03, 27.-28.03		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	0,66	0,13
2	0,50	0,09
3	0,34	0,12
4	0,49	0,23
5	0,88	0,21
6	1,01	0,06
Utløpskum	0,74	0,04

Tabell 7. 6: Gjennomsnitt og standardavvik for ledningsevne i nedbør, n=3

Ledningsevne, nedbørsperioder: 28.02, 05.03, 24.04		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	0,61	0,39
2	0,54	0,05
3	0,30	0,37
4	0,56	0,27
5	0,33	0,19
6	0,78	0,35
Utløpskum	0,52	0,26



Figur 7. 15: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for ledningsevne i både tørrvær og nedbør

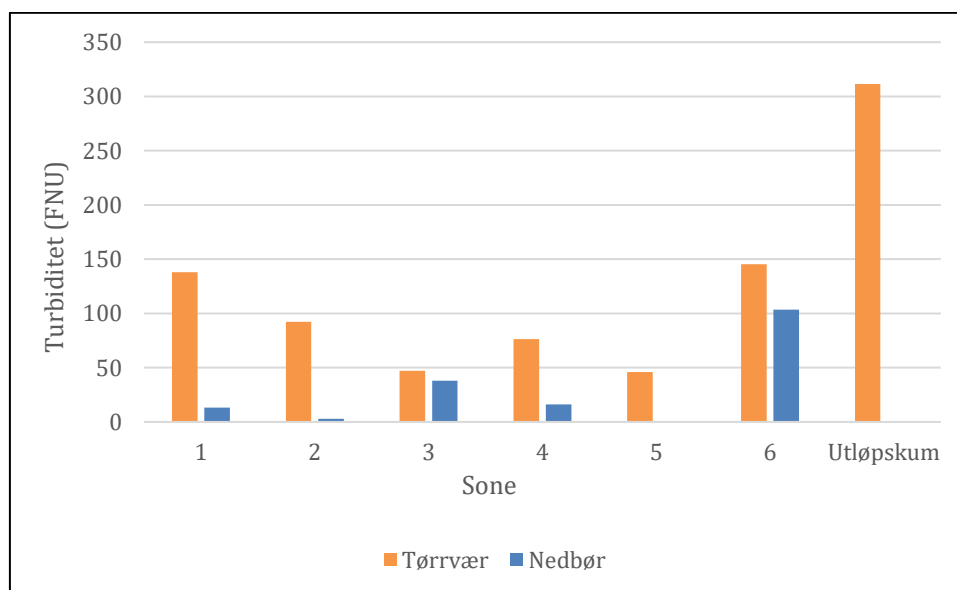
Turbiditet

Tabell 7. 7: Gjennomsnitt og standardavvik for turbiditet i tørrvær, n=3

Turbiditet, tørrværsperioder: 18.03, 24.03, 27.-28.03		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	138,0	127,3
2	92,3	112,9
3	47,0	30,4
4	76,2	83,5
5	46,0	25,5
6	145,5	97,3
Utløpskum	311,5	129,4

Tabell 7. 8: Gjennomsnitt og standardavvik for turbiditet i nedbør, n=3

Turbiditet, nedbørsperioder: 28.02, 05.03, 24.04		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	13,2	21,5
2	2,9	4,0
3	37,9	20,0
4	16,2	27,1
5	0,3	0,2
6	103,5	144,9
Utløpskum	0,5	0,3



Figur 7. 16: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for turbiditet i både tørrvær og nedbør

7.7 Vannhøydemålinger

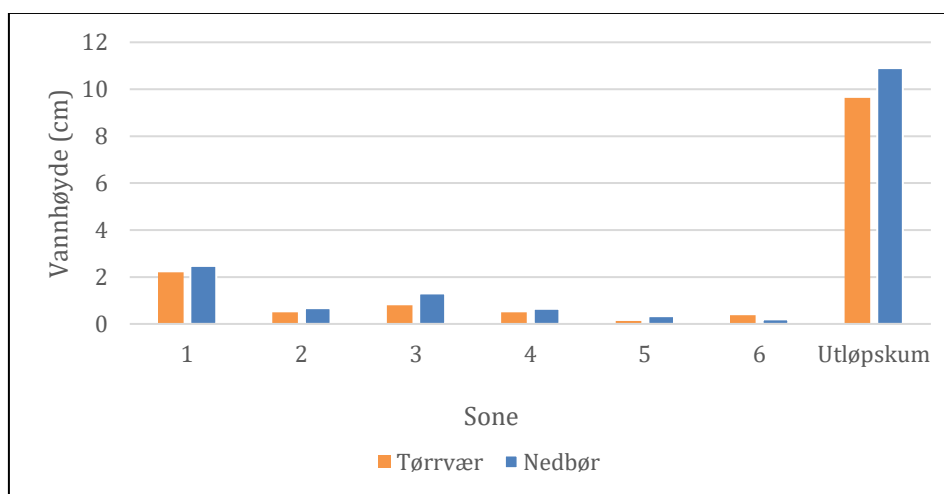
I dette kapittelet er det presentert beregnede gjennomsnitt og standardavvik for vannhøydemålinger i både tørrvær og nedbør presentert. Beregningene er basert på 3 målesekvenser i begge værforhold.

Tabell 7. 9: Gjennomsnitt og standardavvik ved tørrværsmålinger, $n=3$

Vannhøydemåling, tørrværsperioder: 18.03, 24.03, 27.-28.03		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	2,2	0,8
2	0,5	0,1
3	0,8	0,3
4	0,5	0,2
5	0,1	0,1
6	0,4	0,2
Utløpskum	9,6	0,8

Tabell 7. 10: Gjennomsnitt og standardavvik ved nedbørsmålinger, $n=3$

Vannhøyde, nedbørsperioder: 28.02, 05.03, 24.04		
Sone	Gjennomsnitt	Standardavvik
1	2,5	1,0
2	0,7	0,3
3	1,3	0,3
4	0,6	0,3
5	0,3	0,3
6	0,2	0,1
Utløpskum	10,9	2,1



Figur 7. 17: Grafisk fremstilling av gjennomsnittsverdier for vannhøyde i tørrvær og nedbør

7.8 Beregning av fremmedvannmengder basert på vannhøydemålinger

Konstant nedbørsuavhengig innlekking

Konstant innlekking er beregnet ved å bruk høydemålinger tatt om natten i tørrvær. Gruppen antar at det ikke er forbruk om natten. Metoden er ytterligere beskrevet i delkapittel 6.13.1, og de anvendte tallene presentert i kapittel 7.7. Se vedlegg 7 for fullstendige beregninger.

Denne konstante nedbørsuavhengige innlekkingen vil pr. år utgjøre 42 376 m³ tilført fremmedvann til pumpestasjon og renseanlegg.

Tabell 7. 11: Beregnet konstant nedbørsuavhengig innlekking pr. sone

Sone	l/s	l/døgn	m ³ /år
1	0,66	56 888	20 764
2	0,18	15 244	5 564
3	0,15	13 155	4 801
4	0,33	28 283	10 323
5	0,01	440	161
6	0,02	2 090	763
Totalt	1,34	116 099	42 376

Direkte nedbørsavhengig innlekking

Den nedbørsavhengige innlekkingen er beregnet som differansen mellom vannmengden på nattestid i nedbør og tørrvær. Metoden er ytterligere beskrevet i delkapittel 6.13.2.

Den normale årlige nedbøren ved Landvik målestasjon på 1230 mm er brukt til å anslå en årlig direkte nedbørsavhengig innlekking. Fullstendige beregninger er vist i vedlegg 7.

Totalt vil den direkte nedbørsavhengige innlekkingen i Holvika-området være 3 455 l/mm nedbør, som til sammen blir 4 251 m³ i løpet av et normalt nedbørsår.

Tabell 7. 12: Direkte nedbørsavhengig innlekking pr. sone

Sone	l/mm nedbør	m ³ /år
1	1 012	1 245
2	888	1 092
3	886	1 090
4	430	529
5	240	295
6	0	0
Totalt	3 455	4 251

Total fremmedvannmengde

Her er tallene fra den konstante innlekkingen lagt sammen med tallene fra direkte nedbørsavhengig innlekking lagt sammen, for å gi oversikt over total fremmedvannmengde i området.

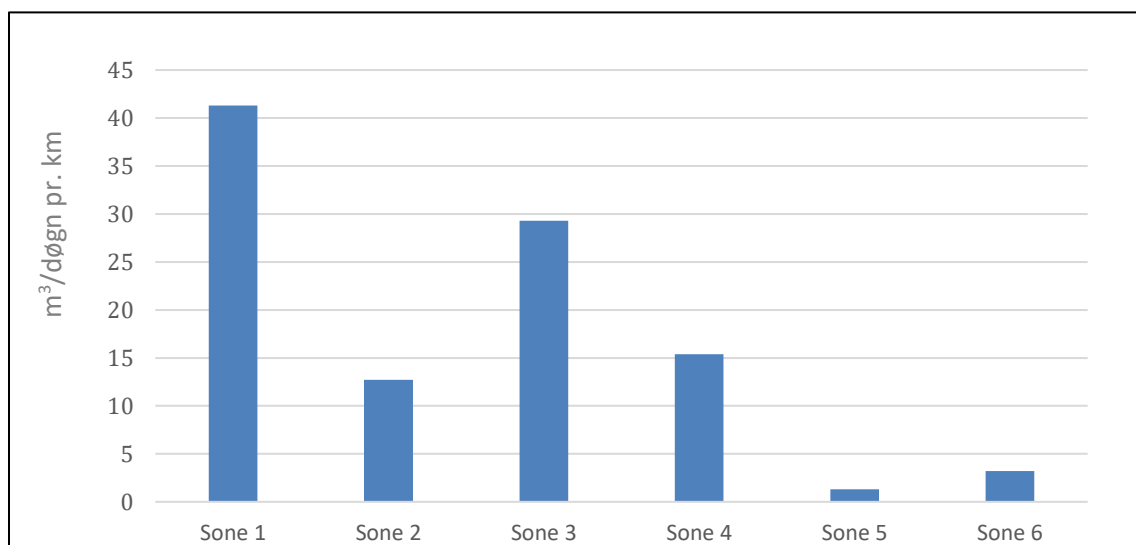
Disse tallene er videre brukt i de økonomiske beregningene i kapittel 7.9.

Den totale årlige fremmedvannmengden for Holvika-området er 46 627 m³/år.

Tabell 7. 13: Totale fremmedvannmengder pr. sone og totalt

Sone	Konstant innlekking		Direkte nedbørsavhengig innlekking	Total fremmedvannmengde		Årlig fremmedvannmengde
	l/s	m ³ /år	m ³ /år	m ³ /døgn	m ³ /år	m ³ /døgn × km
1	0,66	20 764	1 245	60,3	22 009	41,3
2	0,18	5 564	1 092	18,2	6 656	12,7
3	0,15	4 801	1 090	16,1	5 891	29,3
4	0,33	10 323	529	29,7	10 852	15,4
5	0,01	161	295	1,2	456	1,3
6	0,02	763	0	2,1	763	3,2
Totalt	1,34	42 376	4 251	127,7	46 627	103,2

Figur 7.18 viser samlet konstant og nedbørbetinget innlekking fordelt på de forskjellige områdene, per kilometer ledningsnett. Dette vil gi en generell indikasjon på ledningsnettets tilstand i de forskjellige sonene. I følge denne beregningen er ledningsnettets tilstand i sone 1 og 3 de som er i dårligst tilstand, selv om for eksempel sone 4 har en vesentlig større mengde fremmedvann totalt.



Figur 7. 18: Grafisk fremstilling av mengde innlekket fremmedvann m³ pr. døgn pr. km ledningsnett

Beregning av fremmedvannsandel basert på teoretisk forbruk og vannmengdemålinger

I denne metoden er det tatt utgangspunkt i det teoretiske døgnforbruket, basert på antall innbyggere i hver sone i tillegg til annet forbruk som skoler, idrettshall og lignende. Disse tallene er tidligere presentert i delkapittel 6.12. Den totale fremmedvannmengden fra tabell 7.13 er lagt til grunn. For fullstendige beregninger, se vedlegg 7.

Tabell 7. 14: Total andel fremmedvann pr. sone og totalt

Sone	Andel konstant innlekket	Andel direkte nedbørbetinget innlekket	Total andel fremmedvann
1	66 %	4 %	70 %
2	29 %	6 %	35 %
3	26 %	6 %	32 %
4	40 %	2 %	42 %
5	2 %	3 %	5 %
6	9 %	0 %	9 %
Totalt	38 %	4 %	42 %

7.9 Økonomiske beregninger knyttet til pumping og rensing av fremmedvann

De økonomiske beregningene er utført som beskrevet i delkapittel 6.14. Verdiene som ligger til grunn er 7 kr/m³ i renskostnad (vedlegg 7 mail) og 0,108 kr/m³ i pumpekostnad fra Holvika pumpestasjon til rensanlegget. Strømprisen som ligger til grunn er 1 kr/kWh.

7.9.1 Konstant nedbørsuavhengig innlekking basert på vannmengdemålinger

Konstant innlekking utgjør en stor årlig mengde vann som renses og pumpes. Kostnadene utgjør omtrent 301 209 kr i året.

Tabell 7. 15: Totale kostnader tilknyttet konstant innlekking

Sone	Pumpekostnader (kr/år)	Renskostnader (kr/år)	Total kostnad (kr/år)
1	2 243	145 348	147 591
2	601	38 948	39 549
3	519	33 607	34 126
4	1 115	72 261	73 376
5	17	1 127	1 144
6	82	5 341	5 423
Totalt	4 577	296 632	301 209

7.9.2 Direkte nedbørsavhengig innlekking basert på vannmengdemålinger

Grunnlaget for disse beregningene er fremmedvannmengdene beregnet i delkapittel 7.8, sammen med intensitet og lengde på regnbygene. I følge våre beregninger koster det i Holvika 24,57 kroner per mm nedbør.

Verdien for årlig regn er den samme som i tidligere beregninger, 1230 mm per år ved Landvik målestasjon. Samlet årlig kostnad for nedbørbetinget innlekking er da 30 215 kr.

Tabell 7. 16: Kostnader knyttet til nedbørsavhengig innlekking, pr. mm

Sone	Pumpekostnad (kr/mm nedbør)	Renskostnad (kr/mm nedbør)	Total kostnad (kr/mm nedbør)
1	0,11	7,08	7,19
2	0,10	6,22	6,31
3	0,10	6,20	6,30
4	0,05	3,01	3,06
5	0,03	1,68	1,71
6	0,00	0,00	0,00
Totalt	kr 0,37	kr 24,19	kr 24,57

Tabell 7. 17: Kostnader knyttet til nedbørsbetting innlekking, pr. år

Sone	Pumpekostnader (kr/år)	Rensekostnader (kr/år)	Totale kostnader (kr/år)
1	134	8 713	8 848
2	118	7 646	7 764
3	118	7 628	7 746
4	57	3 702	3 759
5	32	2 066	2 098
6	0	0	0
Totalt	459	29 756	30 215

7.9.3 Total kostnadsberegning basert på vannhøydemålinger

Totale kostnader er beregnet ved å samle kostnadene knyttet til både konstant innlekking og direkte nedbøravhengig innlekking.

Den totale kostnaden knyttet til rensing og pumping av fremmedvann i Holvika-området er 331 424 kr i året.

Tabell 7. 18: Totale kostnader knyttet til fremmedvanninnlekking i Holvika

Sone	Kostnad (kr/år)
1	156 438
2	47 313
3	41 872
4	77 135
5	3 243
6	5 423
Totalt	331 424

7.10 Beregning av fremmedvannmengder basert på fortynningsmetode

Basert på målte fosforkonsentrasjoner har gruppen beregnet fremmedvannandeler for hver sone. Vi har brukt metoden som er beskrevet i delkapittel 6.11.

Tabell 7. 19: Gjennomsnittlige fosforkonsentrasjoner for hver sone

Sone	Gjennomsnittlige Tot-P verdier
1	6,60
2	3,90
3	2,29
4	5,04
5	9,78
6	8,89
Utløpskummen for hele område	6,79

Basert på verdier fra tabell 7.19 har vi i tabell 7.20 funnet følgende fremmedvannandel i de ulike sonene:

Tabell 7. 20: beregnet fremmedvannandel ved fosformetode

Sone	Fremmedvannandel i prosent
1	46 %
2	59 %
3	74 %
4	55 %
5	13 %
6	22 %
Utløpskummen for hele område	40 %

7.11 Røyktesting

Følgende ledningsstrekk har blitt røyktestet:

- Myrsvingen (sone 4)
- Volleveien (sone 2)
- Åsveien (sone 2)

Resultatet fra røyktestingen er en feilkoblet takrenne og drensledning i sone 4. I tillegg er det et stakerør som mangler lokk på terrassen til et annet hus i samme sone. Ifølge mannskap fra kommunens tekniske etat som har vært med på røyktestingen har det blitt påvist feilkobling av takrenne og dreneringsledning gjennom røyktesting på det samme huset før.



Figur 7. 19: Resultater fra røyktesting. Til venstre: feilkoblet taknedløp, til høyre: røyk stigende opp fra stakeluke uten lokk på terrasse

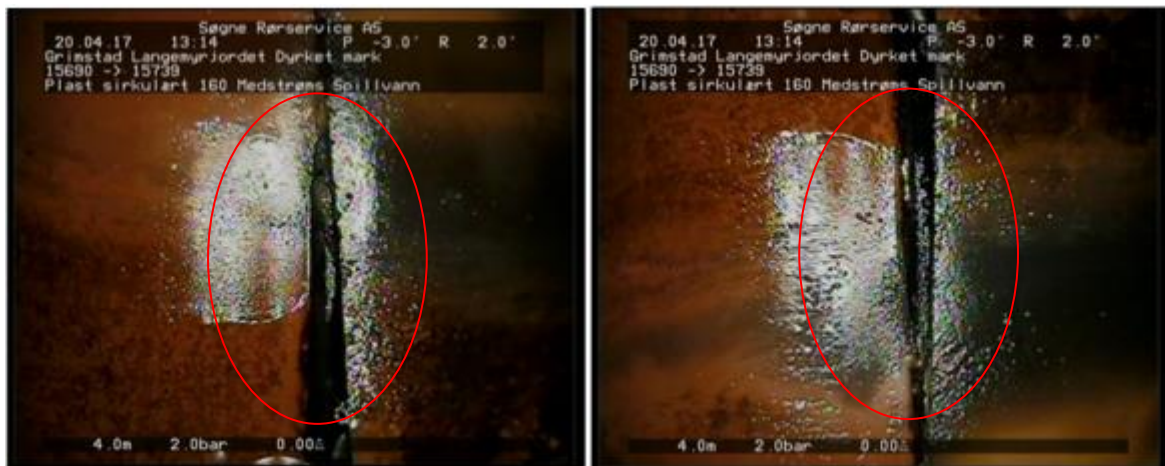
Røyktestingen på de resterende ledningsstrekke påviste ingen feil. Det kan derfor konkluderes med at disse strekningene ikke har noen private feilkoblinger eller sluk. Av samtlige hus på testområdet steg det røyk ut av luftehatter/ventiler, slik som forskriftene tilsier.

Det var også planlagt røyktesting i sone 3 ved Holvika skoler. Dette ble ikke gjennomført ettersom kommunen ikke tillot at røyktestingen ble gjennomført i skoletid. Kommunens mannskap kunne derimot bekrefte at de har observert innlekking fra en gammel kum på dette strekket.

7.12 Rørinspeksjon med kamera

I dette delkapittelet presenteres feil på ledningsstrekke som er inspisert med kamera. Komplette rapporter fra kamerainspeksjonen er lagt ved som vedlegg 10. Her er kritiske feil presentert.

7.12.1 Langemyrjordet (sone 1)

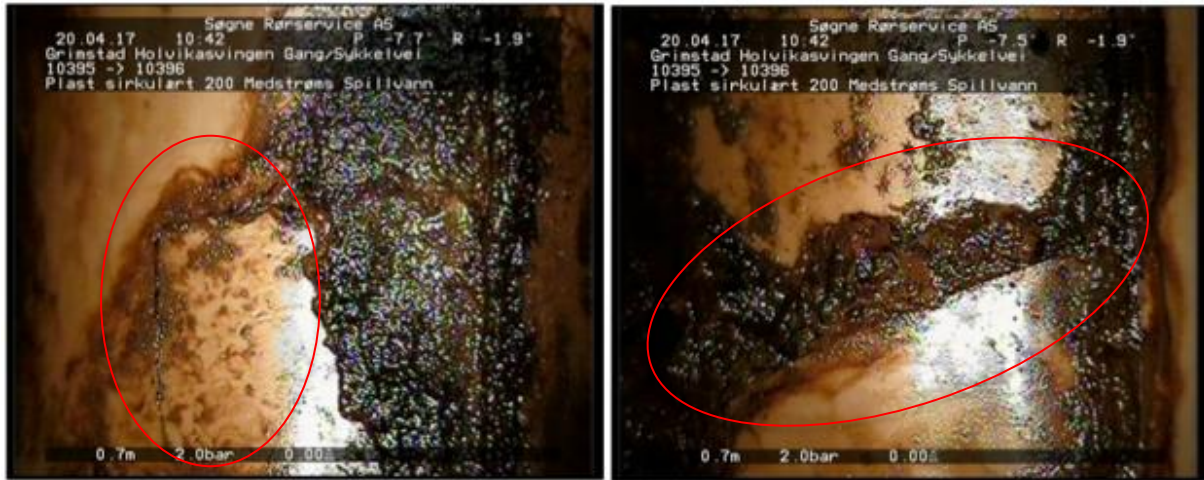


4 meter ut fra startpunkt (kum 15690) er det en pakning observert tydelig. Pakningsringen kan sees i rørskjøten, og dette er en kilde for innlekking utenfra. Ettersom ledningen ligger på dyrket mark/jord, er det en høy sannsynlighet for konstant innlekking på slike punkter som dette.



6,5 meter ut fra startpunkt er det observert vann som lekker inn konstant i en utett rørskjøt. Dette bekrefter gruppens mistanke om konstant innlekking i sone 1, med eldre rør og ugunstige grunnforhold som myr, torv og dyrket mark.

7.12.2 Holvikasvingen gang/sykkelvei (sone 2)



0,78 meter ut fra startpunkt (kum 10395) er det observert sprekker i røret. Som vist på bildene over er det mye leire og annet utenfra som siger inn. Etersom kummen ligger i en dyp grøft, og går videre ut i myr/bekk er dette en kilde til innlekking utenfra.



28,9 meter ut fra startpunkt (kum 10396) er det en svært dårlig tilkobling til ledningsnett. Denne tilkoblingen er «hugget» inn på ledningen, og det er observert konstant innlekking av vann rundt tilkoblingen som kommer utenfra.

7.13 Tilstandsanalyse av kummer

Det er utført en tilstandsanalyse av kummene som ble utvalgt til vannhøydemålinger. Analysen viser at kummene i området har en generelt god tilstand (vedlegg 5). Store deler av kummene har tette PVC stigerør med lokk, og betongkummene er stort sett fri for sprekker og skader.

Kun én kum har fått tilstandsgrad 3 på grunn av betydelig innlekking:.

Kum nr. 15886 (utløpskum for hele området)

Nedstigningskum like før Holvika pumpestasjon. Det forekommer innlekking fra omtrent midt på sørøstre vegg fra nærliggende drikkevannsledning. Dette er sannsynlig, ettersom innlekkingen ikke er betydelig nedbøravhengig. Det lekker også inn grunnvann fra venstre innløp som egentlig er plombert. I tillegg tar åpne spetthull inn avrenning fra veioverflaten.



Figur 7. 20: Utløpskum, kum nr. 15886

I tillegg vil vi som nevnt i kapittelet om røyktesting legge til kum nr. 10365 ved Holvika skole som tilstandsklasse 3, basert på observasjoner fra kommunens eget mannskap. Her er spetthullene svært utette, samt at det lekker inn fra kumvegg.



Figur 7. 21: Kum nr. 10365

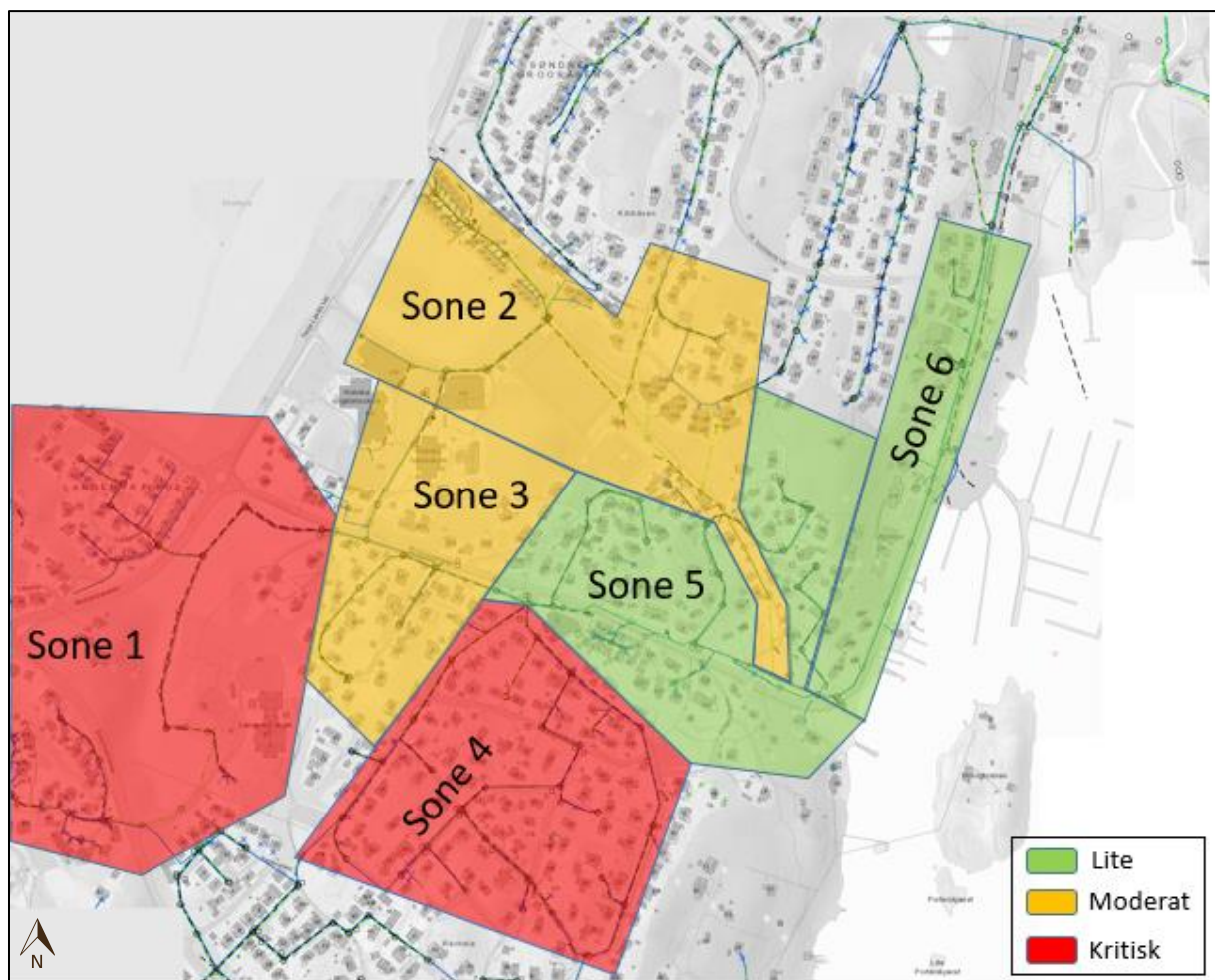
8. Diskusjon

8.1 Totalvurdering. Hvor forekommer det betydelige mengder fremmedvann?

8.1.1 Grafisk fremstilling av konstant innlekking

Manuelle vannmengdemålinger og visuelle observasjoner i tørrvær om nettene viser at konstant innlekking er et problem i Holvika-området. Den grafiske fremstilling i figur 8.1 viser en vurdering av hvor stort problemet er i de ulike sonene.

Detaljert vurdering av sonene er beskrevet i kapitlene 8.1.3 – 8.1.8.

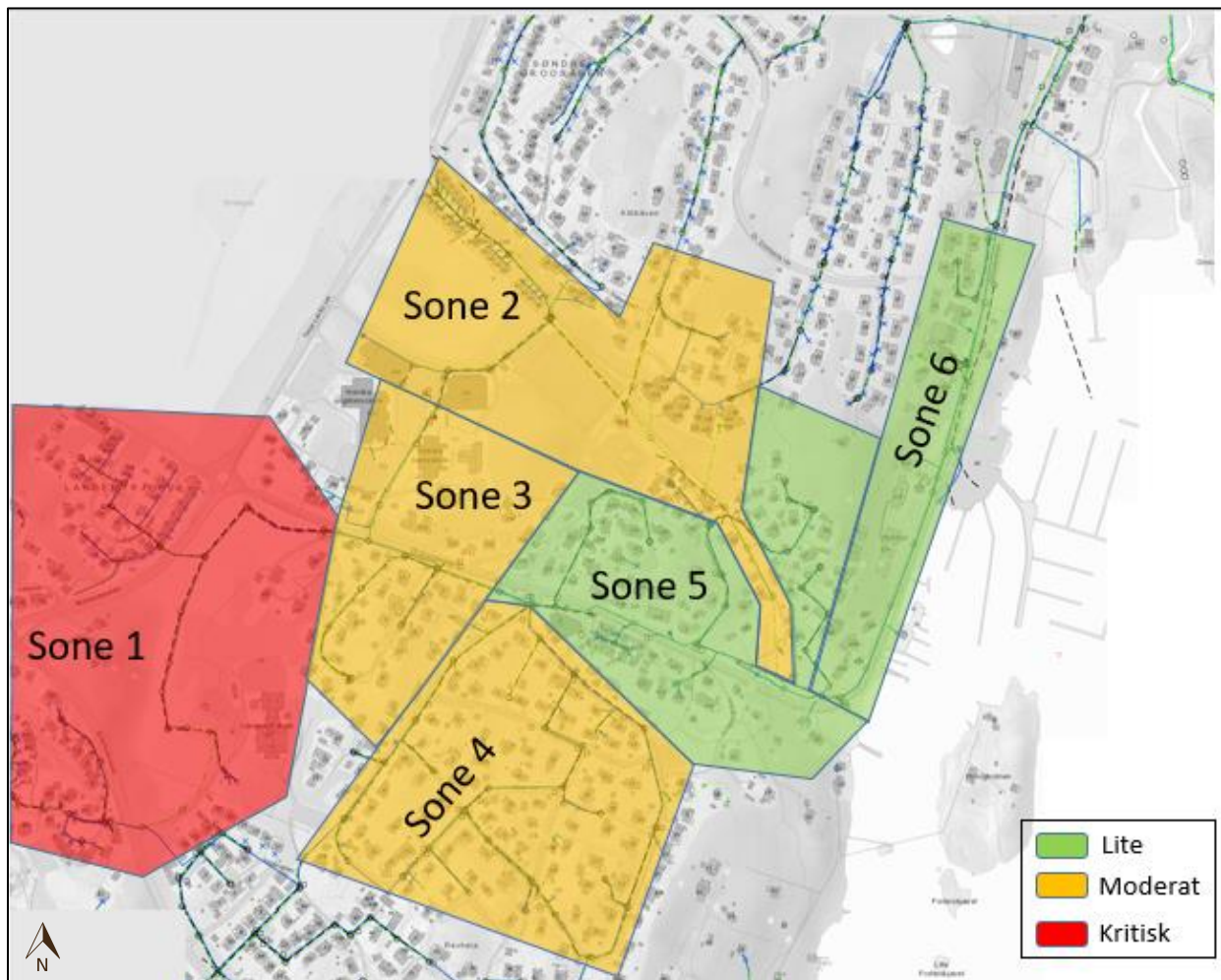


Figur 8. 1: Innlekking av konstant innlekket fremmedvann

8.1.2 Grafisk fremstilling av nedbørsbetiget innlekking

I utgangspunktet skal vannføringen i rørene være minimal om nettene, ettersom Holvika er primært et boligområde. Den grafiske fremstillingen i figur 8.2 er en vurdering basert på manuelle vannmengdemålinger og visuelle observasjoner.

Detaljert vurdering av sonene er beskrevet i kapitlene 8.1.3 – 8.1.8.



Figur 8. 2: Tilstand på innlekking av nedbørsbetiget fremmedvann

8.1.3 Sone 1

Konstant innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *kritisk* mengde konstant innlekking, på grunnlag av:

- Høy beregnet konstant innlekking i forhold til lengde på ledningsstrekket, 20 764 m³/år (*tabell 7.11*)
- 66 % andel konstant innlekking (*tabell 7.14*)
- Høyest kostnad tilknyttet rensing og pumping, 147 591 kr/år (*tabell 7.15*)

Nedbørsbetinget innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *kritisk* nedbørsbetinget innlekking, på grunnlag av:

- Moderat-høy andel beregnet nedbørsbetinget innlekking, 1245 m³/år (*tabell 7.12*)
- Gjennomsnittlig lavere fosforkonsentrasjon ved nedbør (*figur 7.13*)
- Høyest kostnad tilknyttet rensing og pumping, 7,19 kr/mm nedbør (*tabell 7.16*)

Vurdering

Som nevnt tidligere i delkapittel 5.1.2 består grunnen i sone 1 av torv og myr. Det gjør at store deler av ledningsnettets blir særlig utsatt for konstant innlekking. Basert på resultatene fra fremmedvannberegninger har gruppen kommet frem til at i Holvika er det i denne sonen fremmedvannmengden er størst.

Kamerainspeksjon av avløpsnettets i området har vist at årsaken til den store fremmedvannmengden er stort sett utette rørskjøter. Ugunstig grunnforhold i sone 1 er også årsaken til setninger på rør og kummer. Rørinspeksjon med kamera har påvist utette overganger mellom rør og rørskjøter. Det er også en mulighet for feilkoblinger fra nærliggende boligfelt, ettersom den direkte innlekkingen er 1012 l/mm i nedbør.

Målingene viser at det er lite forskjell i temperatur mellom vannmengden i tørrvær og nedbør. Det tyder på at konstant innlekking av fremmedvann har den høyeste innlekkingsandelen i området. Likevel tyder noen parametere på at det er nedbørsbetinget fremmedvann i avløpssystemet. Verdien på Tot-P og ledningsevnen for sone 1 synker ved nedbør i forhold til tørrvær. I tillegg har verdien på turbiditet økt ved nedbør, dette kan skyldes at leire og slam lekker inn i avløpsnettets ved nedbør og gir høyere verdi på turbiditet.

Alderen på ledningsnettets i sone 1 er stort sett fra 80-tallet. Det har derfor hatt mye tid til å bevege seg på grunn av setninger i området, som igjen har ført til utette rørskjøter. Vannstanden forblir høy, og dette fører til konsekvenser som sedimentering og avleiringer. Dette bekrefter mistanken innledningsvis, med tanke på alderen på avløpsnettets i denne sonen som en årsak for innlekking av fremmedvann.

Denne sonen har en fremmedvannsandel totalt på 70 % (*tabell 7.14*), og beregning gjennom fortynningsmetoden gir en fremmedvannandel på 46% (*tabell 7.20*). Basert på disse resultatene, forholdene diskutert over, og alder på ledningsnettets er konklusjonen at det lekker inn store mengder fremmedvann i sone 1.

8.1.4 Sone 2

Konstant innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *moderat* konstant innlekking, på grunnlag av:

- Moderat til lav beregnet konstant innlekking i forhold til lengde på strekket, 5 564 m³/år (*tabell 7.11*)
- 29 % andel konstant innlekking (*tabell 7.14*) [beregning av fremmedvann basert på teoretisk]
- Moderat kostnad tilknyttet rensing og pumping, 39 549 kr/år (*tabell 7.15*)

Nedbørsbetinget innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *moderat* nedbørsbetinget innlekking, på grunnlag av:

- Høy andel beregnet nedbørsbetinget innlekking, 1 095 m³/år (*tabell 7.12*)
- Høy kostnad tilknyttet rensing og pumping, 6,31 kr/mm (*tabell 7.16*)
- Lavere turbiditetsverdier i nedbør enn i tørrvær (*figur 7.16*)

Vurdering

På grunnlag av grunnforholdsanalysen vurderes det at ledningsnettet i sone 2 delvis ligger i et område med ugunstige grunnforhold. I likhet med sone 1 er det mye myr og torv i området, og dette er normalt en kilde til konstant innlekking.

Rørinspeksjon med kamera i området har påvist flere kritiske feil. Utette skjøter, sprekker på røret og blant annet en innhugget og dårlig tilkobling fører til en stor andel konstant innlekking. Det er observert vann som konstant lekker inn fra den dårlige tilkoblingen, samt gjennom sprekken. Den høye grunnvannstanden i myra rundt bidrar til en økt hydraulisk belastning på rørene. Også leire, grus og annet utenfra bidrar til slitasje.

Temperaturen på avløpsvannet i denne sonen ligger mellom 7-8 grader i både tørrvær og nedbør. Det er altså ingen indikasjon på særlig nedbørsavhengig direkte innlekking, men det peker derimot ytterligere mot en konstant innlekking. Også fosforkonsentrasjonen holder seg stabil rundt 4,3-4,8 gjennomsnittlig under begge værforhold.

Ettersom ledningsnettet er fra 70-tallet, eksisterer det aldersmessige problemer. Deler av ledningsnettet kan trenge en rehabilitering på grunnlag av de kritiske utette skjøtene og sprekken som er funnet med kamerainspeksjon. I tillegg har inspeksjonen påvist deformasjoner på 5-15% av rørdiameteren, som bidrar til å redusere tverrsnittet på ledningen. Dette kan føre til sprekker i røret i fremtiden.

Denne sonen har en fremmedvannsandel totalt på 35 % (*tabell 7.14*) basert på fremmedvannberegning ved vannmengdemålinger. Beregning gjennom fortynningsmetoden gir derimot en fremmedvannandel på 65 % (*tabell 7.20*). Det vil derfor logisk å vurdere at fremmedvannmengden ligger mellom disse to resultatene, og er dermed en markant bidragsyter av fremmedvann.

8.1.5 Sone 3

Konstant innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *moderat* konstant innlekking, på grunnlag av:

- Høy innlekking i forhold til lengde på ledningstrekk, 4 801 m³/år (*tabell 7.13*)
- Lav til moderat konstant innlekket fremmedvannandel, 26 % (*tabell 7.14*)
- Moderate kostnad tilknyttet rensing og pumping, 41 872 kr/år (*tabell 7.18*)

Nedbørsbetinget innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *moderat* nedbørsbetinget innlekking, på grunnlag av:

- Høy innlekking i forhold til lengde på ledningsstrekk, 1 090 m³/år (*tabell 7.13*)
- Høy beregnet innlekking per mm nedbør, 886 l/mm (*tabell 7.12*)
- Alle kjemiske parametere har lavere verdi i regnværsperioder enn i tørrvær (*kapittel 7.6*)
- Høy beregnet kostnad per mm nedbør, 6,30 kr (*tabell 7.16*)
- Visuelle observasjoner i kum viser at målingene er påvirket av tilrenning fra sone 1

Vurdering

Beregninger viser at sone 3 har en årlig tilrenning på 1090 m³ fremmedvann på grunn av nedbørsbetinget innlekking og 4801 m³/år på grunn konstant innlekking. Det tyder på at området er utsatt for stor mengde fremmedvann, spesielt med tanke på at sonen er den sonen med kortest ledningsnett.

Ledningsnettet i denne sonen er stort sett fra 2000-2009, med unntak av et kort strekk ved Holvika skole der rørene ikke er sanert siden 1978. Grunnforholdene i sone 3 er uproblematiske, og det skal dermed ikke være spesielle forutsetninger for konstant innlekking.

Gruppen har under målerundene observert at all tilrenning fra sone 1 kommer til samme kum, og dermed påvirker vannstanden i innløpene for sone 3. Derfor vil verdiene fra sone 3 være sterkt påvirket til å bli høyere enn de faktisk er.

Sonen skal etter tallene i resultater bli vurdert som kritisk, men på bakgrunn av måleusikkerheten tilknyttet de visuelle observasjonene vurderes sonen som moderat. Gruppen anbefaler kommunen å utføre røyktesting på dette området, og finne eventuelle feilkoblinger.

Totalt har sone 3 en beregnet fremmedvannandel på 32 % (*tabell 7.14*). Med bakgrunn i at tilrenning fra sone 1 havner i samme målekum som for sone 3, må dette vurderes som usannsynlig. Vi anbefaler derfor røyktesting da det er større sannsynlighet for feilkoblinger enn skadde rør, ettersom ledningsnettet er fra 2000-tallet.

8.1.6 Sone 4

Konstant innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *kritisk* mengde konstant innlekking, på grunnlag av:

- Høy beregnet fremmedvannmengde, 10 323 m³/år (*tabell 7.11*)
- 40 % andel konstant innlekking (*tabell 7.14*)
- Høy kostnad tilknyttet rensing og pumping, 73 376 kr/år (*tabell 7.15*)
- Høyest gjennomsnittlig temperatur av alle sonene i tørrvær (*figur 7.14*)

Nedbørsbetinget innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *moderat* nedbørsbetinget innlekking, på grunnlag av:

- Moderat-høy andel beregnet fremmedvannmengde, 529 m³/år (*tabell 7.12*)
- Gjennomsnittlig lavere fosforkonsentrasjon ved nedbør (*figur 7.13*)
- Moderat kostnad tilknyttet rensing og pumping, 3,06 kr/mm nedbør (*tabell 7.16*)
- Varierende sammenheng mellom kjemiske parametere (*kapittel 7.6*)

Vurdering

Selv om avløpssystemet i sone 4 er relativt nytt, finnes det likevel store mengder fremmedvann inn på systemet. Beregninger viser at fremmedvann er et stort problem i denne sonen. Resultatene basert på beregningen av fremmedvannmengden viser at området er utsatt for 529 m³/år direkte nedbørsbetinget og 10 323 m³/år konstant innlekking. Røyktesting av et av ledningsstrekke i området har vist at feilkobling er en årsakene til nedbørsbetinget innlekking.

Observasjoner under feltarbeid og resultatene fra vannhøydemålinger i sone 4 viser at vannmengden stiger med nedbør. Dette kan tyde på at område bidrar med mye nedbørsbetinget innlekking. Vannmengden ved tørrværsavrenning om nettene skal i utgangspunktet være tilnærmet null, ettersom den gjennomsnittlige vannhøyden i tørrvær er på 0,6 cm vil det bety at konstant innlekking forekommer i området.

Resultatene fra kjemiske vannanalyse i sone 4 har gitt oss gode korrelasjoner mellom parametere som kan indikere på fremmedvann i området. Tot-p verdi går ned når vannhøyden stiger. I likhet med sammenhengen mellom vannhøyde og Tot-P, endrer turbiditeten seg negativt i takt med at vannhøyden øker, noe som kan tyde på at nedbørsbetinget fremmedvann forekommer i sonen.

Denne sonen har en beregnet fremmedvannandel på 42 % (*tabell 7.14*), og 55 % fremmedvannandel basert på fortynningsmetoden (*tabell 7.20*). Det kan dermed antas at den reelle fremmedandelen ligger mellom disse to verdiene.

8.1.7 Sone 5

Konstant innlekking

Denne sonen vurderes til å ha *liten* mengde konstant innlekking, på grunnlag av:

- Lav beregnet innlekking, 161 m³/år (*tabell 7.11*)
- Ubetydelige beregnede kostnader knyttet til pumping og rensing, 1 144 kr/år (*tabell 7.15*)
- Høy Tot-P-konsentrasjon og ledningsevne tyder på lite innlekking (*kapittel 7.6*)
- Beregnet fremmedvannandel pga. konstant innlekking er kun 2 % (*tabell 7.14*)

Nedbørsbetinget innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *liten* nedbørsbetinget innlekking, på grunnlag av:

- Lav beregnet innlekking, 295 m³/år (*tabell 7.12*)
- Små beregnede kostnader knyttet til pumping og rensing, 2 098 kr/år (*tabell 7.17*)
- Tot-P, ledningsevne og turbiditet verifiserer den lave innlekkingen (*kapittel 7.6*)
- Beregnet fremmedvannandel pga. direkte nedbørsbetinget innlekking er kun 3 % (*tabell 7.14*)

Vurdering

Gunstige grunnforhold og relativt nytt avløpsnett fra 1990-1999 gir gode forutsetninger for lite fremmedvann i sone 5. Vannhøydemålinger, Tot-P, ledningsevne og andre kjemiske og fysiske parametere tyder likevel på en liten nedbørsbetinget innlekking. Det er totalt lite fremmedvann i sonen.

Gruppen har kommet frem til at sone 5 koster 1871 kr i året som følge av konstant innlekking. Disse kostnadene kommer av pumping og rensing av fremmedvann. Det er ikke funnet noen årsak til den direkte innlekkingen.

På en annen side var denne sonen krevende å måle, med mange forskjellige stikkledninger som gikk ut i hovedledningen. Noen av kummene der stikkledninger kobles til hovedledningen var i tillegg ikke i vater, slik at strømmen fra hovedledningen påvirket innløpet. Noen kummer manglet også høydedata og ikke mulig å måle. Derfor vil det i denne sonen kun være data fra utvalgte stikkledninger, og resten har derfor ukjent tilstand. Disse bør undersøkes videre av kommunen.

Målte ledningsstrek har god tilstand. Men på bakgrunn av lave verdier fra nedbørsmålinger i kjemisk vannanalyse, anbefaler vi kommunen å gjennomføre røyktesting av ledningsstrek med avvikende verdier i Holvikasvingen.

Totalt har sone 5 en svært lav beregnet fremmedvannmengde. Denne ligger på 5 % (*tabell 7.14*), og beregning ved fortynningsmetoden gir en fremmedvannmengde på 13 % (*tabell 7.20*). Det kan derfor tenkes at den totale fremmedvannmengde ligger mellom 5-13 %, og dermed kan denne sonen vurderes som frisk.

8.1.8 Sone 6

Konstant innlekking

Denne sonen vurderes til å ha *liten* mengde konstant innlekking, på grunnlag av:

- Lav beregnet innlekking, 763 m³/år (*tabell 7.11*)
- Små beregnede kostnader knyttet til pumping og rensing, 5 423 kr/år (*tabell 7.15*)
- Høye fosforverdier tyder på liten innlekking (*figur 7.13*)
- Beregnet fremmedvannandel pga. konstant innlekking er bare 9 % (*tabell 7.14*)

Nedbørsbetiget innlekking

Denne sonen vurderes til å ha en *liten* nedbørsbetiget innlekking, på grunnlag av:

- Ingen direkte nedbøravhengig innlekking (*tabell 7.12*)
- Ingen beregnede kostnader knyttet til pumping og rensing (*tabell 7.16*)
- Kjemiske parametere gir indikasjon på ingen innlekking (*kapittel 7.6*)
- Beregnet prosentandel nedbørsbetiget innlekking er 0 % (*tabell 7.14*)

Vurdering

Sone 6 har generelt en veldig god tilstand og det er lite fremmedvann i avløpsnett. Avløpsnett er bygget i 1990-1999, og har gunstige grunnforhold. Verken verdier fra kjemisk vannanalyse, vannhøydemålinger eller tilstandsanalyse tilsier at det lekker inn nedbørsbetiget fremmedvann på avløpsnett.

Den minimale konstante innlekkingen kan komme av sprekker i rørene eller skjøter som er utette. Ettersom ledningsstrekket ligger langs sjøen, kan det tenkes at høy grunnvannstand kan lekke inn konstant.

Denne sonen har dermed svært lave kostander tilknyttet pumping og rensing av fremmedvann, og det er derfor ikke nødvendig med videre undersøkelser eller å utføre tiltak her. Denne sonen kan også friskmeldes.

8.1.9 Oppsamlede utløpskum for hele området

Konstant innlekking

Hele området vurderes til å ha en *moderat* konstant innlekking, på grunnlag av:

- Omtrent 5 l/s konstant innlekking basert på elektroniske vannmengdemålinger (*figur 7.1*)
- 1,34 l/s konstant innlekking basert på manuelle vannmengdemålinger (*tabell 7.11*)
- Beregnede kostnader knyttet til pumping og rensing, 301 209 kr/år (*tabell 7.15*)
- Beregnet fremmedvannandel pga. konstant innlekking er 38 % (*tabell 7.14*)

Nedbørsbetiget innlekking

Hele området vurderes til å ha en *moderat* nedbørsbetiget innlekking, på grunnlag av:

- Dobbel så høy vannføring ved nedbør basert elektronisk vannmengdemålinger (*figur 7.1*)
- 3455 l/mm nedbør basert på manuelle vannmengdemålinger (*tabell 7.12*)
- Beregnede kostnader knyttet til pumping og rensing, 30 215 kr/år (*tabell 7.17*)
- Beregnet prosentandel nedbørsbetiget innlekking er 4 % (*tabell 7.14*)

I Holvika-området lekker det inn fremmedvann. Påstanden kan forsvares med beregninger basert på vannmengdemålinger, konsentrasjonsberegninger og data fra elektronisk vannmengdemåling. Gruppen antar at faktisk innlekking er noe høyere enn manuelt målte vannmengder, og dermed vil også kostnadene i realiteten være noe høyere enn tidligere beregnet. Basert på grafene presentert i kapittel 7.1 er vannføringen i nedbør omtrent dobbel så stor enn vannføring i tørrvær. Dette betyr at det også forekommer store mengder nedbørsbetiget innlekking fra hele området.

Den største delen av fremmedvannet forekommer som følge av konstant innlekking. Ettersom den er tilnærmet konstant hele året, vil det totalt utgjøre store mengder fremmedvann i systemet og kostnadene vil øke i takt. Det forekommer også en moderat innlekking av nedbørsbetiget fremmedvann. Årlig nedbørsbetiget mengde er vesentlig mindre enn konstant innlekking, men det er likevel stor mulighet til å redusere denne mengden i dette området.

Fremmedvannandelsberegning basert på fortynningsmetoden gir 40 % (*tabell 7.20*) for hele det avgrensede området. Dette bygger opp under prosentandelen vi har beregnet ved bruk av manuelle vannmengdemålinger, som gir en fremmedvannandel på 42 % (*tabell 7.14*). Dermed kan vi si at hele området totalt har en fremmedvannandel på rundt 40%. Ut fra et ønske om så liten innlekking som mulig er dette et høyt tall, men likevel er det bedre enn landsgjennomsnittet [38]. Derfor vurderes området totalt sett til å ha en moderat mengde innlekking av fremmedvann. Store deler av denne innlekkingen kommer fra sone 1 som tidligere er diskutert i kapittel 8.1.3.

8.2 Miljøutfordringer

På tross av moderate mengder både konstant og nedbørsavhengig innlekking til Holvika pumpestasjon, har det vist seg at utslipp av urensset avløp er et minimalt problem i dette området. Siste registrerte overløp ved Holvika pumpestasjon stammer fra 2013 [39].

Tilførselen av fremmedvann til rensesanlegget på Groos vil derimot bidra til økt belastning på et allerede overbelastet rensesanlegg for hele Grimstad. Dette fører til vesentlig dårligere effekt på rensingen, og større utslipp av uønskede stoffer fra rensesanleggets utløp. Ved intense nedbørsmengder går det i overløp ved rensesanlegget. Fremmedvannet fra Holvika er antagelig ikke hovedgrunnen til denne overbelastningen, men bidrar en del.

Rensing av fremmedvann fra Holvika-området vil som tidligere nevnt i oppgaven medføre store utgifter til energi for rensing. Hvis det benyttes energi fra ikke-fornybare kilder vil det kunne medføre store utslipp av CO₂ og miljøgifter.

8.3 Kost-nytte analyse for aktuelle tiltak

8.3.1 Vurdering etter sonespesifikke forhold

Sone 1

Senke grunnvannsnivå

Et mulig tiltak for å redusere den konstante innlekkingen i sone 1 kan være å drenere grunnvannet på jordet. Det kan i dette tilfellet gjøres ved å legge drensledning ved siden av avløpsledningen [40]. Da er det viktig med tette avløpsledninger for å hindre å få avløpstap til drensledningen.

Området i sone 1 holder store grunnvannsmengder, og i nærliggende område har det tidligere blitt utført grunnvannssenking. Dette medførte konsekvenser som store setninger rundt nærliggende bebyggelse og infrastruktur.

Rehabilitering/fornyelse av avløpsrør

Avløpsledninger i denne sonen er blant de få ledninger i området som er lagt mellom 1980-1989. Fornyelse av avløpsledninger er en av de dyreste tiltakene man kan iverksette. Avløpsnettet i sone 1 er stort sett fra 80-tallet, og ved rørinspeksjon ble det observert varierende tilstand på ledningen. Det er funnet feil som utette skjøter og meget ugunstig fall. Mange faktorer tilsier at det er hensiktsmessig å fornye ledningene for å redusere andel fremmedvann.

Tabell 8. 1: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 1

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Grunnvann lekker inn konstant	Ledningsnettet går gjennom et område med våte grunnforhold (myr og torv). Store mengder vann omringer rørene.	Senke grunnvannsnivå	Drensledning vil føre til lite vann på jordbruket, og risiko for skader på infrastruktur. Grunnvannsnivå vil stige når drensledning mister effekt med tiden.	Kan bli dyrt pga. stort areal. Krever graving	Lite hensiktsmessig mtp. jordbruk og nærliggende infrastruktur. Det egentlige problemet fikses ikke. Det vil fortsatt være grunnvann i området.
Utette skjøter og sprekker, vann og leire o.l trenger inn konstant	Eldre avløpsrør fra 1980-1989 som ligger i område med periodiske setningssvingninger.	Rehabilitering/fornyelse av avløpsrør. Legge ny trasé (se figur 8.1)	Lav risiko, men grunnforhold bør studeres nærmere i forkant.	Store kostnader med graving, planlegging og legging av ny trasé	God nytte, ettersom ledningen er lekker. Ny trasé vil unngå jordet med høy grunnvannstand.

Stor tilrenning i nedbør	Mulige feilkoblinger av taknedløp, sluk og drensledninger.	Utføre røyktesting og identifisere feilkoblinger. Evt. pålegge bygnings-eiere å separere	Lav risiko. Utsendte pålegg bør følges opp.	Lave kostnader tilknyttet røyktesting. Separering av stikkledninger er kostnadsfritt for kommunen.	God nytteverdi, vil redusere nedbørs-betinget innlekking.
--------------------------	------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Sone 2

Senke grunnvannsnivå i myr

Ved å senke grunnvannsnivået i myra ledningsnettets går gjennom, kan en andel av den konstante innlekkingen unngås. I dette tilfellet kan det gjøres ved å senke uttaket til bekken i området. Dette tiltaket bør ikke gjøres alene, ettersom avløpsledningen ikke er tett. Ved å utføre tiltaket uten å tette igjen sprekker o.l. på avløpsledningen er det risiko for utlekket avløpsvann inn i drensledningen, og det egentlige problemet er ikke løst.

Ved å senke grunnvannsnivået i myra er det også stor risiko for skade på annen nærliggende infrastruktur som G/S-vei, og bebyggelse i området.

Utbedring av innhugget stikkledning

Det renner konstant inn vann utenfra, samt at løsmasser som leire og grus trenger inn rundt den dårlige tilkoblingen. Denne stikkledningen kommer fra et nærliggende rekkehus med mange boenheter. Disse boenhetene bør bli pålagt å utbedre tilkoblingen til et prefabrikkert grenrør.

Rehabilitering/fornyelse av avløpsledningen

En langsiktig investering for å minke andelen fremmedvann i denne sonen er å rehabilitere og fornye avløpsledningen. Skadene er mange og kritiske, og dette er en konsekvens av følgeskader som sprekker, utette skjøter og dårlige tilkoblinger som fører til konstant innlekking av vann, leire, grus o.l. En fornyelse av avløpsledningen vil være nyttig i dette området.

Tabell 8. 2: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 2

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Sprekker og utette skjøter på rørledningene Feilene kan føre til følgeskader	Eldre avløpsrør fra 1970-1979 med nedsatt tilstand	Rehabilitering/ fornyelse av avløpsrør ved både tradisjonell graving og NoDig-metoden strømpeføring	Uforutsette faktorer kan føre til forsinkelser og økte kostnader G/S-vei må stenges og det er risiko for naboklager	Strømpeføring sparer graving på aktuelt strekk og er dermed et økonomisk alternativ her Tradisjonell graving er generelt dyrere, og G/S-vei må opparbeides på nytt	Skadene utbedres og konstant innlekking reduseres betraktelig God nytteverdi
Grunnvann lekker inn	Ugunstig grunnforhold, rørene ligger rundt og i myr	Senke grunnvannsnivå i myr ved å senke bekkevannsuttak	Kan føre til skade på nærliggende boligområde og G/S-vei	Økonomisk alternativ pga. lite område	Moderat nytte. Myren vil dreneres og konstant innlekking reduseres, men det egentlige problemet fjernes ikke
Vann og leire lekker inn rundt tilkobling	Ufagmessig innhugget privat tilkobling	Pålegge bygningseier å utbedre påkobling	Lav risiko, men kommunen bør oppfølge arbeidet	Kostnadsfritt for kommunen	God nytte, det som lekker inn rundt tilkoblingen fjernes
Stor tilrenning i nedbør	Mulige feilkoblinger	Røyktesting for å identifisere feilkoblinger Pålegge bygningseiere å separere eventuelle feilkoblede stikkledninger	Lav risiko, men kommunen bør følge opp og kontrollere arbeid	Ingen kostnader for kommunen, med unntak av røyktesting	Effektivt tiltak, da kilder for nedbørsbettinget innlekking fjernes

Sone 3

Utskifting av kum

I følge kommunens utemannskap har en kum i denne sonen tidligere blitt observert som en kilde til innlekking. Kummen er fra 70-tallet og har store åpne spetthull samt en utett skjøt i kumvegg. Utbedring av denne vil derfor redusere både konstant og nedbørsbetiget innlekking.

Tabell 8. 3: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 3

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Innlekking i kum og gjennom kumlukk	Sprekk i kumvegg og store åpne spetthull i lodd	Utskifting av kum	Risiko tilknyttet arbeid ved barneskole. Arbeid bør derfor gjøres i en skoleferie	Lave kostnader om kommunen gjør arbeidet selv	Moderat nytte, mengden innlekket fremmedvann vil reduseres

Sone 4

Fjerne feilkoblinger

Feilkoblinger mellom overvann og avløpsledninger fører til direkte nedbørsbetiget innlekking og kan medføre store mengder fremmedvann i perioder med nedbør. Fjerning av feilkoblinger er et effektivt og billig tiltak for reduisering av fremmedvann i avløpssystemet. Feilkoblinger kan oppdages ved kamera-inspeksjon, ved tilsetning av sporstoff eller ved bruk av røyktester.

Undersøke drikkevannslekkasjer

Ettersom området bidrar med store mengder fremmedvann som følge av konstant innlekking, vil det være hensiktsmessig å undersøke om det er drikkevannslekkasjer som er medvirkende årsak. Hvis det er tilfelle så er det lønnsomt med å tette lekkasjer for å både redusere tap av drikkevann og innlekket fremmedvann.

Tabell 8. 4: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 4

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Økte vannføring ved nedbør	Identifisert feilkobling av taknedløp	Pålegge identifisert boligeier å separere egne stikkledninger	Lav risiko, men arbeid bør følges opp og kontrolleres av kommunen	Kostnadsfritt for kommunen	God nytte Tilrenning i nedbør vil reduseres betydelig
Identifisert feilkobling, drenering fra bolig	Lite faglig kontroll	Pålegge huseier å separere egne stikkledninger	Lav risiko, arbeid bør følges opp og kontrolleres av kommunen	Kostnadsfritt for kommunen	God nytte da innlekking vil reduseres

Sone 5

Røyktesting

Ettersom det er nedbørsbettinget innlekking som er problemet, bør det gjennomføres en røyktesting. Testen vil påvise feilkoblinger fra hus, og huseiere bør bli pålagt å separere sine stikkledninger snarest.

Tabell 8. 5: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 5

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Noe økt vannføring i nedbør	Ukjent årsak. Problemet må identifiseres	Røyktesting Eventuelt pålegge huseiere å separere stikkledninger	Lav risiko ved røyktesting	Små kostnader knyttet til røyktesting Separering er kostnadsfritt for kommunen	Effektiv metode for lokalisering av feilkoblinger Nedbørsbettinget innlekking fjernes

Sone 6

Etter gruppens observasjoner har ikke sone 6 vist seg å ha problemer med fremmedvann. Det er derfor ikke nyttig å utføre tiltak i dette området.

Tabell 8. 6: Kost-nytte for aktuelle tiltak i sone 6

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Ingen mistenkte feil	-	-	-	-	-

Utløpskum for hele området

Utskifting av kum

Utløpskum for området (nr. 15886) ligger like ved Holvika pumpestasjon, og på tross at den er bygget på 90-tallet er tilstanden dårlig. lekkasje midt på kumhals i nærheten av drikkevannsledning tyder på drikkevannlekkasje like ved, og denne bør også undersøkes i forbindelse med utføring av dette tiltaket.

Tabell 8. 7: Kost-nytte for aktuelle tiltak i utløpskummen

Skade/feil	Årsak	Tiltak	Risiko	Kost	Nytte
Stor innlekking fra flere steder	Utett skjøt i kumvegg	Utskifting av kum	Risiko for trafikk-sikkerhet tilknyttet arbeid i fylkesvei	Moderate kostnader ved utskifting av dyp kum med mange tilkoblinger i trafikkert vei	Dette tiltaket vil betydelig redusere innlekkingen fra denne kummen, og har derfor en meget god nytte
	Åpne spetthull	Søke etter mistenkt drikkevann-lekkasje på forhånd. Eventuelt tette denne samtidig		Ekstra kostnader i forbindelse med overpumping og trafikk-dirigering	
	Grunnvann lekker inn fra plombert innløp				

I tabellen har samtlige aktuelle tiltak blitt generelt vurdert i lys av de gitte faktorene. Tallfesting av kost/nytte er gjort senere i kapittel 8.3.3.

8.3.2 Multikriterieanalyse

For å kunne prioritere tiltak for reduksjon av fremmedvann, er det viktig å foreta en multikriterieanalyse. I denne analysen vektet *risikovurderinger* mot *kost-nytteanalyser* for foreslåtte tiltak. [41] Denne analysen er hentet fra Digital VA-forvaltning (DiVA), et samarbeid- og forskningsprosjekt med konsulentvirksomheter som Asplan Viak AS, Norconsult AS, tekniske etater i kommuner og forskning- og utdanningsinstitusjoner i Norge. Denne analysen er svært nyttig i infrastrukturell verdiforvaltning.

For å kunne vekte kostnad, risiko og nytte/ytelse mot hverandre er det hensiktsmessig å sette noen indikatorer. Gruppen velger derfor å sette følgende indikatorer: *god*, *middels* og *dårlig*.

Tabell 8. 8: Generell vurdering av risiko, kostnader og nytte av vanlige tiltak

Tiltak	Kostnad	Risiko	Nytte
Senke grunnvannsnivå			
Rehabilitering/fornyelse v/graving			
Rehabilitering/fornyelse (NoDig strømpføring)			
Utskifting av kum			
Separere/utbedre stikkledninger			

- Gjennom multikriterieanalysen **utelukker** gruppen å senke grunnvannsnivå som et aktuelt tiltak for samtlige soner. Risikoen er for høy for dette tiltaket, og kan ikke veie opp mot nytten.

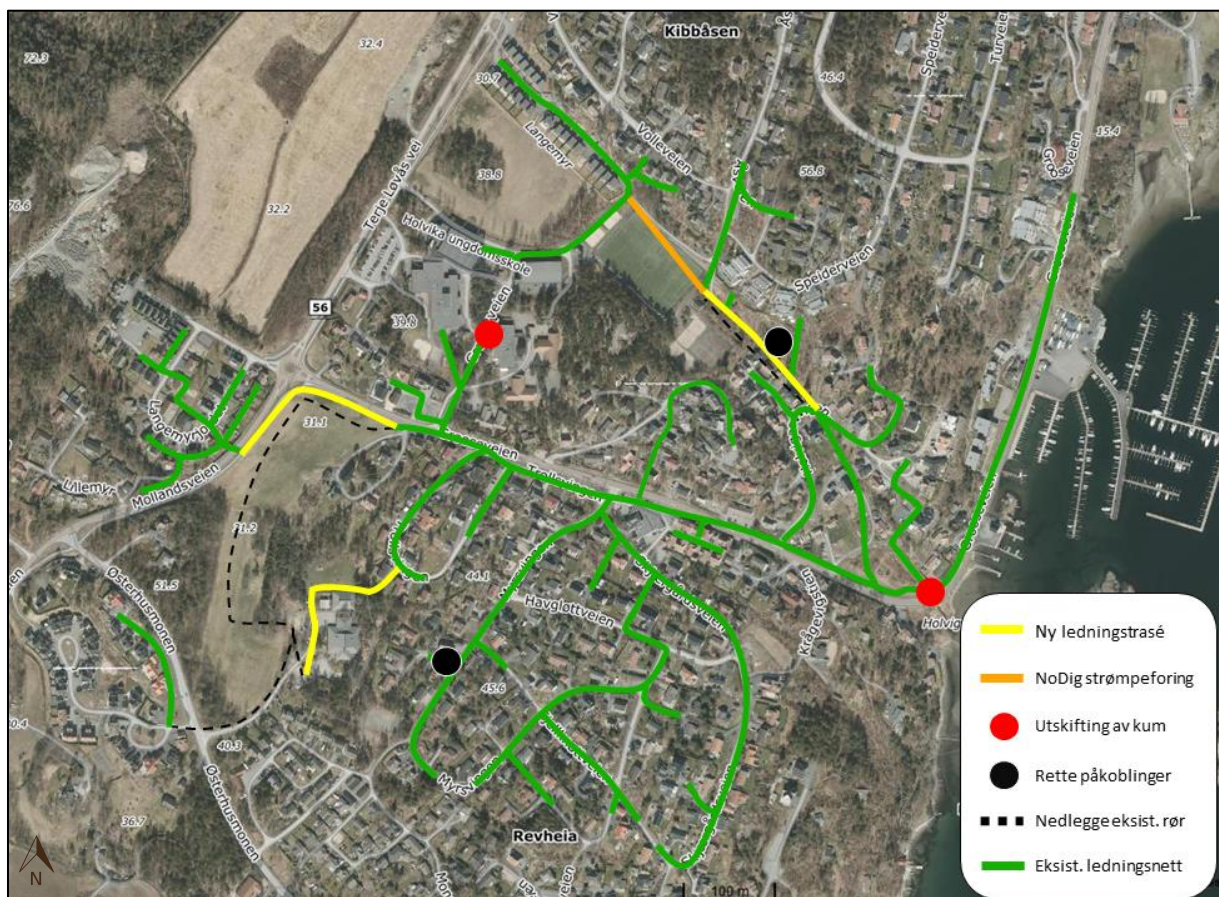
8.3.3 Kostnadsestimat av aktuelle tiltak

I dette kapittelet presenteres kostnader for de resterende tiltakene som regnes som gode i multikriterieanalysen, med innhentet enhetspris og estimerte totale kostnader.

Tabell 8. 9: Kostnadsestimering av aktuelle tiltak

Sone	Aktuelt tiltak	Enhetspris	Estimerte kostnader
1	<p>Nytt ledningsstrek på 420 m.</p> <p>Nye trasèer (se figur 8.1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Langemyrjordet boligfelt til kum 15379. Legges i G/S-vei - Langemyr skole til Trollsvingen 	<p>3 000 kr/m for anlegg utenfor vei (180 m)</p> <p>5 000 kr/m for anlegg i vei (240 m)</p>	<p>kr 1 740 000 for graving og nye rør</p>
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utbedring av identifisert innhugget/dårlig tilkobling 2. Rehabilitering av ledningsstrek under kunstgressbane v/NoDig-metoden. 136 m rør under kunstgressbanen fornyes. Hensiktsmessig å bruke NoDig-metoden strømpføring pga. ingen grenrør under banen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kostnadsfritt for kommunen 2. NoDig-strømpføring: <ul style="list-style-type: none"> - Rigg/drift: 18500 kr - Spyling: 80kr/m - Strømpføring: 910 kr/m - Rørinspeksjon: 30 kr/m - Overpumping: 7000 kr 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kostnadsfritt, dette pålegges bygningseier. 2. kr 165 000 totalt for rehabilitering ved bruk av strømpføring

	3. Rehabilitering/fornyelse av ledningsstrek mellom fra kum 10395 til 15882 v/graving: 137 m . Legge ny trasé i G/S-vei.	3. 5 000 kr/m i boliggate	3. kr 685 000 for graving og legging av ny trasé
3	Utsifting av kum 10365 v/Holvika skole	40 000 kr/kum i vei	kr. 40 000 kr for utsifting av kummen
4	Separering av <i>identifisert</i> privat taknedløp og drensledning	Kostnadsfritt for kommunen	Kostnadsfritt, dette pålegges bygningseier.
5	<i>Ingen tiltak</i>	-	-
6	<i>Ingen tiltak</i>	-	-
Utløps-kum	Utsifting av utløpskum i veikant	40 000 kr/kum i vei	kr. 40 000 for utsifting av kummen



Figur 8. 1: Kart over foreslåtte tiltak

8.3.4 Estimat av innsparing ved gjennomførelse av spesifiserte tiltak

For å få et godt beslutningsgrunnlag og vise at prioriterte tiltak fører til lønnsomhet, har det blitt beregnet nåverdier og årskostnader basert på NS 3454 «Livsykluskostnader for byggverk, prinsipper og struktur» [28]. Nåverdien tar hensyn til økning av kostnadene på grunn av realrente og forteller hvor mye kostnadene kommer til å bli gjennom avløpsnettets levetid med dagens valuta.

Årskostnader er den fremtidige kostnaden til aktuelle tiltak fordelt med like stort beløp for hvert år gjennom avløpsnettets levetid. Ved å ta utgangspunkt i årskostnader knyttet til et tiltak og årlige kostnader knyttet til pumping og rensing av fremmedvann (*tabell 7.18*) i området tiltaket iverksettes, kan vi beregne hvor mye Grimstad kommunen vil spare ved disse tiltakene.

Beregninger for å finne nåverdier og årskostnader er vist i vedlegg 8. Ved forutsetningene gitt nedenfor, har vi fått de resultater presentert i tabell 8.11 videre. Disse tallene gjør det mulig å prioritere hvilke tiltak som er mest hensiktsmessige.

Tabell 8. 10: Forutsetninger for å beregne nåverdi og årskostnad

Kalkulasjonsrente	Prosjekterende levetid
4%	100 år

Tabell 8. 11: Estimat av innsparing ved gjennomførelse av tiltak ved investering

Sone	Tiltak	Investeringskostnader	Nåverdi	Årskostnad	Innsparing kr per år
1	Nytt ledningsnett (tradisjonell graving) Omlegging av trasé	1 740 000	2 121 000	86 537	69 901
2	Fornyelse av ledningsstrek (NoDig: strømpeforing)	164 220	164 220	6 700	16 869
	Fornyelse av ledningsstrek (tradisjonell graving) Omlegging av trasé	685 000	685 000	27 948	19 365
3	Utskifting av utett kum	40 000	40 000	1 632	6 114
Utløps-kum	Utskifting av utett utløpskum	40 000	40 000	1 632	8 368

8.3.5 Prioritering av tiltak for reduksjon av fremmedvann

Listen med prioriterte tiltak er basert på vurderingene tidligere i dette kapittelet. Disse tiltakene vil redusere innlekkingen, og dermed kostnader og miljømessige problemer knyttet til fremmedvann.

Dette er gruppens endelige anbefalinger til Grimstad kommune for gjennomføring av tiltak i Holvika-området for den største nytte i forhold til kostnad.

1. Separering av feilkoblet taknedløp og drensledning i sone 4
2. Utbedring av ufagmessig tilkobling i sone 2
3. Nytt ledningsstrek og ny trasé i sone 1 v/tradisjonell graving
4. Fornyelse av ledningsstrek med strømpeforing (NoDig) i sone 2
5. Nytt ledningsstrek og ny trasé i sone 2 v/tradisjonell graving
6. Utskifting av utett utløpskum for hele området
7. Utskifting av utett kum i sone 3

8.4 Vurdering av metoder benyttet i oppgaven

8.4.1 Vannhøydemåling

Vannhøydemåling er blitt gjennomført med enkelt utstyr og manuell avlesning, noe som krever stor presisjon ved måling i felt. Det er også usikkerhet knyttet til måling i kummer som ikke står i vater, eller der hvor innløp fra en side av kummen påvirker vannstanden i de andre. Kummer som var dype eller der vannet er stillestående var også krevende å måle siden det var vanskelig å se når nivelleringsstangen traff vannspeilet.

Basert på informasjon fra vannmengdelogger installert ved innløpet til Holvika pumpestasjon, har gruppen valgt å utføre på vannhøydemålinger gjennomført på natt-tid mellom klokken 01.00 og 05.30. I dette tidsrommet var vannføringen konstant lav, og derfor kan forbruk fra både industri og boliger antas til å være null. Det er hensiktsmessig for oppgaven å anvende målinger gjort om natten siden forbruk ikke er mulig å skille ut fra metodene brukt for utregning av innlekking.

Soneinndeling har vist seg å være svært hensiktsmessig for målingene. Basert på vannhøydemålingene ble det dannet grunnlag for områder for røyktesting og rørinspeksjon med kamera.

Gruppen anser denne metoden for å måle vannhøyde med nivelleringsstang som enkel, men god. Den er ikke en metode som vil gi et høyst nøyaktig resultat, men ved måling til rett tidspunkt gir den meget gode indikasjoner og gruppen anser dette som en av de mest nyttige metodene benyttet i denne oppgaven.

8.4.2 Temperaturmåling

Temperatur ble målt om natten sammen med vannhøydemålingene. Det er usikkerhet ved denne type måling siden små vannføringer gjør at vannet hurtig blir påvirket av temperaturen i grunnen rundt røret. I området knyttet til oppgaven var det mange stikkrenner med få boliger tilkoblet, noe som førte til lav vannføring mange steder.

Temperaturmålinger kan i dette tilfellet være en indikasjon på konstant innlekking der vannstanden er høy nok i tørrvær, eller en god indikasjon på nedbørsavhengig innlekking ved stor vannføring i nedbør. I lys av dette vil temperatur i denne oppgavens tilfelle kun være en indikator som derfor må tolkes sammen med vannmengdene.

8.4.3 Elektroniske vannmengdeloggere

Begge måleenhetene utplassert i felt har gitt gode målinger. Loggerne har vært enkle å benytte og gitt nyttige resultater i arbeidet. På grunn av feilbestilling av deler ble ikke ISCO-måleren som måler sone 1 og 3 satt i drift før 03.04.17. Vannloggerne gir både vannføring og temperatur, noe som har vært brukt for både fremstilling av grafer og grunnlag for tidspunkter for manuell vannhøydemåling. Gruppen valgte et måleintervall på 5 minutter for begge loggerne. Det fører til at verdier mellom hvert 5. minutt ikke blir registrert. Dermed kan loggerne miste topper i vannføringen. Fordelen med denne metoden er kontinuerlig logging i alle typer vær, og måling flere steder til samme tid.

Vi anbefaler utstrakt bruk av elektroniske vannmengdeloggere i arbeidet med å lokalisere fremmedvann, ettersom dette er en effektiv metode som krever lite arbeid i forhold til gevinst. Til tross for kostnadene det innebærer å benytte slike loggerne ser gruppen gevinsten med å ha slike data tilgjengelig i arbeidet. Dersom flere målere var tilgjengelig ville vi benyttet elektroniske loggerne i utløpskummene til hver sone.

8.4.4 Kjemisk og fysisk vannanalyse

Det er en viss usikkerhet knyttet til vannanalyse, både i forhold til prøvetaking og selve analysen i laboratoriet [42].

Usikkerhet knyttet til prøvetaking er følgende:

- Øyeblikkvariasjon i avløpsvannets sammensetning (fordeling av partikler form og størrelser)
- Prøvetakingsutstyr og funksjon (partikler med en gitt tetthet, form og størrelse vil bli utelatt fra prøven)
- Forurensning av prøven fra materialet i prøveemballasjen
- Påvirkning av omgivelsesfaktorer (temperatur og lys)

Usikkerhet knyttet til kjemisk analyse ved laboratoriet er følgende:

- For dårlig omrøring/ risting av prøven
- Feil bruk av utstyr
- Usikkerhet knyttet til avlesing av resultat

Kjemisk og fysisk vannanalyse er gjort for parameterne Tot-P, turbiditet og ledningsevne. Til tross for at pH-målinger også har blitt gjennomført, er denne parameteren blitt utelukket ettersom den har vist seg å være lite brukbar til å finne fremmedvann. Grunnet store avvik i målte verdier ser gruppen at kjemisk prøvetaking har mange feilkilder, og flere målinger hadde vært gunstig for å få bedre gjennomsnittsverdier og å kunne luke ut avvikene verdier.

Vannanalysene har i denne oppgaven vært nyttig til å verifisere en sammenheng mellom vannhøydemålinger ved hjelp av korrelasjoner, samt å sammen med temperatur indikere innlekking.

Totalt sett er det ikke en metode som står på egne bein, men vurderes til å være en god metode for å bekrefte andre type målinger.

8.5.5 Beregning av fremmedvann basert på fosforkonsentrasjon

Det er en del feilkilder knyttet til verdiene på Tot-P som er benyttet i oppgaven. I noen tilfeller har det blitt målt høyere Tot-P verdi under nedbør, noe som kan tyde på variert forbruk og ikke innlekking. En annen forklaring kan være at stoff som blir liggende igjen i røret kan bli skylt med en økt vannføring og føre til feilaktige utslag i fosforverdien. Høy fosforkonsentrasjon kan sannsynligvis skyldes inntrenging av leire o.l i sone 1.

Industrielt avløpsvann gir generelt lavere Tot-p verdi, og dette kan gi utslag i resultatene der dette forekommer. I denne oppgavens tilfelle er sone 4 utsatt for innpumping av industrielt avløp, og selv om prøvetakingen ikke er utført mens pumpene går kan det være rester igjen i rørene som kan gi et falskt utslag ved denne metoden.

I denne oppgaven er det stedvis usikkerhet knyttet til beregningen av fremmedvannandel basert på fosforkonsentrasjoner. Det kan forklares med en liten måleserie, og mangel på prøver som kan representere hele døgnet, f.eks. hver time. Dette kommer av at gruppen ikke har hatt tilstrekkelig utstyr og tid til å gjennomføre flere i løpet av prosjektperioden.

Under prøvetakingen i denne oppgaven er målingene derimot stort sett samsvarende, og metoden blir derfor sett på som en god indikasjon og nyttig til å beregne prosenttall for innlekking av fremmedvann.

9. Konklusjon

Til tross for at Grimstad kommune har sanert store deler av Holvika-området senest i 2005, forekommer det fortsatt store mengder fremmedvann i avløpssystemet. Dette vises særlig i gangtider på pumpene som går oftere i og etter intense nedbørsperioder. Registrerte data fra elektronisk vannmengdemåler i innløpet til Holvika pumpestasjon viser også en dobbel så stor vannmengde i nedbørsperioder. I tillegg viser den at det forekommer en konstant innlekking på omtrent 5 l/s.

Gjennom diskusjon og analyse har vi på bakgrunn av våre beregninger kommet frem til at følgende soner har betydelige mengder fremmedvann:

- Sone 1 (Langemyrjordet) gir en total fremmedvannmengde på 22 009 m³/år. Dette utgjør 70 % av totale tilrenningen fra denne sonen
- Sone 2 gir en total fremmedvannmengde på 6 656 m³/år. Dette utgjør 35 % av totale tilrenning fra denne sonen
- Sone 4 gir en total fremmedvannmengde på 10 852 m³/år. Dette utgjør 42 % av totale tilrenning fra denne sonen

Resultater fra fortynningsmetoden viser følgende:

- Sone 1 har en fremmedvannsandel på 46 %
- Sone 2 har en fremmedvannsandel på 59 %
- Sone 4 har en fremmedvannsandel på 55 %

Dermed konkluderes det med at disse tre sonene er de største bidragsyterne av fremmedvann i Holvika-området.

Rørinspeksjon med kamera har påvist flere alvorlige sprekker og utette skjøter på ledningsnett i sone 1 og 2. Røyktesting har identifisert en feilkobling av drenering og taknedløp i sone 4. Tilstandsanalyse og visuelle observasjoner av kummer har påvist flere utette spetthull, sprekker kumhalser o.l. Samtlige av disse feilene er direkte årsaker til fremmedvannmengden i Holvika-området.

Det er stort sett samfunnsmessige kostnader som følge av fremmedvannmengder i avløpssystemet. Innlekkede fremmedvannmengder fra Holvika-området medfører økte kostnader i form av rensing og pumping. Ifølge våre beregninger koster fremmedvannmengdene Grimstad kommune:

- Konstant innlekking koster 301 209 kr/år
- Nedbørsbettinget innlekking koster 30 215 kr/år

Derfor konkluderes det med at området totalt bidrar med en estimert kostnad på omtrent 332 000 kr/år som en konsekvens av fremmedvanninnlekking.

Fremmedvannmengder gir miljøkonsekvenser i form av økt bruk av renskemikalier. I Holvika-området er det lite miljømessige konsekvenser lokalt, ettersom overløp forekommer svært sjeldent. Data fra Grimstad kommune viser at det ikke har vært overløp siden 2013.

På bakgrunn av vannmengdemålinger, tilstandsanalyse, vannanalyser og visuelle observasjoner har gruppen konkludert med at sonene 5 og 6 er relativt friske med god tilstand på avløpsledningene. Fremmedvannmengden utgjør henholdsvis 5 % og 9 % av tilrenningen fra disse sonene. Det er dermed ikke hensiktsmessig å iverksette kostbare tiltak her.

Basert på kost/nytte-analysen gruppen har utarbeidet, anbefales følgende tiltak som vil gi størst virkningsgrad i forhold til kostnad etter prioriterte rekkefølge:

1. Separering av feilkoblet taknedløp og drensledning i sone 4
2. Utbedring av ufagmessig tilkobling i sone 2
3. Nytt ledningsstrek og ny trasé i sone 1 v/tradisjonell graving
4. Fornyelse av ledningsstrek med strømpeforing (NoDig) i sone 2
5. Nytt ledningsstrek og ny trasé i sone 2 v/tradisjonell graving
6. Utskifting av utett utløpskum for hele området
7. Utskifting av utett kum i sone 3

Kommunen kan ved å utføre disse tiltakene spare omtrent 144 000 kr/år ved en prosjekterende levetid på 100 år.

Sammenlignet med det gjennomsnittlige nivået nasjonalt, er avløpsnett i Holvika-området i en bedre tilstand. Dette kommer av forholdsvis nytt avløpsnett og få feilkoblinger.

Likevel er fremmedvann et problem i området, og gruppen anbefaler Grimstad kommune å utføre videre studier og presenterte tiltak. Slik kan kommunen unngå unødvendige kostnader og fremtidige overløp som følge av økende hyppige og intense nedbørsepisoder.

10. Anbefalinger

Iverksetting av tiltak på Langemyrjordet

Som nevnt i diskusjonskapittelet er avløpsledningen som ligger i Langemyrjordet i svært dårlig stand. Iverksetting av tiltak foreslått i prioriteringslisten i diskusjonskapittelet vil være gunstig for arbeidet med avløpshåndtering generelt, og ikke bare for reduksjon av fremmedvann.

Videre elektronisk vannmengdemåling i strategisk utvalgte kummer

Nytteverdien av å installere elektroniske mengdemålere er svært stor i arbeidet med å lokalisere fremmedvann. Det er flere kummer som kan være interessante å overvåke over en lengre tidsperiode.

Fargetesting og videre rørinspeksjon med kamera

Gruppen anbefaler en fargetesting av det vi har definert som sone 2. Kilden til det konstant klare vannet som renner fra et grenrør er enda ikke identifisert. Bidraget er markant, og arbeid med å identifisere og iverksette tiltak mot den eventuelle feilen vil være gunstig i arbeidet med reduksjon av fremmedvann.

Videre rørinspeksjon med kamera av ledningsstekk i det gruppen har definert som sone 1. I det gruppen har definert som sone 1 anbefales det å kjøre en videre rørinspeksjon med kamera. Spesielt på ledningsstrek som gruppen ikke har hatt mulighet til å inspisere kan dette være interessant.

Oppdatering av kartdata i Gemini

Det anbefales videre arbeid med oppdatering og korrigering av geografiske data til ledningsnett og kummer, slik at riktige data ligger inne i kommunens kartsystem Gemini. Dette vil gjøre det enklere for både eksterne konsulenter, fremtidige bacheloroppgaver og kommunens eget mannskap ute i felt.

Videre samarbeid med Universitetet i Agder, fakultet for teknologi- og realfag

Gruppen anbefaler Grimstad kommune å tilby tilsvarende oppgaver på bachelor- og mastergradsnivå i de kommende årene. Blant annet kan det være en idé å kartlegge tilrenning til Molland pumpestasjon, ettersom det er registrert betydelig innlekking også i dette området. Videre samarbeid med byggingeniør-linjen på UiA vil derfor være svært nyttig for både Grimstad kommune og studenter.

11. Referanser

- [1] Maskinentreprenørenes Forbund (MEF), 2011. [Internett]. Available: http://www.mef.no/Content/63888/MEF-notat%203_2011_vann_avl%F8p.pdf. [Funnet 11 april 2017].
- [2] Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF), «Norges tilstand, State of the Nation 2015,» 2015. [Internett]. Available: http://www.rif.no/media/5486/rif_stateofthenation_2015_lavopploeselig.pdf. [Funnet februar 2017].
- [3] T. C. Olsen, «VAnytt,» 31 mars 2016. [Internett]. Available: <http://www.vanytt.no/artikkel/8191/hva-koster-fremmedvannet-hva-er-break-even-for-tiltak-.html>. [Funnet 16 april 2017].
- [4] H. Karstensen, «Universitetet for Miljø- og Biovitenskap,» 15 mai 2014. [Internett]. Available: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/294087/karstensen_master2015%20.pdf?sequence=1. [Funnet mars 2017].
- [5] Vannforsk, "Beskrivelse av FoU-behovet i VA-sektoren," Norsk Vann, Hamar, 2012.
- [6] E. A. Desserud, «Universitetet for Miljø- og Biovitenskap,» 15 mai 2013. [Internett]. Available: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/189146/desserud_master2013.pdf?sequence=3&isAllowed=y. [Funnet 10 feb 2017].
- [7] H. Ødegaard, «Konsekvenser av overbelastning av næringsstoffer i vannforekomster - eutrofiering,» i *Vann- og avløpsteknikk 2. utgave*, 2014, pp. 128-129.
- [8] H. Ødegaard, «Forurensning av utslipp av oksygenforbrukende, organisk stoff,» i *Vann- og avløpsteknikk 2. utgave*, Norsk vann, 2014, p. 120.
- [9] Oval, «VA-info,» 4 Des 2016. [Internett]. Available: http://www.ovalinfo.no/tidligere-publikasjoner?command=article.getAttachment&articleId=143516&file=oval_nr4_2016_small.pdf. [Funnet mar 2017].
- [10] H. Ødegaard, «Tiltak for håndtering av overvann,» i *Vann- og Avløpsteknikk 2. utgave*, Norsk vann, 2014, p. 352.
- [11] Region Vest-Viken, «vannportalen.no,» 2016. [Internett]. Available: <http://www.vannportalen.no/globalassets/vannregioner/vest-viken/vest-viken---dokumenter/planperioden-2016-2021/andre-gangs-horing-vesentlige-endringer/2-g-horing-kapittel-4-om-kostnader-og-nytte.pdf>. [Funnet 15 feb 2017].
- [12] Statistisk Sentralbyrå, «Folkemengde og befolkningsendringer,» [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=FolkGrunnkrKom&ortNavnWeb=folkemengde&PLanguage=0&checked=true>. [Funnet mars 2017].
- [13] H. Ødegaard, «Nedbørsavrenning og flom i urbane områder,» i *Vann- og avløpsteknikk 2. utgave*, Norsk Vann, 2017, pp. 52, 369.
- [14] H. Ødegaard, «VA-hydrologi,» i *Vann- og avløpsteknikk*, Norsk Vann, 2014, pp. 40-64.
- [15] C. G. Strauman, «Universitetet for Miljø- og Biovitenskap,» 15 Desember 2013. [Internett]. Available: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/189057/MasteroppgaveH2013_ChristopherGehrkenStrauman.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Funnet 2017].
- [16] N. vann, «Dagens tilstand,» Norsk vann, 216. [Internett]. Available: <https://www.norskvann.no/index.php/10-nyheter/1437-ny-rapport-dokumentasjon-av-utslipp-fra-ledningsnett>. [Funnet 2017].
- [17] Statistisk Sentralbyrå, «ssb.no,» 2015. [Internett]. Available: https://ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/var_kostr. [Funnet 7 februar 2017].

- [18] Grunnvann i Norge, «Overvannshåndtering med regnbed,» 3 okt 2016. [Internett]. Available: http://www.grunnvanninorge.no/geoteknikk_overvann.php. [Funnet mars 2017].
- [19] Eidsberg Kommune, «Eidsberg kommune,» 21 12 2015. [Internett]. Available: <http://www.eidsberg.kommune.no/private-stikkledninger.368940.no.html>. [Funnet mars 2017].
- [20] Olimb AS, *Bestillerhåndbok NoDig, offentlig og industri - 2. utgave*, Olimb AS, 2015.
- [21] H. Næser, «Universitetet i Agder, Fakultet for teknologi- og realfag,» 4 12 2013. [Internett]. Available: [https://fronter.com/uia/links/files.phtml/2125258131\\$80850765\\$/Fagstoff/Landm_percent_E5ling/Landm_percent_E5lingkompodium+2014.pdf](https://fronter.com/uia/links/files.phtml/2125258131$80850765$/Fagstoff/Landm_percent_E5ling/Landm_percent_E5lingkompodium+2014.pdf). [Funnet 4 april 2017].
- [22] H. Ødegaard, «Vannkvalitet og vannforurensning,» i *Vann- og avløpsteknikk*, Norsk Vann, 2014, pp. 104-133.
- [23] Miljøstatus, «miljøstatus.no,» 3 okt 2014. [Internett]. Available: <http://www.miljostatus.no/tema/ferskvann/kommunalt-avlop/>. [Funnet 2017].
- [24] O. Lindholm og J. T. Bjerkholt, «Store fremmedvannmengder i norske avløpsrensaneanlegg,» 2011. [Internett]. Available: http://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011_820086.pdf. [Funnet februar 2017].
- [25] Norsk Vann, «B20 | 2016, "Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk",» Norsk Vann, 2017.
- [26] H. Ødegaard, «Beregning av vannmengde v/Darcy Weissbach,» i *Vann- og avløpsteknikk, 2. utgave*, Norsk Vann, pp. 67-81.
- [27] A. L. H. Ø. Svein Bjørberg, «Livssyklus kostnader for bygninger,» 2007.
- [28] Standard Norge, «Norsk Standard 3454:2013, Livssyklus kostnader for byggverk. Prinsipper og klassifisering,» Standard Norge, 2013.
- [29] Norges geologiske undersøkelse, «Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>. [Funnet mars 2017].
- [30] H. Ødegaard, «Avløpsvannets mengde og sammensetning,» i *Vann- og avløpsteknikk 2. utgave*, Norsk Vann, 2014, pp. 284-293.
- [31] Pipelife AS, «Produkter VA - vann og avløp,» [Internett]. Available: <http://www.pipelife.no/no/produkter/vann-og-avlop/vann-og-avlop.php>. [Funnet mai 2017].
- [32] Hydropress Huber AB, «huber.no,» [Internett]. Available: <http://www.huber.no/Varmegjenvinning.htm>. [Funnet februar 2017].
- [33] J. Lindland, *BYG216 - Forelesning om tilstandsanalyse*, Grimstad: Universitet i Agder, fakultet for teknologi- og realfag, 2016.
- [34] Teledyne ISCO, «teledyneisco.com,» Teledyne ISCO, [Internett]. Available: <http://www.teledyneisco.com/water-and-wastewater/flowlink-5-1>. [Funnet 05 april 2017].
- [35] Vann- og avløpsteknikk AS, «vat.no,» Vann- og avløpsteknikk AS, 2017. [Internett]. Available: vat.no/tjenester/rorinspeksjon/. [Funnet 2 april 2017].
- [36] Landbruksmeteorologisk tjeneste, «Landvik målestasjon,» [Internett]. Available: http://lmt.nibio.no/weatherstations/29/statistics?from_date=06.05.2017&id=29&log_interval=1&to_date=06.05.2017. [Funnet mars 2017].
- [37] f. o. s. o. k. b. Representanter for de største interessentene: rådgivere, «Livssyklus kostnader for byggverk Prinsipper og klassifisering,» 2013.
- [38] Oval, «Fakta om VA-systemet i Norge,» [Internett]. Available: <http://www.ovalinfo.no/fakta-om-va-systemet-i-norge>. [Funnet 7 mai 2017].
- [39] L. Johansen, *Muntlig kilde: veiledningssamtale hos kommunen*, Grimstad kommune, 2017.
- [40] I. J. H. Gammelsæter, «Måling og analyse av fremmedvannmengder og tilføringsgrad i

- Vestlifeltet i Oslo,» NMBU, 2014.
- [41] Vannforsk, «DiVA - Oppgårds erfaringer,» [Internett]. Available: http://vannforsk.no/vf/wp-content/uploads/2015/12/DIVA_Oppegard_kommune_Randi_Aamodt.pdf. [Funnet 28 april 2017].
- [42] Statens forurensningstilsyn, «Veileder for prøvetaking og analyse av miljøgifter,» 2008. [Internett]. Available: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2378/ta2378.pdf>.
- [43] Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF), «rif.no,» [Internett]. Available: <http://www.rif.no/media/5748/vannmagasin-15.pdf>. [Funnet 14 februar 2017].
- [44] Pipelife Norge AS, «pipelife.no,» August 2014. [Internett]. Available: <https://felles.trd.atea.no/pipelife/Diverse/Kumsystemer.pdf>. [Funnet 29 mars 2017].
- [45] Powel AS, "powel.no," 2017. [Online]. Available: <https://www.powel.com/no/about/temaartikler/geminiportal/>. [Accessed mars 2017].
- [46] H. Ødegaard, «Avløpsnett,» Norsk vann, 2014, pp. 30-33.
- [47] Norsk Vann, «Dagens tilstand,» 21 Okt 2016. [Internett]. Available: <https://www.norskvann.no/index.php/10-nyheter/1437-ny-rapport-dokumentasjon-av-utslipp-fra-ledningsnett>. [Funnet 15 mars 2017].
- [48] Statistisk Sentralbyrå, «ssb.no,» 1 Oktober 2016. [Internett]. Available: <https://ssb.no/befolkning/statistikker/folkemengde/kvartal/2017-03-02#content>. [Funnet 8 februar 2017].
- [49] NIBIO, *For høye fosfortilførsler fører til eutrofiering*, 2014.
- [50] H. Ødegaard, «Konsekvenser av overblasing av næringstoffer i vannforekomster- eutrofiering,» i *Vann- og avløpsteknikk 2 utgave*, Norsk Vann, 2014, pp. 128-129.

12. Vedlegg

Vedlegg 1: Feil i Gemini portal for Grimstad kommune

Vedlegg 2: Møtereferat

Vedlegg 3: Mailkorrespondering av tall fra veileder og næringsliv

Vedlegg 4: Pumpedata

Vedlegg 5: Tilstandsanalyse av utvalgte kummer

Vedlegg 6: Korrelasjoner

Vedlegg 7: Beregninger

Vedlegg 8: Estimat av innsparing ved gjennomføring av tiltak

Vedlegg 9: SHA-plan

Vedlegg 10: Nivellering

Vedlegg 11: Antall km ledning per sone

Elektroniske vedlegg

1. Rørinspeksjon av Søgne Rørservice (PDF)
2. Fremdriftsplan (Microsoft Project)
3. Tilstandsanalyse av kummer (PDF)
4. Vannhøyde- og temperaturmålinger, skjema (PDF)

VEDLEGG 1

Feil i Gemini portal for
Grimstad kommune

Observerte feil i kartsystemet Gemini Portal

Kum 15739

Ført inn med feil koordinater i Gemini. Gruppen oppdaget at kummen ligger lenger vest enn det som er oppgitt i Gemini portalen av kommunen.

Kum 15722

Denne kummen har ikke blitt observert i sonen, men skal ligge i nærheten av kum 15739. Gruppen regner derfor med at denne kummen ikke eksisterer, eller er dekket over med jord ettersom den ligger på dyrket mark.

VEDLEGG 2

Møtereferat

Møtereferat

Den 13. jan ble det holdt veiledningsmøte i C4 043 i Uia.

Til stede: Gruppe 1: Ali Reza Heidari, Lashand S. Nadarajah, Bjørnar Valle Nygårdseter

Gruppe 2: Kamila Makuszevska, Christine Sætra, Camilla Arnøy Christensen

Intern veileder: Helge Liltved

Ekstern veileder: Tore Terkelsen (Asplan Viak), Geir Knudsen (Grimstad kommune)

Sak 1. Informasjon rundt bachelorprosjektet

Oppgaven ble drøftet i detaljer sammen med eksterne og interne veiledere. Gjennom oppgaven skal gruppene kartlegges feilkoblinger og lekkasjer i avløpssystemet og utarbeide deretter en kostnuttteanalyse. Holvika og Fevik er de to feltene Grimstad kommune ønsker at gruppene skal jobbe med. Gruppene ble enig om å dele feltene slik at gruppe 1 får Holvika og gruppe 2 Fevik.

Sak 2. Utstyr

Det ble diskutert om hvilke målingsmetoder som er relevante og hvilke utstyr som trengs for disse målingene. Asplan viak og Grimstad kommune har tatt for seg ansvaret om å skaffe gruppene aktuelle utstyr. Gruppene vil også få hjelp med å montere enkelte utstyr.

Sak 3. SHA -plan

For å ivareta helse, miljø og sikkerhet har det blitt forslå om at gruppene skal utarbeide en instruks som inneholder de viktigste rutiner ved arbeid i nærheten av veier, prøvetaking og prøvehåndtering. Dette må godkjennes av eksterne veiledre fra Asplan viak og Grimstad kommune før gruppene er i gang med å ta målinger.

Sak 4. veiledningstime

Det ble avtalt en fast veiledningstime i uka med intern veileder. Fredager klokka 10:00.

Neste møte: tirsdag 20/01/2017 hos Asplan Viak

Møtereferat

Den 20 jan ble det holdt veiledningsmøte i Arendal hos Asplan Viak.

Til stede: Gruppe 1: Ali Reza Heidari, Lashand S. Nadarajah, Bjørnar Valle Nygårdseter

Gruppe 2: Kamila Makuszevska, Christine Sætra, Camilla Arnøy Christensen

Ekstern veileder: (Asplan Viak)

Sak 1. Gjennomgang av VA-kart med Asplan Viak

Gruppene fikk tildelt kart av deres område. Asplan Viak gikk grundig gjennom VA-kartene og forklarte gruppene hva de skal gjøre under prosjektet. Det ble foreslått at feltene skal deles i forskjellige soner på bakgrunn av ledningsnettets utforming. På den måten kan man få en oversikt over områder med dårligst tilstand med tanke på innlekking av fremmedvann. Gruppene skal finne avrenningen i tørrvær, og sammenligne denne med nedbørsavrenning. Fremstille den grafisk, slik at den viser vannføringen når det regner og ikke regner. Dermed kan vi fastslå innlekking!

Sak 2. Gangtider til pumpene

Det kom frem i møte at gangtidene til pumpene er hensiktsmessig å se på når man analyserer feltet. På den måten får man informasjon om hvordan pumpene fungerer under regnværet og får kanskje tegn til eventuelle lekkasjer i avløpsnett. Oversikt over gangtider til pumpene kan gruppene hente hos kommunen.

Sak 3. Utstyrssikring og SHA plan

Det er viktig at gruppene har sikringsutstyr og SHA-plan på plass før eventuelt arbeid i felt. Gruppene skal i samarbeid med kommune utarbeide en skriftlig SHA-plan som tar hensyn til de viktigste rutinene ved arbeid i vei, prøvetaking og prøvehåndtering. Dette må godkjennes av Asplan Viak og Grimstad kommune før gruppene er i gang med å ta målinger. Kommunen vil også hjelpe gruppene med sikringsutstyr som f.eks. refleksvester, skilter og kjepler.

Møtereferat:

Veiledningstime med kommunen: 20.01.17, UiA Campus Grimstad

Til stede: Ali Reza Heidari, Lashand S. Nadarajah, Bjørnar Valle Nygårdseter + den andre gruppa.
Geir Knudsen og Hans Stormo fra Grimstad Kommune

Sak 1. Kumkart, ledningskart

Vi har fått tilgang og passord til Gemini Powel, med fullstendig kart og oversikt over ledningsnett.

Sak 2. Sikkerhetsutstyr

Vi har fått kjegler og skilt fra kommunen. Den andre gruppa skulle hente refleksvester til oss.

Sak 3. SHA -plan

Det skal utarbeides noen regler/prosedyrer for prøvetaking i kum. Denne skal godkjennes av alle parter.

Sak 4. Gangtider og SOSI-filer

Kommunen skal sende over gangtider og SOSI-filer for området.

Neste veiledningstime: tirsdag 24/01/2017 med Helge på UiA

Møtereferat:

Veiledningstime med intern veileder: 24.01.17, UiA Campus Grimstad

Til stede: Gruppe 1: Ali Reza Heidari, Lashand S. Nadarajah, Bjørnar Valle Nygårdseter

Intern veileder: Helge Liltved

Sak 1. Valg av kummer og soneinndeling

Gruppen la frem foreslått soneinndeling for veileder. Det er enighet om at sonene er fornuftige med passende størrelser. Gruppen har ut ifra ledningsnett i Gemini portalen gitt av kommunen kommet frem omtrent 25 kummer. Antallet kummer vil reduseres der det er flere kummer på et strekk. Etter det totale antall kummer er undersøkt, vil et par vesentlige bli undersøkt ytterligere.

Sak 2. Målinger

Veileder og gruppen er enige om at følgende målinger bør gjøres på alle kum-inspeksjoner: ledningsevne, vannhøyde, turbiditet og vanntemperatur. Etter det totale antall kummer er undersøkt, bør fosfor-måling foretas på et få antall kummer.

Sak 3. SHA -plan

Gruppen har med gruppe 2 kommet frem til en SHA-plan for arbeid ute i felten, prøvetaking- og håndtering.

Sak 4. Problemstilling

Gruppen har diskutert med innholdet i problemstilling med intern veileder. Innholdet bør begrenses til å lokalisere områder med størst innlekking av fremmedvann, aktuelle tiltak og beregninger knyttet til kostnader for gjennomføring av tiltak.

Sak 5. Nedbørsmåler

Driftsavdelingen ved UiA har ingen nedbørsmåler på bygget. Gruppen må derfor ta kontakt med kommunen for å få satt ut en nedbørsmåler ved Holvika pumpestasjon.

VEDLEGG 3

Mailkorrespondering,
innhenting av tall fra veiledere
og næringsliv

3.1: Tall benyttet i beregning av kostnader for sanering av ledninger v/tradisjonell graving:



Tore Terkelsen

18. apr. ☆



til meg, Helge, bjornn14, all.heidari ▾

Hei

Pkt.1

Effektbehovet utledes av formelen for arbeid = mgh og gir svaret i Nm (J). Siden strømprisen er ca 1 kr pr. kWh kan dere jobbe litt med formelen og komme frem til at den kan omgjøres til (pumpet mengde målt i m³ x pumpehøyde)/(367 x pumpas virkningsgrad) som gir svaret i kWh.

Pumpehøyde er summen av løftehøyde og friksjonshøyde. Løftehøyden finner dere på ledningskartet, friksjonshøyden beregner dere enten ved å anta 10 o/oo friksjon x ledningens lengde eller ved å beregne hvilken friksjon dere får i den aktuelle ledningsdimensjonen dersom dere antar at hastigheten er 1 m/s (som er vanlig å forsøke å oppnå for å få selvrensing). Pumpas virkningsgraden er avhengig av pumpetype, slitasje mm, erfaringsvis kan dere anta 40%.

Pkt.2

«Mer kostnaden» for å rense fremmedvann er ikke så stor, kan godt være 7 kr/m³ er riktig. Det bør Grimstad kommune svare på. Den store kostnaden kommer i forbindelse med at anlegget bygges for stort eller at det må etableres nytt anlegg for å kunne takle innlekkingen.

Pkt. 3

Sanering av eksisterende ledningsnett er veldig avhengig av de stedlige forholdene og hva slags ledninger som skal skiftes ut. Foreslår at dere bruker følgende tall:

Ledningsdimensjoner opp til SP DN200, VL DN200 og OV DN300 utenfor veg; kr. 3.000 pr.m

Ledningsdimensjoner opp til SP DN200, VL DN200 og OV DN300 i boliggate; kr. 5.000 pr.m

Ledningsdimensjoner opp til SP DN200, VL DN200 og OV DN300 i samleveg; kr. 6.000 pr.m

Med vennlig hilsen



3.2: Tall benyttet i beregning av kostnader for sanering av ledninger v/NoDig-strømpeforing:



Svein Rune Myhre

2. mai (for 5 dager siden)

til meg ▾

Prisestimat :

Rigg/ Drift	18 500.-
Forkontroll/ Spyling	80.- pr. m.
Foring/strømpe	910.- pr. m.
Sluttkontroll (Rørinspeksjon)	30.- pr. m.

Evt.

Gjennåpning av grenrør	3500.- pr. stk.
Overpumping	7000.-

Med hilsen

Olimb Rørfornyning AS

Svein Rune Myhre

Salgssjef Rørfornyning

Mob. +47 91 361736

E-post: srm@olimb.nowww.olimb.no

3.3: Personer per boenhet i Grimstad kommune

Bjørnar Valle Nygårdseter

Fra: Leif Johansen <Leif.Johansen@grimstad.kommune.no>
Sendt: fredag 24. mars 2017 08.21
Til: Bjørnar Valle Nygårdseter
Kopi: lashand.nadarajah@gmail.com; ali.heidari@hotmail.com; Geir Knudsen
Emne: SV: Bachelor-gruppa i Holvika

Hei.

Marsdataene blir fulltallig når måneden er slutt sender endelig marsrapport ca. 3. april.
Når det gjelder antall pe tilknyttet ledningsnett så kan Dere bruke de samme tallene som vi bruker når vi rapporterer inn til Kostra.
Antall pe pr. boenhet har den andre gruppen fått oppgitt fra Geir Knudsen til å være 2,655 i Grimstad kommune.
Hvor mange boenheter må Dere nesten telle selv, alternativet er at Geir Knudsen muligens kan hjelpe med dette.



Vennlig hilsen

Leif Johansen
Fagleder Vann-/avløpsInstallasjonene
Kommunaltekniske tjenester
37 25 01 10
91 76 69 78
Leif.johansen@grimstad.kommune.no
www.grimstad.kommune.no

3.3: Pumpeeffekt Holvika pumpestasjon

Bjørnar Valle Nygårdseter

Fra: Leif Johansen <Leif.Johansen@grimstad.kommune.no>
Sendt: fredag 31. mars 2017 15.29
Til: Ali Reza Heidari; Lashand Sivathasan Nadarajah; Bjørnar Valle Nygårdseter
Emne: SV: Bachelor-gruppa i Holvika

Hei.

Pumpene er på 9 kW



Vennlig hilsen

Leif Johansen
Fagleder Vann-/avløpsInstallasjonene
Kommunaltekniske tjenester
37 25 01 10
91 76 69 78
Leif.johansen@grimstad.kommune.no
www.grimstad.kommune.no

VEDLEGG 4

Pumpedata

1) Gangtider for Holvika pumpestasjon

Table for Feb 2017: Grimstad Kommune, Avløspumpestasjoner. KPI328 Holvika - Gangtid og mengder. Includes pump types (P1, P2), calculated flow rates, and a daily log of pump run times (Gangtid) and volumes (Mengde) for various pumps. Summary statistics at the bottom include Sum, Gjennomsnitt, Min, and Maks.

Table for Mar 2017: Grimstad Kommune, Avløspumpestasjoner. KPI328 Holvika - Gangtid og mengder. Includes pump types (P1, P2), calculated flow rates, and a daily log of pump run times (Gangtid) and volumes (Mengde) for various pumps. Summary statistics at the bottom include Sum, Gjennomsnitt, Min, and Maks.

3) Gangtider for Molland pumpestasjon

Grimstad Kommune, Vann og Avløp								
Gangtid og mengder								
Månesrapport: Feb 2017								
Dato	KP375_P_01_Acc KP375, timeteller pumpe 1 h	KP375_P_02_Acc KP375, timeteller pumpe 2 h	KP375_FT_03_Acc KP375, mengde pumpe 1, totalt m3	KP375_FT_04_Acc KP375, mengde pumpe 2, totalt m3	KP375_FT_05_Acc KP375, mengde P1+ P2, samtidig, totalt m3	KP375_FT_06_Acc KP375, mengde overløp, totalt m3	KP375_LS_03_Acc KP375, timeteller overløp h	
1	1,36	1,00		71,20	0,00	0,00	0,00	
2	1,36	1,04		53,14	0,00	0,00	0,00	
3	0,96	0,96		77,05	0,00	0,00	0,00	
4		1,20		82,67				
5		1,27		67,63				
6	0,80	0,80	88,80	88,80	0,00	0,00	0,00	
7	1,68	1,28	92,40	85,20	0,00	0,00	0,00	
8	1,42	1,14					0,00	
9								
10								
11	1,25	0,96				0,00		0,00
12		0,80						
13		1,12						
14	1,54	1,24						0,00
15		1,15						0,00
16		1,37	92,36	85,85	8,25	0,00		0,00
17	1,20	0,90		57,00	0,00	0,00		0,00
18	1,48	1,20						
19	1,53	1,24						
20	2,48	2,01	142,29	132,39	0,00	0,00		0,00
21	2,08	1,60						0,00
22	2,64	2,04						0,00
23	2,21	1,77	132,31	115,08	0,00	0,00		0,00
24								
25								
26	1,33	0,98						
27	2,40	2,02	139,20	96,00	0,00	0,00		0,00
28	3,84	3,07	217,92	207,63	0,00	0,00		0,00
29								
30								
31								
Sum	31,55	32,17	905,28	1219,73	8,25	0,00		0,00
Middel	1,75	1,34	129,33	93,83	0,69	0,00		0,00
Min.	0,80	0,80	88,80	53,14	0,00	0,00		0,00
Maks.	3,84	3,07	217,92	207,63	8,25	0,00		0,00

Generert av Driftskontrollsystemet RIA-DK for vann og avløp, levert av Rogaland Industri-Automasjon AS, Stavanger

Grimstad Kommune, Vann og Avløp								
Gangtid og mengder								
Månesrapport: Mar 2017								
Dato	KP375_P_01_Acc KP375, timeteller pumpe 1 h	KP375_P_02_Acc KP375, timeteller pumpe 2 h	KP375_FT_03_Acc KP375, mengde pumpe 1, totalt m3	KP375_FT_04_Acc KP375, mengde pumpe 2, totalt m3	KP375_FT_05_Acc KP375, mengde P1+ P2, samtidig, totalt m3	KP375_FT_06_Acc KP375, mengde overløp, totalt m3	KP375_LS_03_Acc KP375, timeteller overløp h	
1	2,40	1,92	141,47	128,84	0,00	0,00	0,00	
2	1,65	1,35			0,00	0,00	0,00	
3	1,60	1,28						
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
Sum	5,65	4,55	141,47	128,84	0,00	0,00		0,00
Middel	1,88	1,52	141,47	128,84	0,00	0,00		0,00
Min.	1,60	1,28	141,47	128,84	0,00	0,00		0,00
Maks.	2,40	1,92	141,47	128,84	0,00	0,00		0,00

Generert av Driftskontrollsystemet RIA-DK for vann og avløp, levert av Rogaland Industri-Automasjon AS, Stavanger

VEDLEGG 5

TILSTANDSANALYSE AV UTVALGTE KUMMER

Tilstandsanalyse av kummer gitt TG2-TG3

Benyttet tilstandsanalysekjema er tilgjengelig som elektronisk vedlegg 3.

Tilstandsanalyse utført med utgangspunkt i NS3424, nivå 1:

- Enkel visuell tilstandsanalyse
- Referansenivå: Myndighetskrav og funksjonskrav

TG1: God, **TG2:** Mulig innlekking, **TG3:** Lekker inn

Sone 1

Kum 15627: **TG2**



- Kummen ligger på et jorde, og er derfor utsatt for infiltrasjon. Forholdsvis god tilstand med vertikalt stakerør
- Kumlokket kan med fordeles heves

Sone 2

Kum 10396: **TG2**



- Kummen er plassert i en myr med høy grunnvannstand tett opp til kumlokket
- Fare for innlekking
- Høres piplelyder konstant i rør i nærhet av kummen. Kan indikere konstant innlekking av grunnvann

Kum 15883: TG2



- Observert høy vannstand rundt stakerøret i kummen ved flere inspeksjoner
- Fare for innlekking

Sone 3

Begge kummene (20201 og 15724) i denne sonen har fått **TG1**.

Bemerkninger: Åpne spetthull på 20201 sitt kumlokk.

Sone 4

Kum 1393: TG2



- Flere tydelige renner langs vegg tyder på fuktighet i kummen
- Fare for innlekking

Kum 15779: TG2



- Synlig fuktighet i kummen, tydelige renner langs veggene
- Fare for innlekking

Sone 5

Kum 15886: TG3



- *Konstant innlekking* fra vegg, samme side som drikkevannsledningen og i passende høyde
- *Konstant innlekking* fra dårlig plombering av vestre stikk
- Åpne spetthull. Kummen ligger i lavbrekket i en sving, og ligger dermed i veien for vannets avrenning til grøft fra svingen

Kum 16156: TG2



- Smale sprekker nedover kumhalsen
- Åpne spetthull representerer en risiko for innlekking fra vegen

Sone 6

Kum 10109: TG2

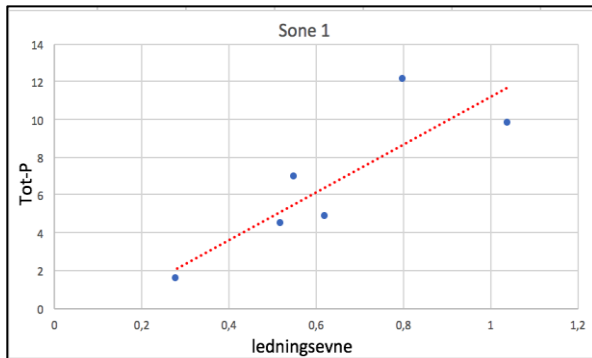


- Smale sprekker i øvre del av kumhalsen
- Åpne spetthull
- Tydelige renner nedover kumhals tyder på fuktighet i kummen

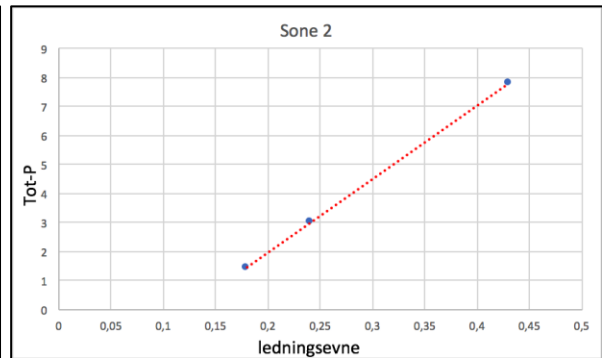
VEDLEGG 6

Korrelasjoner

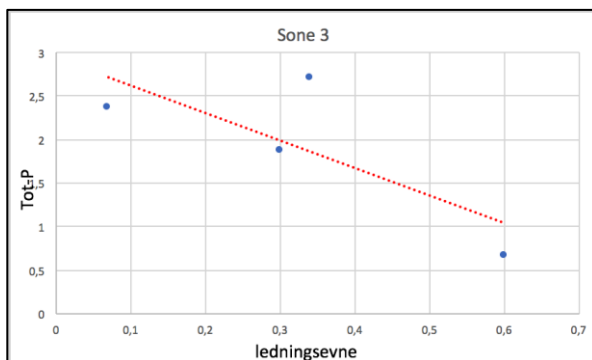
Korrelasjon mellom Tot-P og Ledningsevne



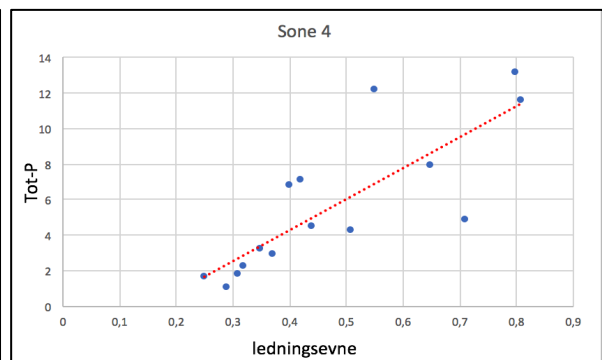
Korrelasjon=0,73



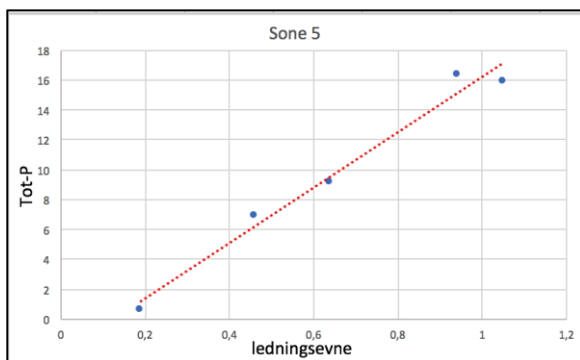
Korrelasjon=0,11



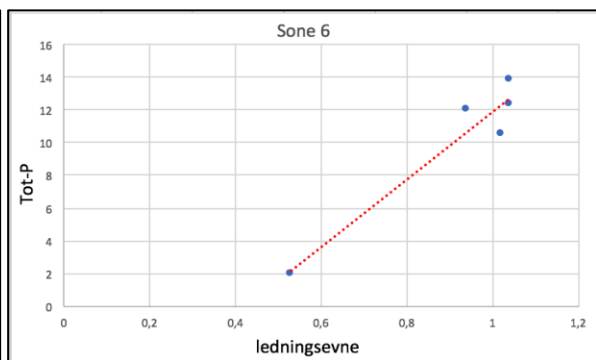
Korrelasjon=-0,76



Korrelasjon=0,81



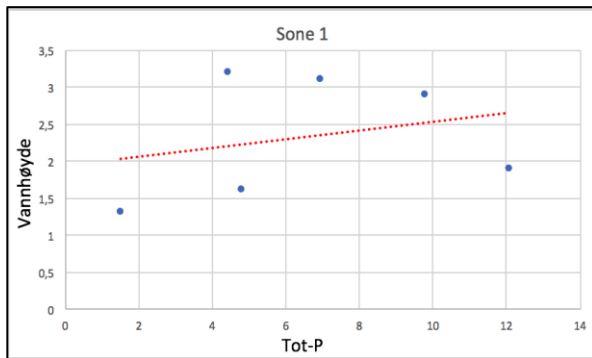
Korrelasjon=0,99



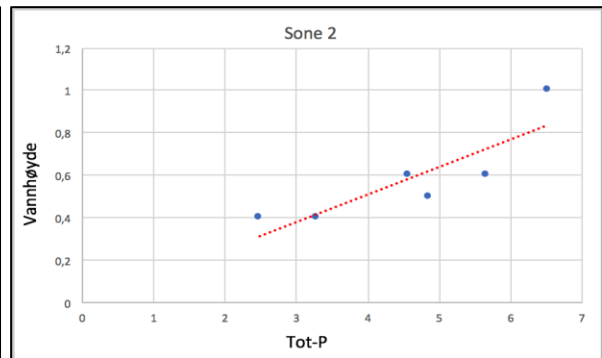
Korrelasjon=0,96

Ledningsevne og Tot-P i samtlige soner har gitt en god kobling som grafene over viser. Der verdien for ledningsevne øker, øker også Tot-p verdien tydelig i takt. Det er bare sone 3 som gir en negativ korrelasjon.

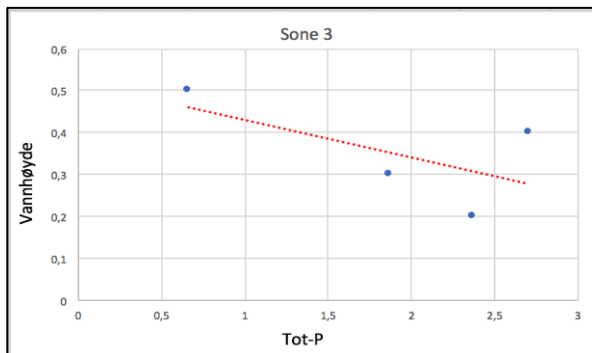
Korrelasjon mellom vannhøyde og Tot-P



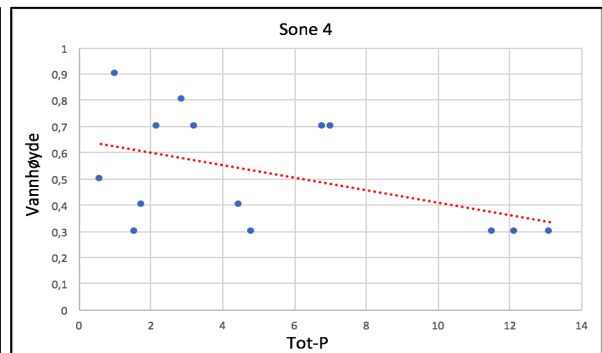
Korrelasjon=0,27



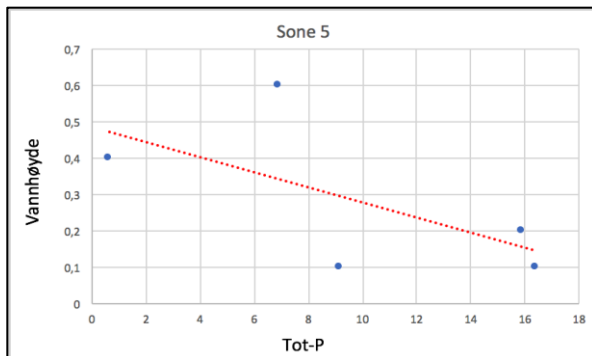
Korrelasjon=0,85



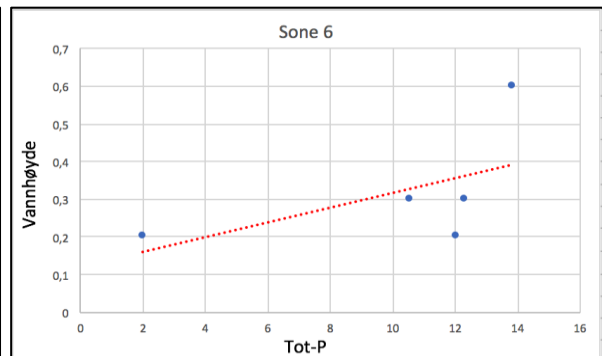
Korrelasjon=-0,62



Korrelasjon=-0,47



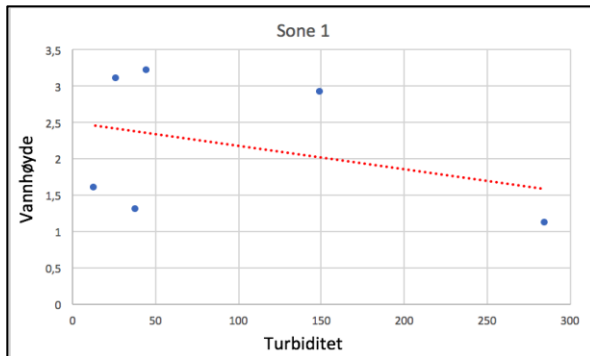
Korrelasjon=-0,62



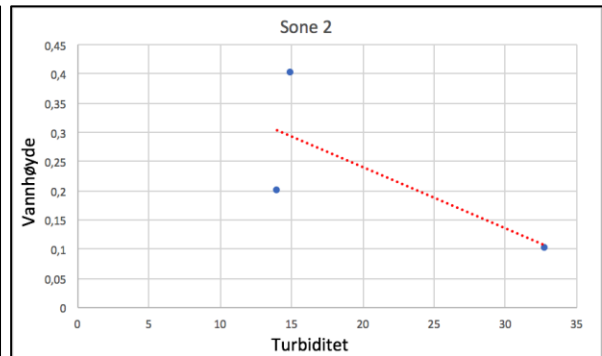
Korrelasjon=0,55

Sone 3, 4 og 5 gir negativ korrelasjon mellom vannhøyde og Tot-P. Det betyr at når vannhøyden øker, synker Tot-P verdien. Det kan være en indikasjon på fremmedvann. Sone 1,2 og 6 gir en positiv korrelasjon, noe som kan indikere at ledningsnett i området er frisk. Men resultatene kan være påvirket av feilkilder som slam, leier og andre forhold i området.

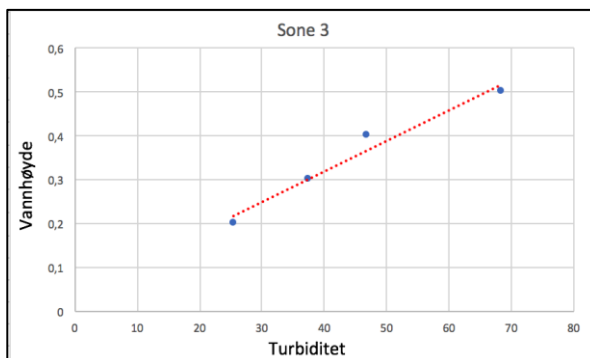
Korrelasjon mellom vannhøyde og turbiditet



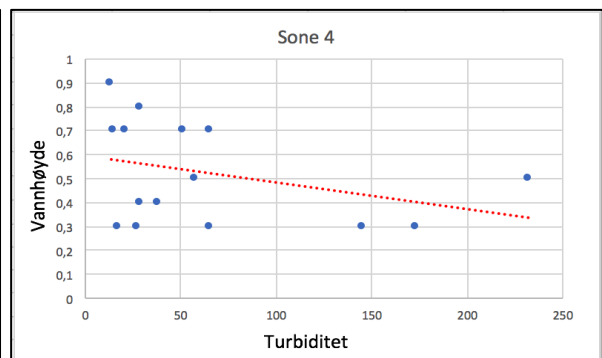
Korrelasjon=-0,35



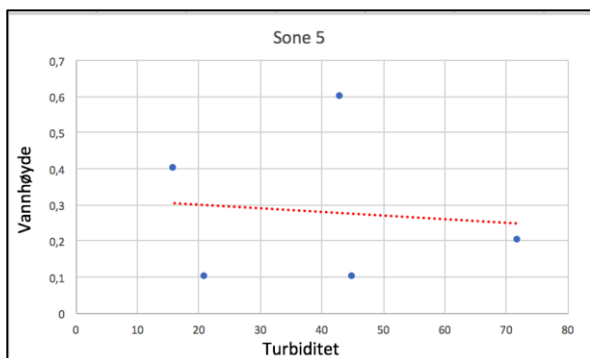
Korrelasjon=-0,72



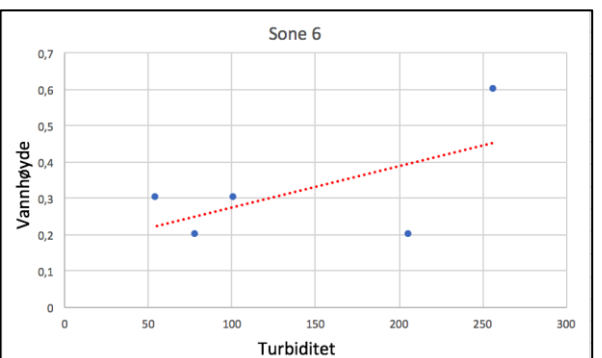
Korrelasjon=0,98



Korrelasjon=-0,35



Korrelasjon=-0,1



Korrelasjon=0,60

Sone 1,2,4 og 5 gir negativ korrelasjon mellom vannhøyde og ledningsevne, noe som kan indikere på fremmedvann i avløpssystemet. Mens sone 3 og 6 gir positiv korrelasjon mellom disse to parametrene og kan indikere at det er lite fremmedvann i disse sonene.

VEDLEGG 7

Beregninger

Eksempler på utregningsmetode vist ved sone 1

I vedlegget viser vi beregninger for sone 1, som et eksempel på hvordan vi har gjennomført beregninger knyttet til teoretisk vannforbruk, vannmengde beregninger og beregninger knyttet til fremmedvannskostnader.

Oversikt over fall på ledninger der vannhøyder er målt:

Sone	Kum	Delta H (m)	L (m)	Fall (%)	Rør dimm. (mm)
1	15739	0,62	92,1	0,7	160
2	20358	22,48	225,5	9,9	250
3	15724	0,75	22,9	3,3	200
	20201 M	2,41	41,6	5,8	160
	20201 V	10,25	79,3	12,9	160
4	15709 M	9,47	113,47	8,3	200
	15709 V	0,96	45,98	2,1	160
5	16156 H	5,22	54,74	9,5	160
	15886 øvre	6,29	67,88	9,3	160
6	15886 H	0,38	45,2	0,8	160

Teoretisk vannforbruk

I følge Grimstad kommunes egne tall bor det 2,655 personer pr. boenhet i Grimstad. Vi benytter dette tallet som gjennomsnittlig personekvivalent og finner hvor mange personer som bor i hver sone. I oppgaven har vi brukt $160 \text{ l/pe} \cdot \text{døgn}$ som vanlig vannforbruk i området [Norsk vann]. Området får også avløpsvann fra barneskoler og idrettshaller. I følge litteraturen fra Hallvard Ødegaard [Vann og avløpsteknikk 2.utgave] vil skoler gi en hydraulisk belastning på ca. $40 \text{ l/elev} \cdot \text{døgn}$. Vi har tatt utgangspunkt at idrettshaller gir en hydraulisk belastning på 1128 L/døgn . Tabellen nedenfor viser en oversikt over det teoretiske vannforbruket i området.

Oversikt over teoretisk vannforbruk i ulike soner

Sone	Boenheter	Innbyggere (pe)	Tilrenning v. $160 \text{ l/pe} \cdot \text{døgn}$	Annet	Ekstra vann pr. døgn (L)	Total tilrenning pr. døgn (L)
1	56	149	$149 \cdot 160 = 23840$	1 skole ca. 60 elever	2000	25840
2	74	197	$197 \cdot 160 = 31520$	2 idrettshaller	2256 L	33776
3	34	90	$90 \cdot 160 = 14400$	2 skoler med tils. 510 elever	20400	34800
4	98	260	$260 \cdot 160 = 41600$			41600
5	55	146	$146 \cdot 160 = 23360$	Barnehage ca. 25 barn	1000	24360
6	47	125	$125 \cdot 160 = 20000$			20000
Totalt	364	969	$969 \cdot 160 = 154720$			180376

Konstant innlekking

Den gjennomsnittlige vannhøyden i tørrvær har blitt benyttet for beregning av vannmengde som følge av konstant innlekking.

Gjennomsnittlige vannhøyder målt i tørrvær

Sone	Gjennomsnittlige vannhøyde i tørrvær (m)
1	0,022
2	0,005
3	0,001
4	0,006
5	0,001
6	0,007

Konstant innlekking sone 1

Benyttet formel for $Q_{fyllt} = A * V_{fyllt} = A * \sqrt{\frac{\Delta h * D * 2g}{f * l}}$

A : Areal på røret

Δh : høydeforskjell på ledningen (m)

D : Diameter (m)

f : friksjonskoeffisient (m)

l = lengde på ledningen (m)

Friksjonskoeffisienten for sone 1 er 0,02 (tilsvarende hydraulisk rørruhet $k=0,2\text{mm}$). Verdien leses av grafen i litteraturen fra Hallvard Ødegaard [Vann og avløpsteknikk 2. utgave].

$$Q_{fyllt} = A * V_{fyllt} = A * \sqrt{\frac{\Delta h * D * 2g}{f * l}} = \frac{\pi d^2}{4} * \sqrt{\frac{\Delta h * D * 2g}{f * l}} = \frac{\pi * (0,16\text{m})^2}{4} * \sqrt{\frac{0,62 * 0,16 * 2g}{0,02 * 92,1}} = 0,0207 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 20,7 \text{ l/s}$$

Vi har beregnet $\frac{Q}{Q_{fyllt}}$ ved Brettings formel:

$$\frac{Q}{Q_{fyllt}} = 0,46 - 0,5 \cos\left(\pi * \frac{h}{d_i}\right) + 0,04 \cos\left(\frac{2\pi h}{d_i}\right) = 0,46 - 0,5 * \cos\left(\pi * \frac{0,022}{0,16}\right) + 0,04 \cos\left(\frac{2\pi * 0,022}{0,16}\right) = 0,032$$

Ved å sette verdi for X i ligningen under kan man dermed løse ligningen med hensyn på Q . Verdien vil tilsvare vannmengden i røret på det tidspunktet målingen er tatt.

$$\frac{Q}{Q_{fyllt}} = X$$

Ved å benytte denne formelen vil vi få tilsvarende vannmengde for sone 1 som følge av konstant innlekking.

$$\text{Sone 1: } \frac{Q}{Q_{fyllt}} = X = 0,032 \rightarrow Q = 0,032 * Q_{fyllt} = 0,032 * 20,7 \text{ l/s} = \underline{\underline{0,66 \text{ l/s}}}$$

Vi har fått følgende vannmengder for ulike soner som følge av konstant innlekking:

Sone	l/s	l/døgn	m ³ /år
1	0,66	5688	20764
2	0,18	1524	5564
3	0,15	13155	4801
4	0,33	28283	10323
5	0,01	440	161
6	0,02	2090	763
Totalt	1,34	116099	42376

Nedbørsbetinget innlekking

Den gjennomsnittlige vannhøyden i nedbør har blitt benyttet for beregning av vannmengde som følge av nedbørsbetinget innlekking.

Gjennomsnittlige vannhøyder målt i nedbørsperioder

Inndata vannhøyder		cm	m
Sone 1	15739	2,5	0,025
Sone 2	20358	0,7	0,007
Sone 3	15724	0,2	0,002
	20201 M	0,8	0,008
	20201 V	0,3	0,003
Sone 4	15709 M	0,8	0,008
	15709 V	0,5	0,005
Sone 5	16156 H	0,3	0,003
	15886 øvre	0,1	0,001
Sone 6	15886 H	0,2	0,002

Nedbørsbetinget innlekking sone 1

Vi har beregnet Q_{fylt} tidligere i avsnittet over.

Vi bruker Brettings formel for å bregne $\frac{Q}{Q_{fylt}}$:

$$\frac{Q}{Q_{fylt}} = 0,46 - 0,5 \cos\left(\pi * \frac{h}{d_i}\right) + 0,04 \cos\left(\frac{2\pi h}{d_i}\right) = 0,46 - 0,5 * \cos\left(\pi * \frac{0,025}{0,16}\right) + 0,04 \cos\left(\frac{2\pi * 0,025}{0,16}\right) = 0,0413$$

$$Q_{nedbør} : \frac{Q}{Q_{fylt}} = 0,0413 \rightarrow Q = 0,0413 * Q_{fylt} = 0,0413 * 20,7 l/s = 0,85 l/s$$

Nedbørsbetinget innlekking for sone 1 blir differansen mellom vannmengden i nedbør og tørrvæær:

$$Q_{nedbør} - Q_{tørrvæær} = 0,85 - 0,66 = \underline{\underline{0,19307 l/s}}$$

Oversikt over nedbørmengde og nedbørsvarighet i tidspunkter målingene har blitt gjennomført:

Dato nedbør	timer	mm
28.feb	15	12,4
24.apr	5	2,4
24.apr	5	2,4
Snitt:	8,3	5,7
Snitt:	29880 (s)	5,7

$$\frac{\text{FVmengde}}{\text{Nedbørmengde}} \times \text{årlig nedbør} = \underline{\text{Årlig direkte nFVmengde, direkte innlekk/mm nedbør}}$$

$$\text{Sone 1 får da : } \frac{0,19307\text{l/s} \cdot 29880\text{s}}{5,7\text{mm}} = \underline{\underline{1012 \text{ l/mm nedbør}}}$$

Vi har fått følgende vannmengder som følge av nedbørsbetinget innlekking i ulike soner:

Sone	l/mm nedbør	m ³ /år
1	1012	1245
2	888	1092
3	886	1090
4	430	529
5	240	295
6	0	0
Totalt	3455	4251

Kostnader knyttet til pumping og rensing av fremmedvann som følge av konstant og nedbørsbetinget innlekking

Kostnader knyttet til pumping:

Ut ifra dataene for gangtidene til Holvika pumpestasjonen har gruppen funnet at det brukes 0,012 h/m³ avløpsvann ved pumping fra området. Pumpen har en effekt på 9kwh og det koster 1kr/kwh for energibruk.

$$\text{kosnader knyttet til pumping blir da: } 0,012\text{t/m}^3 * 9\text{kW} * 1\text{kr/kWh} = 0,108 \text{ kr/m}^3$$

Kostnader knyttet til rensing:

Asplan Viak har oppgitt en sannsynlig rensekostnad på 7 kr pr. m³ (se vedlegg 3).

Data	
Pumpekostnad (kr/m ³)	0,108
Rensekostnad (kr/m ³)	7
Årlig nedbør Grimstad (mm)	1230

Kostnader knyttet til pumping og rensing av fremmedvann som følge av konstant innlekking:

Årlige kostnader konstant innlekking				
Sone	Konstant innlekk (m ³ /år)	Pumpekostnad (kr/år)	Rensekostnad (kr/år)	Totalt (kr/år)
1	20764	2243	145348	147591
2	5564	601	38948	39549
3	4801	519	33607	34126
4	10323	1115	72261	73376
5	161	17	1127	1144
6	763	82	5341	5423
Totalt	58468	kr 4 577	kr 296 632	kr 301 209

Kostnader knyttet til pumping og rensing av fremmedvann som følge av direkte nedbørsbetinget innlekking:

Årlige kostnader nedbørsavhengig innlekking					
Sone	Direkte nedbørrinnlekk (m ³ /mm nedbør)	Direkte nedbørrinnlekk (m ³ /år)	Pumpekostnad (kr/år)	Rensekostnad (kr/år)	Totalt (kr/år)
1	1,012	1245	134	8713	8848
2	0,888	1092	118	7646	7764
3	0,886	1090	118	7628	7746
4	0,430	529	57	3702	3759
5	0,240	295	32	2066	2098
6	0,000	0	0	0	0
Totalt			kr 459	kr 29 756	kr 30 215

Fosfor-beregninger

$$FV\% = \left(1 - \frac{Q_a \cdot C_i}{P_{pd}}\right) \cdot 100$$

FV: fremmedvann i renseanlegget [%]

P_{pd} : Produsert fosfor (TOT – P) per personenheter og døgn [mg/pd]

C_i : konsentrasjon av TOT – P i innløpet til renseanlegget

Q_a : mengde produsert avløpsvann per person og døgn [l/pd]

I denne beregningen har vi antatt samlet fosforproduksjon til å være 1,8 g/p*d [Oddvar G. Lindholm]. Vi har også antatt 160l/p*d vannforbruk som er anbefalt av Norsk Vann, noe som gir et mer korrekt bilde enn det tradisjonelle forbruket på 200l/p*d som kan være med og undervurdere andel fremmedvann i avløpsnett.

Gjennomsnittlige Tot-P verdier for ulike soner

Sone	Gjennomsnittlige Tot-P verdier
1	6,1
2	4,6
3	2,9
4	5,1
5	8,8
6	8,9
6	6,8

Fremmedvannsandelen for Sone 1 blir da:

$$FV \% = \left(1 - \frac{\frac{160l}{pe*d} * 6,1mg/ld}{1,8 * 1000 \frac{mg}{pe*d}}\right) = 0,41 = 46 \%$$

Fremmedvannsandelen for ulike soner basert på fortynningsmetoden

Sone	Fremmedvann i prosent
1	46 %
2	59 %
3	74%
4	55 %
5	13 %
6	22%
Utløpskummen	40%

Vedlegg 8

Estimat av innsparing ved
gjennomførelse av tiltak

Årlige innsparing ved gjennomførelse av tiltak

For å få et godt beslutningsgrunnlag og vise at prioriterte tiltak fører til lønnsomhet, har det blitt beregnet Nåverdi og årskostnad basert på NS 3454 «Livsykluskostnader for byggverk, prinsipper og struktur». Teorien bak beregningen av disse faktorene har blitt forklart grundig i delkapittel 3.8.4. investeringskostnader knyttet til ulike tiltak er innhentet fra relevante aktører i næringslivet og offentlig sektor.

Oversikt over kostnader knyttet til prioriterte tiltak

I følge mailen fra Asplan Viak i vedlegg 3, koster fornyelse av avløpsledninger ved graving følgende tall:

Fornyelse av avløpsledninger ved graving	
Stedlig forhold	kotnader kr per.m
Ledningsdimensjoner opp til SP DN 200 utenfor veg	3000
Ledningsdimensjoner opp til SP DN 200 i boliggate	5000
Ledningsdimensjoner opp til SP DN 200 i samleveg	6000

I samarbeid med eksterne veilederen fra Asplan Viak har gruppen kommet til følgende tall ved utskifting av en kum i vei:

Utskifting av kum i vei	kostnad (kr)
inkludert utstyr og mannskap	40000

I følge mailen fra Olimbu i vedlegg xx, koster fornyelse av avløpsledninger ved NoDig metoden følgende tall:

Fornyelse av avløpsledninger ved NoDig metode	
ulike faser	kostnad (kr)
Rigg/ Drift	18500
Forkontroll/ Spylling	80 pr.m
Foring/ Strømpe	910 pr.m
Kvalitetsikring (Rørinspeksjon)	30 pr.m
gjennåpning av grenrør	3500 pr.stk
overpumping	7000

I følge Grimstad kommune bruker kommunen lite kostnader til drift og vedlikehold av avløpssystemet i Holvika. Årsaken til det kan være at avløpssystemet er relativt nytt og trenger lite vedlikehold. Den eneste kostnaden knyttet til vedlikehold er spyling av avledningsnett i sone 1, grunnen ugunstige fall på ledningen. Spylingen gjennomføres en gang i uka med et intervall på halv time ved kum 20201.

Årslønn tariff for fagarbeider 6 år ansiennitet: 339 400,
(http://www.fagforbundet.no/tariff/?article_id=94944).

Ett årsverk er 1 695 timer, som gir en timelønn på 200 kr.
Antar at det koster kommunen 1,5 gang denne summen for å ha personen i arbeid pga. utgifter til forsikring, pensjon og lignende. Derfor timelønn på 300 kr. Antar at kostnader for materiell og utstyr er 0.

0,5 time x 300 x 2 x 52 uker = 15 000 kr pr år

Oversikt over vedlikeholdskostnader for ulike soner

Sone	Vedlikeholdskostnad kr/år
1	15 000
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

Årskostnaden knyttet til hvert tiltak blir sammenlignet i forhold til årlige kostnad knyttet til fremmedvann i tilhørende området og innsparing per år beregnes. Tabellen nedenfor viser årskostnadene knyttet til hvert tiltak når vi tar utgangspunkt i 4% kalkulasjonsrente og en levetid på 100 år. Årskostnader og nåverdier beregnes ved ligning 3,3 og 3,4 som er beskrevet i delkapittel 3.8.3 basert på vedlikehold og investeringskostnader som er beskrevet i vedlegget.

Sone	Tiltak	Investeringskostnader	Nåverdi	Årskostnad	Innsparing kr per år
1	Nytt ledningsnett (tradisjonell graving)	1740000	2121000	86537	69901
	Omlegging av trasé				
2	Fornyelse av ledningsstrek (NoDig)	164220	164220	6700	40613
	Fornyelse av ledningsstrek (tradisjonell graving)	685000	685000	27948	19365
3	Utskifting av utett kum	40000	40000	1632	6114
Utløps-kum	Utskifting av utløpskummen	40000	40000	1632	8368

VEDLEGG 9

SHA-plan

Sikkerhetsrutiner ved målinger i felt og prøvetaking.

Disse kravene stilles til studenter ute i feltarbeid, vedrørende bacheloroppgaver våren 2017.
Områdene hvor testene skal utføres på er Fevik og Holvika i Grimstad kommune.

	Krav	Når
Bekledning	Refleksvest kategori 3	Alltid
Skilting	Varslingskilt som illustrerer veiarbeid som pågår Oransje kjegler Bukk Bil brukes som avgrensning	Alltid
Entring av kum	Skal gjøres ved hjelp av kommune og/eller Asplan Viak	Kun av fagperson ved installasjon av måleutstyr. Aldri alene.
Deltakere	2 eller flere	Alltid
Vannprøver	Bruk av engangshansker Varsomhet rundt selve prøven. Skal etter opphenting, kjøres rett til labben og settes til kjøling. Ingen kontakt med mat/drikke	Alltid

Alle gruppemedlemmer har et eget ansvar vedrørende sikkerhet, og skal før arbeid i felt ha lest igjennom disse prosedyrene. Og plikter seg til enhver tid å følge disse.

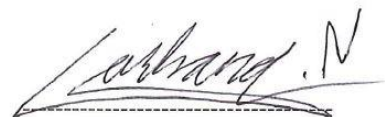
Grimstad 24.01.2017



Ali Reza Heidari



Bjørnar Valle Nygårdseter



Lashand S. Nadarajah

VEDLEGG

10

Nivelleringsdata

UNIVERSITETET I AGDER									
Arbeid: Sone 1				Utført: Ali, Lashand og Bjørnar				Dato: 05.04.2017	
Instrument: Runner 20				Vær: Pent				Side: av:	
Punkt nr.	Siktavst	Avlesning			Høyder			Endelig punkthøyde	Kommentar
		BS (+)	MS (-)	FS (-)	Instr	Punkt	Feilutjevning		
15739		4.674							
	92.1								
15690				4.056					
SUM	92.1	4.674		4.056					
H.F.		0.618							

UNIVERSITETET I AGDER									
Arbeid: Sone 2				Utført: Ali, Lashand og Bjørnar				Dato: 05.04.2017	
Instrument: Runner 20				Vær: Pent				Side: av:	
Punkt nr.	Siktavst	Avlesning			Høyder			Endelig punkthøyde	Kommentar
		BS (+)	MS (-)	FS (-)	Instr	Punkt	Feilutjevning		
16159		1.778					26.580		
	28.7								
15882 bunn				2.886			25.472		
SUM	28.7	1.778		2.886					
H.F.		-1.108							

UNIVERSITETET I AGDER									
Arbeid: Sone 3				Utført: Ali, Lashand og Bjørnar				Dato: 04.04.2017	
Instrument: Runner 20				Vær: Lett regn				Side: av:	
Punkt nr.	Siktavst	Avlesning			Høyder			Endelig punkthøyde	Kommentar
		BS (+)	MS (-)	FS (-)	Instr	Punkt	Feilutjevning		
20201 V		6.620							
	38.9			0.131					
1		3.881							
	27.1			0.120					
2		2.335							
	13.1								
20212				2.372					
SUM	79.1	12.836		2.623					
H.F.		10.213							
20201 M		4.933							
	41.6								
20202				2.521					
SUM	41.6	4.933		2.521					
H.F.		2.412							

UNIVERSITETET I AGDER										
Arbeid: Sone 6					Utført: Ali, Lashand og Bjørnar					Dato: 05.04.2017
Instrument: Runner 20					Vær: Pent					Side: av:
Punkt nr.	Siktavst	Avlesning			Høyder			Endelig punkthøyde	Kommentar	
		BS (+)	MS (-)	FS (-)	Instr	Punkt	Feilutjevning			
15886 H		3.932								
	45.2									
15885				3.553						
SUM	45.2	3.932		3.553						
H.F.		0.379								

Vedlegg 11

Antall km ledningsnett per
sone

Antall km ledningsnett pr sone						
Sone	Km rørledning					
1	1,46					
2	1,44					
3	0,55					
4	1,93					
5	0,96					
6	0,66					
Totalt	7,00					
Rørlengde pr. sone						
	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4	Sone 5	Sone 6
	97,22	17,62	79,03	113,47	101,36	46,72
	75,75	36,35	41,46	25,54	29,87	78,11
	35,57	13,07	67,24	79,32	23,75	21,59
	10,92	54,29	56,35	61,76	41,07	77,9
	9,77	5,24	82,51	53,89	47,75	65
	71,54	64,05	43,07	38,66	18,18	49,4
	32,47	53,19	21,55	81,63	15,38	31,39
	78,35	30,88	64,56	57,15	35,72	49,4
	40,61	81,32	45,94	46,99	54,74	107,24
	31,88	38,78	48,16	66,79	39,98	38,46
	9,78	51,67		59,32	59,67	22,78
	31,25	46,63		68,24	66,3	73,95
	46,24	20,07		44,04	81,62	
	28,49	16,52		38,16	31,67	
	13,99	19,45		87,21	57,87	
	47,61	22,93		41,94	31,09	
	58,06	51,75		19,08	24,36	
	71,36	50,91		36,96	32,64	
	71,69	7,81		62,65	42,83	
	60,38	27,67		41,31	51,82	
	32,48	16,82		49,74	67,88	
	42,78	20,97		70,24		
	23	50,62		48,23		
	26,44	17,18		32,42		
	13,36	136,09		79,15		
	102,78	39,53		45,44		
	45,11	49,56		24,05		
	52,89	90,49		74,07		
	39,01	112,59		12,68		
	4,87	92,86		119,39		
	76,62	46,64		104,35		
	69,12	42,76		42,6		
	11,61	9,5		55,75		
				45,98		
Totalt, m	1463	1436	550	1928	956	662
Totalt, km	1,46	1,44	0,55	1,93	0,96	0,66