

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



## Forord

Denne masteroppgaven er et resultat av en fremmedvannsstudie, utredet med støtte fra Oslo kommune Vann- og avløpsetaten, i forbindelse med avslutning av mitt fem-årig mastergradstudium i vann- og miljøteknikk ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, institutt for matematiske realfag og teknologi høsten 2013. Masteroppgavens omfang tilsvarer 30 studiepoeng.

Problemstillingen til dette arbeidet har vært å kartlegge hvordan etablerte undersøkelser som måle- og inspeksjonsteknologi, feltundersøkelser og simuleringer være med på å avdekke fremmedvannskilder i aldrende avløpsnett og benyttes i planlegging for fremmedvannsreducerende tiltak.

Arbeidet med oppgaven har vært krevende og utfordrende, men like fullt ut en lærerik prosess. Det har vært et spennende og lærerikt høstsemester.

Spesielt vil jeg få takke Magnus Olsen, Alexander Pham, Thomas Martinsen for god hjelp underveis.

Takk også til biveilederne Geir Lindholm (Rosim As), som stilte ROSIE-programvaren til disposisjon, og Arnhild Helene Krogh (Oslo VAV) for å ha gitt meg muligheten og økonomiske midler til å gjennomføre studien.

I tillegg har følgende personer som besvarte spørreundersøkelsen bidratt:

- Arnhild Helene Krogh, veileder og seksjonsleder i strategi og utvikling Oslo VAV
- Bjørn Zimmer Jacobsen, rådgiver bymiljø og utbygging (VA) i Stavanger kommune
- Jean-Pierre Silan, Association Intercommunale pour le Demergement Et l'epuration des communes de la province de Liege, Belgique (A.I.D.E.)
- Marit Aase, fagansvarlig avløpshåndtering i Bergen kommune
- Tuija Laakso, Aalto University, Finland

Oslo, 15. Desember 2013  
Christopher Gehrken Strauman

## Sammendrag

Vann- og avløpssektoren er en kritisk og sårbar infrastruktur. Norske avløpssystemer utsettes daglig for store mengder fremmedvann som lekker inn gjennom utette skjøter, sprekker, avløpskummer og ulike feilkoblinger. Fremmedvann i avløpsledningsnett er av mange norske kommuner ansett som et betydelig samfunnsproblem, med konsekvenser av både miljømessig, økonomisk og helsemessig karakter.

Fremmedvann er i denne studien definert som alt vann som ikke er spillvann, og utgjør et sammensatt fenomen i et komplekst avløpssystem bestående av ledninger, pumper, ventiler med mer.

Det gjøres en sammenligning av to ulike avløpssoner med målt høy fremmedvannsandel, basert på en tidligere studie av 37 utvalgte avløpsfelt i Oslo kommune av Msc Manuel Franco Torres våren 2013. Torres (2013) kom frem til at den gjennomsnittlige fremmedvannsandelen var 56,1 prosent av totalvolumet, og at fremmedvannsmengdene hadde store variasjoner i tid, rom og kilde.

Denne studien vektlegger å undersøke forholdet mellom fremmedvannsmengdene og avløpssonenes egenskaper, som innebærer å utforske lokale forhold og viktige feltparametre som topografi, fordeling av overvann, drensvann, grunnvannsnivå, grunnforhold, tette flater, taknedløp, andre påslipp etc.

Avløpssonene avgrenses ytterligere for arbeid på detaljnivå, og undersøkelser som måle- og inspeksjonsteknologi, feltundersøkelser og simuleringer evalueres i et forsøk på å avdekke fremmedvannskilder og bestemme fremmedvannsreducerende tiltak.

Mulige tiltak kan være overvåkning og tilsyn av risikoledninger for å ha kontroll med tilstandsutviklingen, for eksempel gjennom kontinuerlig bruk av rørinspeksjoner. Lokal overvannsdisponering (LOD) og frakobling av tette flater anses som effektive for å redusere overløpsdrift, oppstuvninger, kjelleroversvømmelser og spissbelastningen på avløpsrenseanlegget ved nedbør. Prioritere stikkledninger og sanitærinnstallasjoner med å fjerne feilkoblinger, samt jobbe med lekkasjesøking på drikkevannsledningsnett vil være gode tiltak for å redusere fremmedvannsmengden.

Hovedfunnet i denne studien er at den konstante innlekkingen er den størst betydende fremmedvannskomponenten og at avrenningen fra tette flater bare utgjør en liten brøkdel sett i et lengre perspektiv. Observert høy fremmedvannsmengde i store deler av avløpsledningsnett som har vært undersøkt vil tilsa at det vil være kostnadskrevenne å gjøre tiltak. Kostnadene vil etter all sannsynlighet overskride nytten dersom det skal utføres rehabilitering av avløpsledningsnett på grunn av høy fremmedvannsmengde alene.

## English summary

Water and sewerage systems is a critical and vulnerable infrastructure. Norwegian sewer pipes are daily exposed to large amounts of inflow and infiltration (I/I) water, that enters through defective joints, cracked pipes, sewer basins and various incorrect connections. I/I water is by many Norwegian municipalities considered a significant social problem, with consequences in environmentally, economically and medically character.

I/I water refers in this study to all wastewater in the collection systems that is not sewer, forming as a complicated issue in a complex wastewater collection system consisting of pipes , pumps , valves and more.

In this study, I will do a comparison of two different drainage areas with high I/I water ratio, based on a previous study of 37 selected drainage fields in Oslo by M.Sc Manuel Franco Torres during spring 2013. Torres (2013) found that the average I/I water ratio was 56.1 percent of the total volume, and that the amount of I/I water had large variations in time, space and source.

My study focuses on examining the relationship between I/I water quantities and drainage areas properties, which means exploring local conditions and important field parameters such as topography, distribution of surface water, drainage water, groundwater level, soil conditions, impervious surfaces, roof drainage pipes and other discharges etc.

Two of Torres's (2013) selected drainage fields delineated for further work in detail, so that investigations measuring and inspection technology, field studies and simulations can be evaluated in an attempt to uncover I/I water sources and determine reducing measures.

Potensial action may include continuous use of pipeline inspection and monitoring leakages. Local stormwater disposal and disconnection of impervious surfaces considered effective for reducing overflow operations, basement flooding and peak load on the wastewater treatment plant by rainfall. Prioritize service lines and sanitary installations by removing incorrect connections, as well as working with leak detection in water systems will be good measures to reduce I/I water volumes.

The main finding of this study is that additional flow is the most considerable I/I water component, and that runoff from impervious surfaces constitute only a small fraction seen in a longer perspective. Observed high amount of I/I water in large parts of the sewerage network would suggest that it would be costly to implement measures. The costs will most likely exceed the benefits if properly executed rehabilitation of sewerage network due to the high amount of water penetration alone.



# Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
English summary .....	III
Innholdsfortegnelse .....	V
Figurliste .....	VIII
Tabelliste .....	X
Del I: Introduksjon .....	1
1. Innledning .....	3
1.1. Bakgrunn og målsetting .....	3
1.2. Historisk utvikling av kommunale avløpsløsninger i Oslo .....	6
1.3. Vann- og avløpsetaten .....	7
1.4. Avgrensning og problemstilling .....	8
1.5. Disposisjon .....	8
2. Avløpsledningsnett .....	9
2.1. Systemutforming .....	9
2.2. utfordringer .....	10
2.2.1. Urbanisering og befolkningsvekst .....	10
2.2.2. Klimatilpasning .....	10
2.2.3. Ledningsnettfornyelse .....	11
2.2.4. Rekruttering og FoU .....	12
3. Fremmedvann .....	13
3.1. Definisjon av fremmedvann .....	13
3.2. Fremmedvannskomponenter og kilder .....	15
3.3. Konsekvenser av fremmedvann .....	19
3.3.1. Samfunnsmessige aspekter .....	19
3.3.2. Økonomiske aspekter .....	20
3.3.3. Miljøaspekter .....	21
3.3.4. Positive aspekter .....	21
3.4. Status på fremmedvannsproblemet .....	22
3.4.1. Norske kommuner .....	22
3.4.2. Utlandet .....	24
Del II: Arbeidsmetodikk .....	25
4. Utvelgelse og inndeling av studiens avløpssoner .....	27
4.1. VMAL8_S2 .....	29
4.2. VMAL9_S5 .....	30
5. Modellering fremmedvann .....	31
5.1. Generelt om modeller .....	31
5.2. Mouse Runoff Calibrator / RDII .....	33

5.3.	Modeloppbygning .....	33
5.3.1.	Bestemmelse av hydrologisk betinget fremmedvann .....	34
5.3.2.	Bestemmelse av konstant innlekking og spillvannsbidrag .....	36
5.4.	Datagrunnlag for modellen .....	37
5.4.1.	Vannføringsdata .....	38
5.4.2.	Døgnvariasjoner .....	40
5.4.3.	Meteorologiske data .....	41
5.4.4.	Spesifikk informasjon om avrenningsområdet .....	44
5.4.5.	Informasjon om avløpsledningsnettets .....	45
5.5.	Bearbeidelse av modellen .....	45
5.5.1.	Kalibrering .....	45
5.5.2.	Simulering .....	46
6.	Feltundersøkelse: Lekkasjesøking fremmedvann .....	47
6.1.	Kartlegging av dreneringstilkoblinger på avløpsledningsnettets og grunnvannsstand .....	48
6.2.	Visuell kuminspeksjon .....	52
6.3.	Momentanmåling av vannføring .....	53
6.3.1.	Posemetoden .....	53
6.3.2.	Hastighet-areal metoden .....	54
6.3.3.	Tørrværs- og regnværsvannføring .....	58
6.4.	Kildesporing med fosfor- og ammoniummetoden .....	59
6.4.1.	Fosfor .....	60
6.4.2.	Ammonium .....	60
6.5.	Rørinspeksjon .....	62
6.6.	Kontroll av nattvannforbruket .....	65
6.7.	Andre potensielle lekkasjesøkingemetoder, men som ikke har kunnet gjennomføres .....	65
6.7.1.	Trykkreduksjon på drikkevannsledningsnettets .....	65
6.7.2.	Kildesporing med hensyn på klor .....	66
Del III:	Resultater og diskusjon .....	67
7.	Beskrivelse av studiens utvalgte avløpssoner .....	69
7.1.	Geografiske egenskaper i studiens avløpssoner .....	69
7.1.1.	Tette flater og bebyggelse .....	69
7.1.2.	Grunnforhold .....	70
7.2.	Avløpsledningsnettets egenskaper i studiens avløpssoner .....	71
7.2.1.	Systemtype .....	71
7.2.2.	Stikkledninger .....	72
8.	Modellering fremmedvann .....	74
8.1.	Simulering .....	74
8.1.1.	Datainnsamling .....	75
8.1.2.	Kontroll av måledata .....	76

8.1.3.	Kalibrering .....	78
8.1.4.	Komponentfordeling fremmedvann .....	79
8.1.5.	Total fremmedvannsmengde.....	80
9.	Lekkasjesøking fremmedvann .....	81
9.1.	Kontroll av grunnvannsstand .....	81
9.2.	Visuell kuminspeksjon.....	82
9.3.	Momentanmåling av vannføring .....	86
9.5.	Rørinspeksjon .....	97
9.5.1.	Tilstandsklasser .....	97
9.5.2.	Ledningsalder .....	99
9.5.3.	Materialer.....	101
9.6.1.	Kontroll av nattvannforbruket .....	103
Del IV:	Avslutning .....	105
10.	Sammenlikning av tre metoder for fremmedvannsberegninger.....	107
11.	Mulige tiltak for fremmedvannsreduksjon .....	108
11.1.	Reduksjon av direkte nedbørbetinget fremmedvann .....	108
11.2.	Reduksjon av konstant innlekking .....	108
11.2.1.	Tette avløpsledninger og kummer .....	108
11.2.2.	Avskjærende drenering .....	109
11.3.	Reduksjon av annen innlekking .....	109
11.3.1.	Drikkevannslekkasjer.....	109
11.3.2.	Feilkoblinger og ikke-virksomme separatsystemer.....	109
11.3.3.	Frakobling av taknedløp .....	110
12.	Konklusjon .....	111
Litteratur.....		113
Vedlegg A.....		118
Vedlegg B.....		119
Vedlegg C.....		120
Vedlegg D.....		121
Vedlegg E.....		122
Vedlegg F.....		123
Vedlegg G.....		124
Vedlegg H.....		125
Vedlegg I.....		126



## Figurliste

Figur 3.1.1. Skjematisk inndeling av avløpsvannets komponenter etter den første definisjonen (adaptert fra Olsen & Torres 2013) .....	13
Figur 3.1.2. Skjematisk inndeling av avløpsvannets komponenter etter den andre definisjonen (adaptert fra Olsen & Torres 2013) .....	14
Figur 3.2.1. Fremmedvannskomponenter .....	15
Figur 3.2.2. Skjematisk framstilling av vannføring og komponentfordeling på et typisk avløpsledningsnett før, under og etter en nedbørshendelse (Abry 1997).....	16
Figur 3.4.1. Oslovassdragene (Oslo Elveforum 2013) .....	27
Figur 3.4.2. Studiens utvalgte avløpssoner (adaptert fra Torres 2013) .....	28
Figur 4.1.1. Avgrensning av VMAL8_S2 (adaptert fra Torres 2013) .....	29
Figur 4.2.1. Avgrensning av VMAL9_S5 (adaptert fra Torres 2013) .....	30
Figur 5.3.1. Flytdiagram for hydrologisk betinget fremmedvann (DHI 2008, oversatt av Torres 2013).....	36
Figur 5.4.1. ADS Model 3600 (Foto: Christopher Strauman).....	39
Figur 5.4.2. Figuren illustrerer ADS-målerens måleprinsipp (Foto: Christopher Strauman) .....	39
Figur 5.4.3. Døgnvariasjonskurve for spillvannsproduksjonen. Den horisontale akse representerer tiden på døgnet og den vertikale akse er middeltimfaktor.....	41
Figur 5.4.4. Meteorologiske tidsserier nødvendig for simulering av vannføring.....	41
Figur 5.4.5. Installering av mobil nedbørsmåler av typen Casella 100000E på takflate Nordre Aker skole i Oslo (Foto: Christopher Strauman) .....	43
Figur 6.1.1. Kurver som illustrerer typiske grunnvannsfluktuasjoner over året i ulike områder (NVE 2009).....	48
Figur 6.1.2. Lav bebyggelse bestående av leiligheter og vertikaldelte boliger i Ullevål Hageby fra tidlig 1900-tallet, med grunne kjellere. (Foto: Christopher Strauman) .....	50
Figur 6.1.3. Peilebrønn for grunnvannsstandmåling (poretrykk) ved John Collets Plass i Oslo, VMAL9_S5 (Foto: Christopher Strauman) .....	51
Figur 6.3.1. Utførelse av posemetoden i felt (Foto: Alexander Pham) .....	54
Figur 6.3.2. Dyp pose med stiv kant for vannføringsmåling (Foto: Alexander Pham) .....	54
Figur 6.3.3. Ultralyd vannhastighetsmåler (Foto: Christopher Strauman).....	55
Figur 6.3.4. Propellmåler (Foto: Christopher Strauman) .....	55
Figur 6.3.5. Ett-punktsmetoden.....	56
Figur 6.3.6. Tre-punktsmetoden .....	56
Figur 6.3.7. Fire-punktsmetoden .....	56
Figur 6.5.1. Begroing i avløpsledningsnettet i VMAL9_S5, Prestegårdsveien i Oslo. ....	63
Figur 7.1.1. Kart over kvartærgeologisk kart som omfatter studiens avløpssoner (NGU 2013).....	70
Figur 7.2.1. Fordeling av systemtype i VMAL8_S2 (t.v.) og VMAL9_S5. Rød markerer fellessystemer og grønn separatsystemer. ....	72
Figur 7.2.2. Anboring av stikkledning på kommunal hovedledning (Stavanger kommune 2013).....	73
Figur 8.1.1. Sammenlikning av simulert- og målt vannføring i VMAL8_S2, oktober-november 2013.....	74
Figur 8.1.2. Sammenlikning av simulert- og målt vannføring i VMAL9_S5, oktober-november 2013.....	75
Figur 8.1.4. Spredningsplott av vannhastighet (V) mot vannivå (H) for VMAL8_S2 .....	77
Figur 8.1.5. Spredningsplott av vannhastighet (V) mot vannivå (H) for VMAL9_S5 .....	77
Figur 9.1.1. Overvåking av grunnvannsstand i Oslo kommune 1954-2012 (Oslo VAV, 2013).....	81
Figur 9.2.1. Ny avgrensning av avløpssonen VMAL8_S2. Område markert i brunt viser tillagt areal som faller inn under den nye avgrensningen av avløpssonen.....	82
Figur 9.2.2. Fordelingskum SID: 3993, VMAL8_S2 (Foto: Christopher Strauman) .....	82
Figur 9.2.3. Fordelingskum SID: 133591, VMAL8_S2 (Foto: Christopher Strauman).....	83
Figur 9.2.4. Påvist innlekkasje i kumvegg (SID: 248871) VMAL9_S5 ifm. feltundersøkelsen .....	85

Figur 9.3.1. Kart av målestrekkene i VMAL8_S2 .....	87
Figur 9.3.2. Kart over målestrekkene i VMAL9_S2 .....	87
Figur 9.3.3. Eksempel på beregning av vannføring i et målepunkt med tilknytning til andre målestrekk .....	88
Figur 9.6.2. Fosforkonsentrasjoner i VMAL9_S5 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnett .....	93
Figur 9.6.1. Fosforkonsentrasjoner i VMAL8_S2 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnett .....	93
Figur 9.6.4. Ammoniumkonsentrasjoner i VMAL9_S5 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnett .....	95
Figur 9.6.3. Ammoniumkonsentrasjoner i VMAL8_S2 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnett .....	95
Figur 9.4.2. Temakart som illustrerer de ulike tilstandsklassene som avløpsledningene i VMAL9_S5 er tildelt .....	97
Figur 9.4.1. Temakart som illustrerer de ulike tilstandsklassene som avløpsledningene i VMAL8_S2 er tildelt .....	97
Figur 9.4.3. Sammenlikning av ulike tilstandsklasser på avløpsledningsnett (VMAL8_S2 til venstre og VMAL9_S5 til høyre) .....	99
Figur 9.4.5. Konstruksjonsår og rehabilitering av ledningsanlegg i VMAL9_S5 .....	99
Figur 9.4.4. Konstruksjonsår og rehabilitering av ledningsanlegg i VMAL8_S2 .....	99
Figur 9.4.7. Temakart over gjennomsnittlig konstruksjons- og renoveringsår av avløpsledningsnett i VMAL9_S5 .....	100
Figur 9.4.6. Temakart over gjennomsnittlig konstruksjons- og renoveringsår av avløpsledningsnett i VMAL8_S2 .....	100
Figur 9.4.8. Materialvalg i VMAL9_S5 .....	101
Figur 9.6.1. Målt vannføring i tørrværsdøgn for VMAL8_S2 .....	103
Figur 9.6.2. Målt vannføring i tørrværsdøgn for VMAL9_S5 .....	103

## Tabelliste

Tabell 3.2. Fremmedvannskomponenter med tilhørende hovedkilder.....	18
Tabell 3.3. Ulike problemtyper som følge av for mye fremmedvann (Lindholm 2012) ....	19
Tabell 5.1. Inndelinger av matematiske modeller (Lindholm 2012) .....	32
Tabell 5.2. Utdrag fra Kalibreringsveileder (Rosim AS 2012) .....	38
Tabell 6.1. Sammenheng mellom konsekvensnivå og tilstandsklasse, angitt med fargekoder og beskrivelse av tilstand (Adaptert fra Nilo et al. 2012) .....	65
Tabell 7.1. Oversikt over systemtype for studiens avløpssoner .....	71
Tabell 8.1. Datainnsamling til bruk i RDII-modellen for VMAL8_S2 .....	76
Tabell 8.2. Datainnsamling til bruk i RDII-modellen for VMAL9_S5 .....	76
Tabell 8.3. RDII-innstillingene for simuleringen .....	78
Tabell 8.4. Resultater RDII-modellen for VMAL8_S2 .....	79
Tabell 8.5. Resultater RDII-modellen for VMAL9_S5 .....	80
Tabell 8.6. Sammenlikning av beregnede fremmedvannsmengder for studiens avløpssoner med Torres (2013) sine resultater i parentes .....	80
Tabell 9.1. Momentanmålinger av vannføring i VMAL8_S2 .....	86
Tabell 9.2. Momentanmålinger av vannføring i VMAL9_S5 .....	86
Tabell 9.3. Stipulert spillvannsbidrag i VMAL8_S2 .....	87
Tabell 9.4. Stipulert spillvannsbidrag i VMAL9_S5 .....	87
Tabell 9.5. Beregninger av adskilte fremmedvannsmengder med hensyn på spesifikk spillvannsproduksjon ( $Q_{s,pers}$ ) og målt vannføring ( $Q_{m\ddot{a}lt}$ ) i VMAL8_S2.....	89
Tabell 9.6. Beregninger av adskilte fremmedvannsmengder med hensyn på spesifikk spillvannsproduksjon ( $Q_{s,pers}$ ) og målt vannføring ( $Q_{m\ddot{a}lt}$ ) i VMAL9_S5.....	89
Tabell 9.7. Beregninger av samlede fremmedvannsmengder med hensyn på spesifikk spillvannsproduksjon ( $Q_{s,pers}$ ) og målt vannføring ( $Q_{m\ddot{a}lt}$ ) i VMAL8_S2.....	90
Tabell 9.8. Beregninger av samlede fremmedvannsmengder med hensyn på spesifikk spillvannsproduksjon ( $Q_{s,pers}$ ) og målt vannføring ( $Q_{m\ddot{a}lt}$ ) i VMAL9_S5.....	90
Tabell 9.9. Oppsummering av resultatet av tilstandsvurderingen for studiens avløpssoner. Tilstandsvurderingene er utført av Oslo VAV Funksjon tiltak avløp ved Mathilde Stoskopf i 2008-2010. ....	98
Tabell 9.10. Prøveresultatene fra Oslo VAVs laboratorium på parameteren fosfor..... <b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>	
Tabell 9.11. Fremmedvannsberegninger med hensyn på fosforkonsentrasjoner .....	<b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>
Tabell 9.12. Prøveresultater fra laboratoriet på parameteren ammonium . <b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>	
Tabell 9.13. Fremmedvannsberegninger med hensyn på ammoniumkonsentrasjoner <b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>	
Tabell 10.1. Sammenlikning av momentanmåling, fosfor- og ammoniummetoden for fremmedvannsberegninger .....	107

# **Del I: Introduksjon**



# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn og målsetting

Fremmedvann i avløpsledningsnett er et betydelig samfunnsproblem, og medfører store unødvendige forurensninger, økte driftskostnader og større anleggsinvesteringer enn det normalt burde vært behov for. Dette må finansieres av forbrukerne/abonnentene gjennom økte vann- og avløpsgebyrer eller ved at vedlikeholdet det er behov for opphører og avløpssystemet dermed forfaller. Fremmedvannet øker den hydrauliske belastningen på avløpsrenseanleggene, og samtidig opptar mye kapasitet i transportsystemet slik at overløpsdriften øker. Hyppigere og større overløpsmengder betyr økt forurensningsutslipp til vannforekomstene, noe som er svært uheldig og miljøødeleggende. På grunn av fremmedvann må ledninger, pumpestasjoner og avløpsrenseanlegg oppdimensjoneres for en kapasitet langt over det som ellers ville vært nødvendig. Sett i forhold til mange andre vestlige land har Norge en meget høy fremmedvannsandel i avløpsledningsnett (Lindholm et al. 2012a).

Vann- og avløpsledningsnett er en av de viktigste og mest verdifulle infrastrukturen i Norge og har en total lengde på 97 000 km, som tilsvarer to ganger distansen rundt jorda ved ekvator, og består av vannledninger (VL), spillvannsledninger (SP), overvannsledninger (OV) og avløp fellesledninger (AF).

Overvann fra fellesavløpssystemer må kunne regnes som fremmedvann ettersom overvann på avløpsrenseanlegg er uønsket selv om det er planlagt. Det vil likevel være lurt å skille dette fra annet fremmedvann. På den måten kan fremmedvann karakteriseres å være alt vann som transporteres i avløpsledningsnett som ikke er spillvann. Dilemmaet rundt definisjonen av fremmedvann tydeliggjøres i avsnitt 3.1.

Gjenskaffelsesverdien for vann- og avløpsinfrastrukturen i Norge er estimert av Norsk Vann (tidligere NORVAR) til å være om lag 1000 milliarder norske kroner, eller tilsvarende 40 prosent av Norges bruttonasjonalprodukt, hvorav vann- og avløpsledningsnett er omtrentlig likt fordelt mellom hverandre (Ødegaard 2012). Kvaliteten på kommunale vann- og avløpstjenester i Norge er meget god, men det er derimot det voksende vedlikeholdsetterslepet på ledningsnett som er bekymringsfullt. Med en lekkasjeandel på hele 40-50 prosent på vannledningsnett, er det åpenbart ett stort behov etter ledningsfornyelse for dermed å kunne redusere lekkasjetapet. Det er beregnet et investeringsbehov på hele 490 milliarder norske kroner frem til 2030, hvor ledningsnett utgjør nærmere 90 prosent av investeringene (Norsk Vann 2013c). Utskiftelsestakten er i dag for lav, som resulterer i vannlekkasjer og utslipp av forurenset vann til naturen. Tilsynsmyndighetene varsler strengere krav til fornyelse av denne viktige infrastrukturen. Vannbransjen står også ovenfor en rekke utfordringer med å tilpasse seg klimaendringene, blant annet må en sørge for å håndtere stadig mer ekstreme nedbørshendelser. (Norsk Vann 2013c)

Ledningsnett skal fornyes mest mulig bærekraftig og økonomisk. Det setter krav til styrking av utdanning og FoU, smarte innkjøp og mer bruk av gravefrie løsninger

(nodig). Abonnementen må også være villig til å betale noe mer for vann- og avløpstjenestene i årene fremover. (Norsk Vann 2013c)

Denne masteroppgaven er et bidrag til Oslo kommune Vann- og avløpsetatens (Oslo VAVs) arbeid med fremmedvannsreducerende tiltak jfr. hovedplan avløp og vannmiljø 2013-2030. Hensikten med hovedplanen er i første rekke ment som et overordnet styringsverktøy ved å samle, konkretisere og prioritere mål for kommunens tiltak innenfor områdene avløp og miljø. Videre er hovedplanen et verktøy for å vurdere mål, strategier og tiltak i en helhetlig og økonomisk sammenheng. Hovedplanen revideres hvert fjerde år tilpasset revideringen av kommuneplanen.

I denne studien gjøres en sammenligning av to ulike avløpssoner med målt høy fremmedvannandel, basert på Msc Manuel Franco Torres sine resultater i sin masteroppgaveavhandling ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) våren 2013: «*Fremmedvann i Oslo kommune: evaluering av fremmedvannets volum, kilder og sammenheng med målbare egenskaper til avløpsnett*».

Torres (2013) utførte ved hjelp av modelleringsprogramvaren ROSIE og dens tilleggsmodul Rainfall-Dependent Infiltration and Inflow (RDII), utviklet av teknologibedriften Rosim AS til bruk for vann- og avløpsnettberginger tilpasset norske forhold, en analyse av 37 utvalgte avløpsfelt i Oslo kommune. Torres (2013) brukte så resultatene fra analysen til å estimere fremmedvannsmengder i hver av disse feltene og mulige fremmedvannskilder fra både konstante og nedbørsbetingede bidrag. Torres (2013) konkluderte i sin studie med en gjennomsnittlig fremmedvannandel tilsvarende 56,1 prosent av totalvolumet, det vil si en spesifikk vannføring tilsvarende ca. 1,56 liter per sekund og avløpsledning. Hovedfunnet av hans studie er at fremmedvannsmengder er meget variable og vanskelig å forutsi ut i fra feltets målbare, parametre ettersom flere komponenter har stor variasjon i rom, tid og kilde (Torres 2013).

De to avløpssonene som er valgt ut til denne studien er relativt små med homogene egenskaper innenfor sine grenser. Dette er gjort for å gjøre arbeidet med å tilegne oversikt over hva som foregår i de aktuelle områdene lettere; type spillvannsproduksjon, fordeling av overflateavrenning etc. Undersøkelse av avløpsnettets egenskaper som materiell, alder og dimensjoner i hver av de to aktuelle avløpssonene tas også med. Tidligere utførte rørinspeksjoner benyttes for å avdekke den faktiske tilstanden til avløpsnettledningene. Avløpssonene er derfor valgt slik at det finnes godt tilgjengelig rørinspeksjonsdata. Dersom det er utført nylig renovering, i etterkant av Torres sitt datagrunnlag i sin studie, kan fremmedvannsmengdene før og etter tiltak sammenlignes.

Norske forhold vil være interessante å sammenligne med utenlandske byer der fremmedvannsmengden er antatt lavere.

Denne studien vil være en videreføring av Torres (2013) sitt arbeid i et forsøk på å finne sammenhenger mellom fremmedvannsmengder og innlekkasjer på avløpsledningsnett.

Formålet med studien er først og fremst å bidra med kunnskap knyttet til forholdet mellom fremmedvannsmengder og innlekkasjer på avløpsledningsnettet. Dette innebærer utforsking av lokale forhold og viktige feltparametre som topografi, fordeling av overvann, drens vann, grunnvannsnivå, grunnforhold, tette flater, andre påslipp etc.

Målsettingen er å kartlegge og evaluere ulike undersøkelsesmetoder for å finne kildene til fremmedvann. Det er først når en har funnet kildene at en kan ha mulighet til å utbedre tiltak. Undersøkelsesmetodene beskrives slik at det gir klarhet i metodenes styrker og svakheter, tidsomfang og i en viss grad kostnader. Ulike muligheter for fremmedvannsreducerende tiltak skal også belyses.

Fremmedvann er et fenomen som det er knyttet for lite kunnskap om, hvordan det oppstår og hvilke målbare egenskaper ved avløpsledningsnettet som bidrar. Metodene som i dag benyttes for å estimere fremmedvannsmengder er både unøyaktige, kostbare og tidkrevende. Det vil være nødvendig å utvikle nye effektive metoder med langt større sikkerhet og bedre tilgjengelighet for mindre kommunale vann- og avløpsverk med begrensede faglige og økonomiske ressurser. Med denne studien vil jeg belyse fenomenet og foreslå tiltak. Jeg håper denne studien vil være interessant for norske kommuner i deres arbeid med å vurdere ulike tiltak på avløpsledningsnettet og at mitt arbeid kan være nyttig for fremtidige avløpsstrategier.



## 1.2. Historisk utvikling av kommunale avløpsløsninger i Oslo

Allerede tidlig på 1600-tallet kunne Christianias (Oslos) innbyggere forsynes med drikkevann gjennom en trerørsledning som ledet vann fra Akerselva og inn til byen. Det var ingen plan for avløpshåndtering fra husholdninger, og etter hvert fra næring og industri, så avløpet ble derfor ledet rett ut i rennesteinene og i gatene sammen med regnvannet. Rennesteinene var i utgangspunktet etablert i den hensikt å lede overskuddsvann fra vannpostene og ut til nærmeste bekkeløp. Dette førte til en rekke pest og kolera epidemier som tæret hardt på innbyggerne.

Som følge av den industrielle revolusjonen i Norge på 1800-tallet, opplevde Christiania en kraftig ekspansjon og befolkningsvekst. Ny industri etablerte seg strategisk langs den største og viktigste vannkilden i byen, Akerselva. For å dekke etterspørselen etter drikkevann ble Nyverket vannverk bygget i 1836. Vannforsyningen tok også en ny retning med bruk av nye teknologiske utviklinger som innebar vanntransport i trykksatte støpejernsrør. En konsekvens av et større forbruk av vann var at avløpsmengdene eskalerte, og byen trengte derfor systemer som var kapable til å håndtere denne store mengden avløpsvann.

På midten av 1800-tallet besluttet byens myndigheter om å investere i et kloakksystem. Oppbygning av et godt fungerende avløpssystem ble pekt ut som et essensielt nødvendig tiltak for å bevare den norske folkehelsen. De tidligste avløpssystemene i Christiania bestod av nedgravde avløpsrenner og lukking av bekker der avløpsvannet fritt kunne renne under overflaten uten sjenanse for innbyggerne. Spillvannet ble tradisjonelt ledet til de naturlige vannveiene i byen sammen med overvannet og videre ført ut urensset i nærmeste resipient og til slutt ut i Oslofjorden. Tanken om å blande forurenset vann med større mengder ble ansett som god, ettersom fortyningen gjorde problemet mindre synlig. I tillegg ble det vurdert at resipientene hadde tilstrekkelig kapasitet for å håndtere og rense forurensningen.

Overgangen fra tørrklosetter til vannklosetter kom til Christiania rundt 1860 og ble ansett som et stort fremskritt, likevel tok det noen før man forstod omfanget av en slik tilsynelatende enkel løsning som medførte store og kostbare miljødeleggelser. Vannkvaliteten i Oslofjorden ble gradvis forverret, og på begynnelsen av 1900-tallet var indre Oslofjord stengt for bading og fiske. Som en konsekvens av ringvirkningene bak denne avløpsløsningen ble det nødvendig å rense avløpsvannet. I 1910 ble det første renseanlegget for kloakk bygget på Filipstad.

Etter andre verdenskrig opplevde Oslo en revolusjon i avløpssektoren med innføring av strengere renskrav og separering av de ulike bestanddelene i avløpet. De eldre systemene som er tidligere beskrevet og som i dag omtales som avløp fellessystemer (AF), hvor spillvann (SP), drens vann (DV) og overvann (OV) går i samme ledning, ble forsøkt faset ut og utbredelsen av separering der SP blir ledet til renseanlegg mens OV blir ledet ut i nærmeste hensiktsmessige resipient tiltok. Fordelen med fellessystemer er utvasking av forurensninger og slam i ledningene ved intense regnhendelser, som reduserer vedlikeholdet og luktproblematikken. Utfordringene med fellessystemer er

imidlertid enda større og ligger i rensingen av avløpsvannet. På grunn av store nedbørsvariasjoner som medfører variasjon i vannføring mellom tørrvær og nedbørsperioder er denne løsningen meget komplisert. Det er økonomisk og teknisk ugunstig å oppdimensjonere avløpsledningsnett for å kunne håndtere de mest belastende nedbørshendelsene. Dette skyldes økte material- og anleggskostnader mot en kapasitet som håndterer lite spillvann. De veldige kraftige nedbørshendelsene inntreffer sjeldent, man snakker da om et gjentaksintervall på 20-30 år. Store dimensjonerende ledninger vil i tillegg medføre driftsutfordringer, da de i den grad ikke er tilstrekkelig selvrensende. Oversvømmeshendelser og flom oppstår når kapasiteten til avløpsledningsnett er nådd, hvilket kan forårsake skader på infrastruktur og boliger. Samtidig vil det være en forbundet risiko med at forurenset vann ledes ut i resipienten. Som et mottiltak er det installert flere overløp som har som funksjon å lede overskuddsvannet til en resipient på en kontrollert måte. Et overløp inntreffer når vannføringen overskrider designkapasitet til avløpsledningsnett. Ideen bak et separatsystem er derfor å redusere kostnader og bedre tilrettelegge for renseprosessene på rensanleggene, grunnet lavere hydraulisk variasjon, redusere rørdimensjoner og redusere utslipp fra overløp.

Strengere utslippskrav til resipienten har ført frem til mer avanserte renseteknikker som er anerkjent i dag, med fullrensing, slambehandling, gjenbruk av næringsstoffer og produksjon av biogass. I Oslo representerer fellessystemene fortsatt 55 prosent av avløpsledningsnett, men andelen er synkende.

(Johansen 2001)

Det vises til boken «Under byens gater» av Tor Are Johansen for en grundigere innføring i Oslos vann- og avløpshistorie.

### **1.3. Vann- og avløpsetaten**

Oslo kommune Vann- og avløpsetaten (Oslo VAV) ligger under byrådsavdelingen for miljø og samferdsel. Oslo VAV har som hovedoppgaver å forsyne Oslos 623 966 innbyggere (jan.2013) og næringsliv med rent drikkevann og håndtere avløpsvannet. Oslo VAV har videre ansvar for drift, vedlikehold og fornyelse av hovedstadens vannbehandlings- og rensanlegg, ledningsnett og pumpestasjoner for både drikkevann og avløpsvann.

I tallene fra Oslo VAVs «Årsberetning for 2012» består vannledningsnett av til sammen 3060 km vannledninger, hvor 1560 km er offentlige vannledninger og resterende er private stikkledninger. Avløpsledningsnett består av til sammen 2 200 km avløpsledninger, hvor 1 400 km av disse er spillvannsførende ledninger. Private stikkledninger og tilkoblinger til det kommunale avløpsnett antas å være en stor prosent av avløpsledningsnett, men er ikke tallfestet eller registrert i VAVs kartdatabaser. I tillegg til hovedelementet som er ledninger består både drikke- og avløpsvannnett av flere pumpestasjoner, fordrøyningsbassenger, høydebassenger, ventiler, overløp osv. (Oslo VAV 2012b)

Tjenestene som Oslo VAV utfører finansieres av forbrukerne/abonnentene gjennom vann- og avløpsgebyrer med hjemmel i T-1157 «Forskrift om kommunale vann- og avløpsgebyrer».

## 1.4. Avgrensning og problemstilling

I arbeidet med studien er det tatt utgangspunkt i følgende problemstilling:

*Hvordan kan etablerte undersøkelser som måle- og inspeksjonsteknologi, feltundersøkelser og simuleringer være med på å avdekke fremmedvannskilder i aldrende avløpsnett og benyttes i planlegging for fremmedvannsreducerende tiltak?*

Studiens begrensning i arbeidsmengde og tid har hatt en medvirkende årsak til at studien er avgrenset til de undersøkelsesmetoder som er belyst i avsnitt 6.. Det har også vært begrensninger knyttet til tilgjengelig måleutstyr og laboratorieanalyser.

## 1.5. Disposisjon

Gjennom studien skal problemstillingen i avsnitt 1.4. belyses ved bruk av teoretiske betraktninger, måledata, simuleringer og feltarbeid i to utvalgte avløpssoner i Oslo kommune.

Studien er bygd opp i fire deler. Første del er en introduksjon til oppgavens tema, mål og problemstilling. Del I danner det nødvendige grunnfundamentet for videre forståelse av fremmedvann og dens relevans i norske vann- og avløpssystemer. Både nasjonale og internasjonale referanser er benyttet for en tilstands- og situasjonsbeskrivelse omkring oppgavens faglige tema. Denne informasjonen er også samtidig viktig og aktuell foran feltarbeidet. Enkelte emner i del I vil ikke direkte kunne overføres til oppgavens problemstilling, men er likevel presentert da de anses som nødvendige elementer for fullt utbytte av det faglige temaet. Del II omfatter arbeidsmetodikken og har en todelt struktur. Den beskriver modellens oppbygning, datagrunnlag, bearbeidelse for beregning av fremmedvannsmengder, samt en beskrivelse av feltarbeidet som gjøres. Feltarbeidet omhandler lekkasjesøking etter fremmedvannskilder, som i hovedsak består i stikkmålinger av vannføring, rørinspeksjoner, visuelle inspeksjoner i kummer, kjemiske analyser av vannføringen og informasjon om grunnvannsstand m.m. Hensikten med feltundersøkelsene som supplement til RDII-modellen er å forsøke å avdekke fremmedvannskilder og dermed igangsette planlegging av fremmedvannsreducerende tiltak. Del III inneholder resultater og kommentarer fra kjørte simuleringer av RDII-modellen, og en evaluering av undersøkelsesmetodene som er benyttet i feltarbeidet for kartlegging av årsaker og effektive tiltak for å redusere fremmedvann. Del IV er fjerde og siste del, og avslutter studien med et avsnitt om mulige fremmedvannsreducerende tiltak og en konklusjon knyttet til resultatene i del III og problemstillingen i del I.

Litteraturen som er benyttet er både norsk og utenlandsk anerkjent litteratur, og referansene anses derfor som pålitelige.

## 2. Avløpsledningsnett

### 2.1. Systemutforming

Et avløpsledningsnett er et komplekst sammensatt transportsystem og består av følgende elementer:

- Selvføll avløpsledninger uten trykk (separat eller fellessystem)
- Pumpestasjoner med tilhørende pumpeledninger og tunneler
- Private stikkledninger påkoblet det kommunale avløpsledningsnett
- Overløp for å hindre overbelastning på nedstrøms avløpsledningsnett og avløpsrensaneanlegg
- Fordrøyningsbassenger for å forsinke tilførselen inn på avløpsledningsnett
- Kummer for adkomst til avløpsledningsnett

Avløpsledningsnettene er stedvis vanskelig tilgjengelige under bakken og av den grunn er det knyttet lite kunnskap til disse. Kommunene samler all informasjon om vann- og avløpssystemene sine i digitale kartverktøy og databaser. Det forekommer ofte feilregistreringer eller at viktig informasjon ikke er bevart og digitalisert, slik at den komplette oversikten av avløpsledningsnettene uteblir. Det er viktig å påse gode rutiner for å sørge for at registrering av informasjon og hendelser til enhver tid er oppdatert (Lindholm et al. 2012b).

Avløpstransportsystemet er normalt utviklet over lang tid, en arv fra tidligere generasjoner 100-150 år tilbake. Det har vært benyttet mange forskjellige metoder for planlegging, prosjektering og utførelse av anleggene opp gjennom årene. Materialvalget har variert mye. Historikken har bidratt til at anleggene har svært forskjellig utforming og standard, avhengig i hvilken tidsperiode de er anlagt. (Ødegaard 2012)

Funksjonen til avløpsledningsnettene er å samle opp forurenset avløpsvann fra boliger, næring og industri med mer og transportere dette i rør fram til avløpsrensaneanlegget uten større lekkasjer. Den må samtidig ivareta kravet til håndtering og rensing av avløpsvann uten negativ påvirkning på ytre miljø.

Overvann fra tak, gater, husdreneringer og andre tette flater er normalt lite forurenset og ledes i separatsystemer, og oftest i egne overvannsledninger direkte ut i nærmeste vannforekomst, urensset. Dette er den tradisjonelle metoden for overvannshåndtering i urbane områder. I nyere tid har en derimot gått over til bruk av lokale overvannsdisponeringsløsninger (LOD) ved infiltrasjon i grunnen. God overvannsdisponering innebærer prinsippet om å håndtere overvannet lokalt og at løsningene skal være bærekraftige og tilføre kvaliteter til omgivelsene. Løsningene skal være godt funksjonelle alle årstider og uavhengig vær-situasjonen. Visjonen bak LOD er å utnytte overvannet som en ressurs og håndtere overvannet i størst mulig grad på overflaten og som en synlig del av vassdraget og bybildet. (Ødegaard 2012)

## **2.2. utfordringer**

Norsk vannbransje står ovenfor en del krevende utfordringer i tiden fremover. Vedlikeholdsetterslepet av Norges kanskje viktigste infrastruktur er stort og prognoser for befolkningsvekst, urbanisering og klimaendringer gjør ikke situasjonen bedre. Utover dette ventes skjerpede krav av tilsynsmyndighetene til kvalitet og sikkerhet. Samtidig opplever vannbransjen store utfordringer med rekruttering. Alle er utfordringer og forhold det er bred enighet om å tilpasse seg. Dette gir grunnlag for et investeringsbehov som er beregnet til hele 490 milliarder norske kroner frem til 2030 (Norsk Vann 2013c).

### **2.2.1. Urbanisering og befolkningsvekst**

Økt befolkningsvekst i takt med urbanisering og sentralisering i bybildet, resulterer i mer tette impermeable flater på bekostning av grønne permeable arealer, som medfører økt overflateavrenning og tilførsel av vann direkte på avløpsledningsnett. Befolkningsveksten vil føre til økte spillvannsmengder, som sammen med større mengder overvann øker den hydrauliske belastningen på avløpssystemet. For å redusere sannsynligheten for konsekvenser av både samfunns-, økonomisk- og miljømessig karakter, som for eksempel flomskader, overløpsdrift og kjelleroversvømmelser, må transportbehovet og renskapasiteten økes betraktelig.

Oslo kommune Utviklings- og kompetanseetaten estimerer en befolkningsvekst på 33,2 prosent innen 2030, som vil bety en befolkningsframskriving på om lag 830 000 innbyggere i 2030. (Oslo kommune 2013)

### **2.2.2. Klimatilpasning**

Konsekvensene av de globale klimaendringene blir stadig tydeligere. Vannbransjen må tilpasse seg et endret klima, og mange kommuner og vann- og avløpselskaper er allerede godt i gang med arbeidet. Men veien å gå er fortsatt lang. Klimaendringene fører med seg endringer i vannets kretsløp som gjør bransjen ekstra sårbar. Det er særlig mer ekstrem nedbør, både økning i mengde og intensitet som er utfordrende. Dagens avløpsledningsnett er ikke dimensjonert for å ta unna slike mengder og behovet for å infiltrere mer av overvannet i grunnen, anlegge fordrøyningsbassenger for å forsinke vannmengdene, øke kapasiteten på avløpsledningsnett og sikre trygge flomveier vil være viktige tiltak fremover. Klimaendringene fører også til forverret vannkvalitet i drikkevanskildene, som vil kreve økt investering i vannbehandling hos en del vannverk. Behovet for tiltak er stort og avgjørende for at bransjen skal kunne levere gode vann- og avløpstjenester fremover.

Norsk Vann er vannbransjens interesseorganisasjon og etterlyser endringer i regelverk og hos myndigheter for å bedre tilrettelegge for gode statlige rammebetingelser, slik at bransjen kan velge de beste og mest kostnadseffektive klimatilpasningstiltakene.

Konsekvensene og behovene for vannbransjen er godt utredet og synliggjort både i klimatilpasningsutvalgets rapport «NOU 2010:10 Rapport: Tilpassing til eit klima i endring» og i stortingsmeldingen «Meld.St. 33 (2012-2013) Klimatilpasning i Norge». Ett av de viktigste tiltakene som foreslås i stortingsmeldingen er nedsettelse av et lovutvalg

på overvannsområdet, som skal tilrettelegge for kommunenes klimatilpasningsarbeid. Ett annet viktig tiltak er utviklingen av «Norsk senter for klimatjenester» som skal få tilstrekkelig finansiering til nødvendige veiledning og aktiv klimaovervåking overfor kommunene og vann- og avløpsselskapene. Myndighetsansvaret for overvann ventes avklart i forbindelse med statsbudsjettet for 2014. (Norsk Vann 2013a)

Basert på aktuelle klimamodeller forventes en økning i den midlere nedbørsmengden i Norge på 10 prosent innen utgangen av 2050, mot 20 prosent i 2100. Antall tørrværsdager er forventet høyere, noe som betyr at nedbøren vil komme sjeldnere, men med en langt større intensitet enn i dag. Dette bygger opp om det faktum at det vil bli mer uvær og stadig kraftigere nedbørsituasjoner i årene framover.

Dagens dimensjoner på avløpsledningsnett er designet og utformet med forutsetninger om betydelige lavere volumer enn det som er i vente forårsaket av klimaendringene. Fylkesmannen i Oslo og Akershus advarte i et brev datert 11.04.2011 om akutt behov for å planlegge tiltak for å tilpasse avløpsledningsnett til en ny klimatisk situasjon. (Fylkesmannen i Oslo og Akershus 2012)

Fremtidige klimaendringer fremtvinger behov for en større satsning på planlegging og iverksetting av tiltak for å sikre trygg håndtering av overvannet, uten stor risiko for skader og ødeleggelser av eiendom, industri og infrastruktur.

### **2.2.3. Ledningsnettfornyelse**

Vann- og avløpsinfrastrukturen anses å være i dårlig tilstand. Dette omtales også utenfor fagmiljøet med bred dekning i norsk presse, spesielt forbundet med hendelser knyttet til problemer med distribusjon av drikkevann til abonnentene. Både vannledninger og avløpsledninger bærer preg av store ut- og innlekkasjer. Den dårlige tilstanden skyldes hovedsakelig høy gjennomsnittsalder på ledningsnett. I Rådgivende ingeniørers forening (RIF) «State of the Nation» rapport anno 2010 bedømmes tilstanden til det norske vann- og avløpsledningsnett som svært dårlig og viser til en markant sammenheng mellom gjennomsnittlig ledningsalder og antall lekkasjer, kjelleroversvømmelser og overløp (RIF 2010). Norsk Vann har utarbeidet et benchmarkingsystem for å måle og vurdere tilstanden til kommunale vann- og avløpstjenester, kalt «BedreVA». 69 kommuner som til sammen representerer 57 prosent av landets befolkning deltar i systemet. Resultatene fra 2013 viser til store utfordringer på fornyelse av ledningsnett. Norsk Vann anbefaler en bærekraftig fornyelsestakt for vann- og avløpsledninger på 1 prosent, som tilsvarer en forventet levealder på 100 år for hver ledning. Gjennomsnittlig fornyelsestakt på drikkevannsledningsnett er 0,88 prosent og tilsvarende 0,72 prosent for avløpsledningsnett, så på bakgrunn av BedreVA-resultatene er den årlige fornyelsen av avløpsledningsnett for lav sett i forhold til behovet. (Lien 2012)

Oslo VAV har lagt ned stor innsats de siste årene for å redusere vedlikeholdsetterslepet av sitt avløpsledningsnett. Basert på tall fra Statistisk sentralbyrå (SSB) har Oslo fra 2005 til 2011 renoverert 7 kilometer ledning per år, som tilsvarer en fornyelsestakt på 1,4

prosent. Dette gjør Oslo til den kommunen i Norge som har fornyet mest siden 2009. (SSB 2013)

Andre årsaker til dårlig tilstand på avløpsledningsnett er forbundet med dårlig anleggsarbeid, feil bruk av materialer, dårlig installerte skjøter, stor belastning, feilaktige tilkoblinger med mer. Ytre faktorer som grunnforhold og variasjon i grunnvannsstand spiller også en stor rolle i avløpsledningenes fysiske tilstand.

I følge direktør i Norsk Vann, Einar Melheim, går hele 90 prosent av alle investeringene i vannbransjen med til vedlikehold av vann- og avløpsledningsnett. (Norsk Vann 2013c)

#### **2.2.4. Rekruttering og FoU**

Vannbransjen opplever store utfordringer med å sikre fremtidig kompetanse og etterlyser hjelp fra staten til omdømmebygging for å gjøre bransjen mer attraktiv. Kommunenes sentralforbund (KS) engasjerte i 2006 Norsk Vann til å utføre en undersøkelse, i samarbeid med professor Oddvar Lindholm ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), med mål om å kartlegge rekrutteringen til vannbransjen. Resultatet fra undersøkelsen viste tydelig et rekrutteringsproblem, til en bransje hvor det er stor overvekt av arbeidstakere med høy alder og for lav rekruttering i forhold til alderspensjonering og frafall. UMB og Norges naturvitenskapelige universitet (NTNU) er de to eneste institusjonene i landet som tilbyr en vann- og avløpsteknisk utdanning på masternivå. Lindholm & Moen (2006) viser at anslagsvis 18 ferdig utdannede masterstudenter rekrutteres inn i bransjen hvert år. I tillegg kommer et fåtalls universitetsstudenter fra vann- og avløpsrelaterte studier. Antall rekrutterte personer til vannbransjen med bachelorgrad fra bygg- og miljølinjer ligger på ca. 10-15 pr. år. (Lindholm & Moen 2006)

Norsk Vann viser i tillegg bekymring for rekrutteringssituasjonen innen undervisningsstillinger/professorater på høyskoler og universiteter.

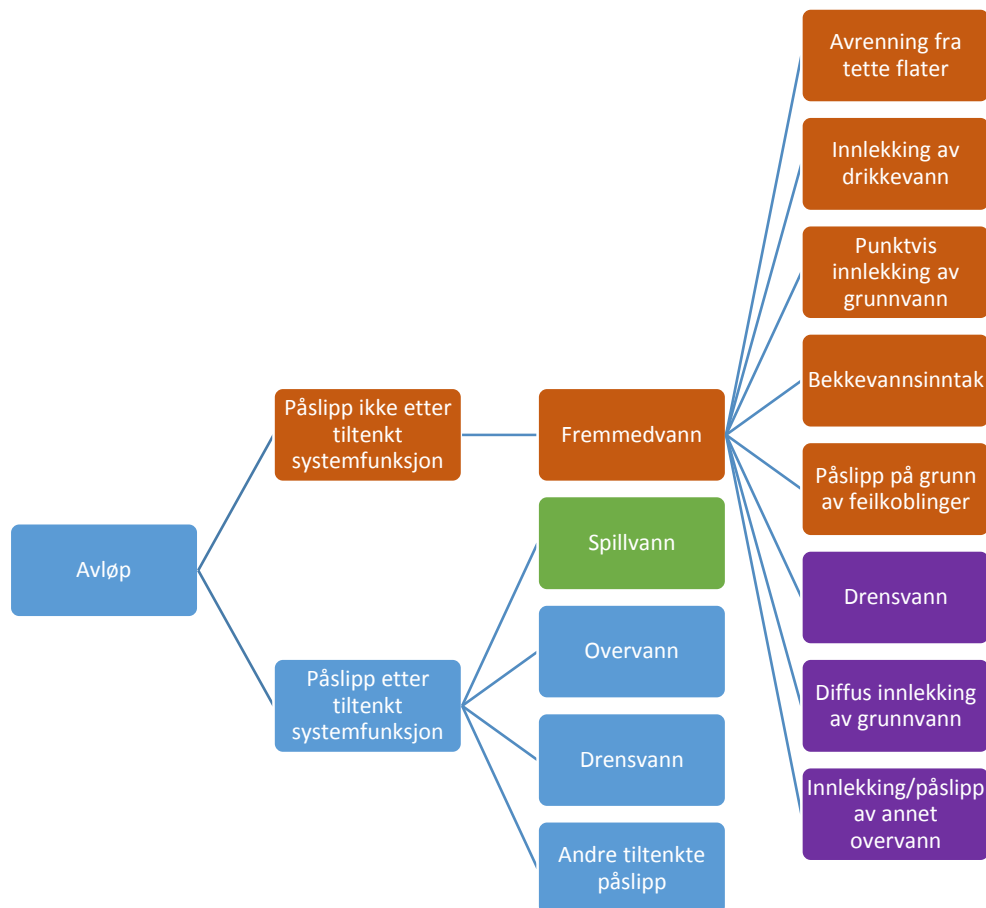
### 3. Fremmedvann

Som en innledning til oppgavens faglige tema anses det som hensiktsmessig å begynne med en utgreielse omkring definisjonen av fremmedvann.

#### 3.1. Definisjon av fremmedvann

Fremmedvann er et noe diffust begrep i den norske vannbransjen. Det er stor uenighet om definisjonen av fremmedvann, noe som bygger på at det er delte meninger om hvilke av avløpsvannets komponenter som skal implementeres i begrepet fremmedvann. Enkelte hevder at overvannet og drens vannet bør unntas definisjonen, da disse komponentene i et AF-system er en tilsiktet tilførsel. Argumentasjonen er begrunnet med at avrenning fra overflaten er planlagt i et fellessystem. Dette gir grunnlaget for den første definisjonen, en naturlig forståelse av fremmedvann illustrert i Figur 3.1.1., som kan oppsummeres i at fremmedvann er:

“Alt vann som ikke er påslippet etter tiltenkt systemfunksjon” (Olsen & Torres 2013)  
Definisjon 1. Definisjon av fremmedvann



Figur 3.1.1. Skjematisk inndeling av avløpsvannets komponenter etter den første definisjonen (adaptert fra Olsen & Torres 2013)

Andre er av den oppfatning at overvannet, drens vannet og andre tiltenkte påslipp også bør medregnes i definisjonen av fremmedvann. Fremmedvann vil anses som et ikke ønskelig tilført volum inn til avløpsrensaneanlegget, selv om det er planlagt inn i systemet.

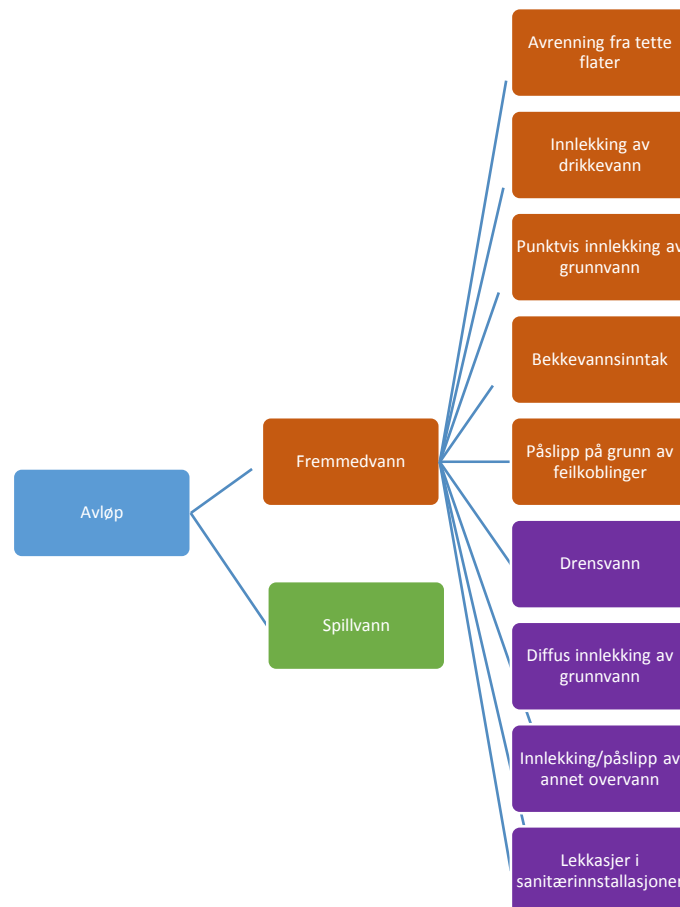


Denne påstanden støttes av professor ved Universitetet for miljø- og biovitenskap Oddvar G. Lindholm.

Likevel er ikke nødvendigvis all overflateavrenning uønsket i avløpssystemet, da det kan inneholde forurensninger blant annet fra veitrafikk og jordbruk som det vil være hensiktsmessig å rense fremfor utslipp direkte ut i nærmeste vannforekomst. Av den grunn kan det argumenteres for at det skal tilknyttes avløpsledningsnett på lik linje med spillvann. Men for å reservere avløpsledningsnett og -renseanlegget for høy spissbelastning ved nedbør, bør det istedenfor utarbeides lokale rens tiltak som LOD, beskrevet i avsnitt 2.1., ettersom vannkvaliteten normalt skiller seg betraktelig fra spillvannet, og ikke har behov for samme rensing i full skala. (Vråle 1993)

Torres (2013) viste i sine resultater at i en analyse på fremmedvannsmengder var det utfordrende å innføre en differensiering i om påslippene på avløpsledningsnett var tiltenkte eller ikke. Dessuten vil det i et AF-system være sterkt fortynt avløpsvann som gir rom for tolkning av at fremmedvannsandel er lav. Disse faktorene er med på å styrke en omformet definisjon som er illustrert i Figur 3.1.1. og beskriver fremmedvann som:

*"Alt øvrig vann i et avløpssystem som ikke er spillvann"*  
*Definisjon 2. Definisjon av fremmedvann*



Figur 3.1.2. Skjematisk inndeling av avløpsvannets komponenter etter den andre definisjonen (adaptert fra Olsen & Torres 2013)

I denne studien velges det konsekvent å benytte definisjon 2, som i all hovedsak er kun en forenkling av den første definisjonen, i videre analyser og tolkninger. Spillvannet fortynnes ute på avløpstransportsystemet, der alt vann som tilføres systemet med unntak av spillvann karakteriseres som fremmedvann, uavhengig om det er tilsiktet eller ikke.

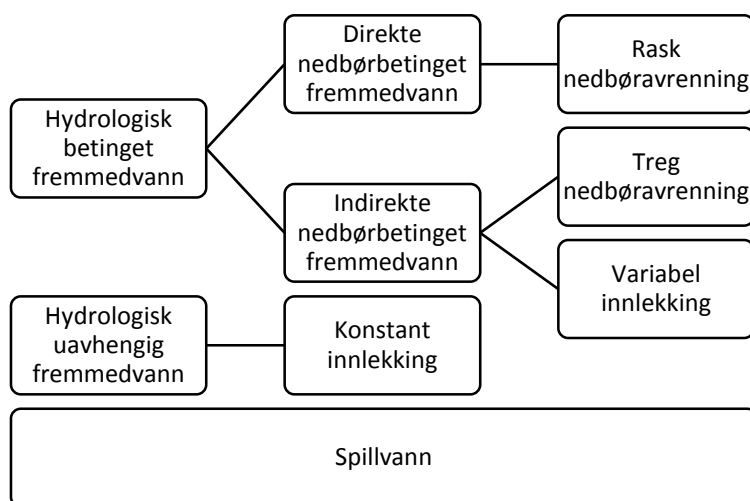
### 3.2. Fremmedvannskomponenter og kilder

Fremmedvann er et sammensatt fenomen i et komplekst avløpssystem bestående av ledninger, pumper, ventiler med mer og kan i hovedsak differensieres i to hovedgrupper:

- |  |
|--|
| I. Hydrologisk betinget fremmedvann<br>II. Hydrologisk uavhengig fremmedvann (konstant innlekking) |
|--|

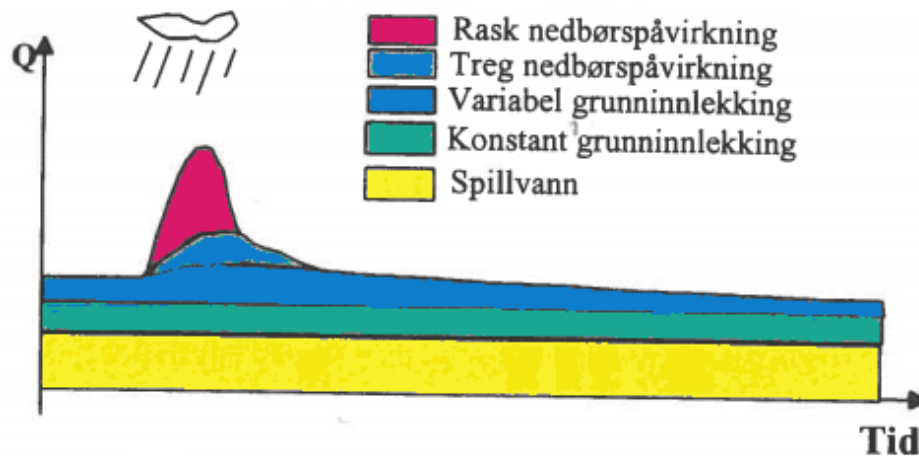
Med vekt på et hydrologisk og avløpsdynamisk aspekt benyttes fraksjonsinndeling av fremmedvannet for bruk i avløpsmodelleringer og simuleringer hvor volumene beregnes på grunnlag av metrologiske data, hydrologiske prosesser, og fysiske data for avløpssonen. (Abry 1997)

Terminologien er anskueliggjort i Figur 3.2.1. nedenfor.



Figur 3.2.1. Fremmedvannskomponenter

Hydrologisk betinget fremmedvann adskilles ytterligere i to fraksjoner: *direkte* og *indirekte nedbørbetinget fremmedvann*. Begge har til felles at de er betinget av den hydrologiske situasjonen, altså nedbør. *Konstant innlekking* er derimot en komponent som er hydrologisk uavhengig. Denne komponentfordelingen er hensiktsmessig å benytte ved avløpsmodellering og simuleringer på avløpsledningsnett (Abry 1997).



Figur 3.2.2. Skjematisk framstilling av vannføring og komponentfordeling på et typisk avløpsledningsnett før, under og etter en nedbørshendelse (Abry 1997).

Figur 3.2.2. viser en skjematisk framstilling av vannføring og komponentfordeling på et typisk avløpsledningsnett før, under og etter en nedbørshendelse. Den raske nedbøravrenningen opptrer øyeblikkelig når en nedbørshendelse oppstår og opphører umiddelbart etter regnværets slutt. Størrelsen og dermed volumet av den raske fremmedvannskomponenten bestemmes av andel tette flater tilknyttet AF-systemet i avløpsområdet. Det matematiske forholdet er direkte proporsjonalt, det vil si at volumet øker i lik grad med økningen i andel tette flater. Samtidig med den raske komponenten skjer det en gradvis økning i den trege nedbøravrenningen. Denne er på sitt maksimum når den raske nedbøravrenningen ikke lenger gir noen bidrag, altså ved regnets opphør, og vil gradvis avta med varighet fra noen få timer til flere dager (opptil en uke) etter regnets slutt avhengig av nedbørhendelsens størrelse, nedbørfeltets geohydrologiske egenskaper, muligheter for drenering i området og type avløpsledningsnett og avløpsledningenes fysiske tilstand. Figur 3.2.2. illustrerer også at nedbøren i tillegg har en innvirkning på den variable innlekkningen som skyldes grunnvannsinnelekking og marksig, hvor omfanget er betinget av de samme forholdene. (Abry 1997)

Det er flere ulike typer fremmedvannskilder som bidrar med store eller mindre vanntilkomster. Det er først når man har funnet kildene at man kan ha mulighet til å utbedre feilen. Aktuelle hovedkilder til fremmedvann i avløpsledningsnett er listet opp nedenfor:

- Feilaktige påkoblinger fra tak, gater etc.
- Innlekkasjer (innlekkasje av grunnvann via utette skjøter og sprekker, innlekkasje av utlekket drikkevann)
- Planlagt vann inn på avløpsnett via overløp og nødoverløp
- Ikke planlagt vann via ukjente koblinger mellom spill- og overvannsledninger
- Innlekkasjer av drensvann
- Innlekkasjer fra utette overvannsledninger til utette spillvannsledninger på allmenn og privat grunn.
- Innlekkasjer via utette avløpskummer

Den **raske nedbørsavrenningen** er hovedsakelig en planlagt fremmedvannskomponent, der overflateavrenningen fra impermeable tette flater direkte tilføres fellessystemet. Dette er i all vesentlighet vann med lite forurensninger som ideelt sett burde vært adskilt fra spillvannet som er av en helt annen kvalitet. Etter store nedbørshendelser utgjør dette bidraget store volumer i fellessystemet, da spesielt i urbane områder med mye tette flater. Gateslukene og takvann bidrar med mye fremmedvann i form av regnvann.

*«Etter lengre tørrværsperioder vil imidlertid den første delen av den raske nedbørpåvirkningen vaske med seg mye skitt og støv som har avleiret seg på overflaten og i avløpsledningsnettene ved stagnering av vannmassene («first flush») og som bør renses før utslipp til resipient.» (Abry 1997)*

I separatsystemer vil derimot overflateavrenningen ledes inn på overvannsledningen, og derfor i teorien ikke ta opp kapasiteten i spillvannsledningen. Likevel er ingen systemer helt tette, slik at i praksis vil også spillvannsledningen bli noe belastet. Avrenning fra tette flater er direkte nedbørbetingede innlekkasjer på avløpsledningsnettene og gir ofte de de mest intensive fremmedvannstilførslene. Fylkesmannen i Oslo og Akershus (2012) melder i et notat fra 11.04.2012 om at taknedløpene må frakobles avløpssystemet da undersøkelser viser at dette er det mest kostnadseffektive tiltaket for å redusere fremmedvann på i dag.

Den **trege nedbørsavrenningen** omfatter regnvann som infiltrerer grunnen før det når fram til avløpsledningsnettene, med varigheter på opptil noen dager etter selve regnet tok slutt. Denne komponenten er både et tilsiktet og utilsiktet bidrag. Planlagt påslipp av drensvann kommer både fra oppsamlingsledninger i avløpsledningsnettene (planlagt for dette formålet), og også mye utilsiktete innlekkasjer på avløpsledninger i dårlig tilstand. Innlekking i gamle fellessystemer anlagt med utette skjøter anses som både en planlagt og utilsiktet tilførsel (Abry 1997). Dreneringsystemer har som funksjon å infiltrere regnvann rundt bygninger og andre konstruksjoner, og mengden drensvann er betinget størrelsen på nedbøren. Dreneringsvann består hovedsakelig av rent regnvann som ideelt sett burde vært infiltrert i grunnen eller ført ut i nærmeste vannforekomst (Abry 1997).

Den **variable innlekkingen** består hovedsakelig av utilsiktet innlekking fra grunnvann og marksig hvor omfanget er betinget av de mer langsiktige hydrologiske prosesser. Grunnvannsstanden og geohydrologiske forhold er faktorer som spiller inn i kvantifiseringen av størrelsen på bidraget. Det er viktig å poengtere at noe også kan være et tilsiktet volum, som for eksempel ved regulering av grunnvannsnivå der grunnvannet for eksempel pumpes vekk for å beskytte bygninger og andre konstruksjoner. Variabel innlekking er en hydrologisk betinget komponent som består hovedsakelig av rent grunnvann, men anses som variabel da infiltreringen inn i systemet gjerne pågår over lang tid, selv etter at en nedbørshendelse har oppstått. Innlekking av grunnvann som gjennom nedbør infiltrerer grunnen og trenger inn på avløpsledningsnettene er en annen fremmedvannskilde. Ved høyt grunnvannsnivå vil det være stor risiko for innlekking av grunnvann i utette kummer og avløpsledninger med rørsprekker og dårlige utette skjøter. Grunnvannsinlekkingen reagerer tregt med

nedbørshendelsene og kan periodevis utgjøre betydelige fremmedvannsvolumer. Dette er indirekte nedbørbetingede infiltrasjonsmengder som skyldes at nedbøren perkolerer til grunnvannet og hever grunnvannsspeilet, som resulterer i at infiltrasjonsvarigheten øker selv i flere dager etter at et regn har opphørt.

Den **konstante innlekkingen** innebærer utilsiktede tilførsler på avløpsledningsnett som til enhver tid, uavhengig den hydrologiske situasjonen, er eksponert for innlekking fra vannledningsnett, sjøvann, bekkevann, påslipp på grunn av feilkoblinger og lekkasjer i sanitærinstallasjoner. Drikkevann som strømmer inn på avløpsledningsnett forårsaket lekkasjer via kummer, rørsprekker, skjøter og muffere på vannledningsnett anses som en betydelig hovedkilde for den konstante innlekkingen. Effekten av dette kan bidra til økning i grunnvannsstand. Fylkesmannen i Oslo og Akershus hevder i sitt notat datert 11.04.2012 at så mye som 50 % av utlekket drikkevann tilføres avløpsledningsnett, som normalt ligger i samme grøft. Bekkevannsinntak er en annen betydelig fremmedvannskilde. Flere avløpsledninger krysser eller ligger langs med åpne bekker der avløpsledningene er nedgravd i bunnen i den vannmettede sonen. Da avløpsledningene ikke er tilstrekkelig tette, vil en kontinuerlig vannstrøm hele tiden trenge inn i avløpsledningen. Dette bidraget er tilnærmet konstant og fører med seg mye unødvendig vann til avløpssystemet både i tørrvær og nedbørsperioder. Også lukkede bekker, som før i tiden var meget vanlig som spillvannsresipienter og oppsamling av forurensninger som det i dag fortsatt finnes noen igjen av, bidrar med mye fremmedvann. Dette er vel og merke vanligvis den største fremmedvannskilden. Innlekking av sjøvann utgjør også stedvis en kilde ved kystnære strøk. Andre konstante fremmedvannsbidrag er forårsaket uønskede påslipp på avløpsledningsnett på grunn av feilkoblinger og lekkasjer i sanitærinstallasjoner, delvis forårsaket menneskelig svikt. Feilkoblinger utføres oftest av rørleggere der private stikkledninger skal tilkobles det kommunale avløpsledningsnett. Vannlekkasjer i sanitærinstallasjoner fremkommer på grunn av produktfeil, uhell og tilfældigheter, monterings- og prosjekteringsfeil eller ved endt levetid (Krog & Fiskum 2011).

Tabell 3.1. nedenfor gir en god oppsummering av fremmedvannskomponentene med tilhørende hovedkilder.

Tabell 3.1. Fremmedvannskomponenter med tilhørende hovedkilder

Hovedgrupper	Fremmedvannskomponenter	Hovedkilder
Hydrologisk betinget fremmedvann	Rask nedbørsavrenning	Avrenning fra tette flater
	Treg nedbørsavrenning	Drensvann
	Variabel innlekking	Punktvis/diffus innlekking av grunnvann
Hydrologisk uavhengig fremmedvann	Konstant innlekking	Innlekking av drikkevann
		Bekkevannsinntak
		Sjøvann
		Påslipp på grunn av feilkoblinger
		Lekkasjer i sanitærinstallasjoner

### 3.3. Konsekvenser av fremmedvann

Fremmedvann er av United States Environmental Protection Agency (USEPA) ansett som den største utfordringen i vannbransjen relatert til avløpsledningsnett, både når det gjelder spillvann- og fellessystemer (USEPA 2008).

I Tabell 3.2. er det anskueliggjort en grov oversikt over ulike problemtyper fremmedvann medfører i de to systemtypene.

Tabell 3.2. Ulike problemtyper som følge av for mye fremmedvann (Lindholm 2012)

Type problem	Spillvannsledning i SP-system	AF-system
Opptar kapasitet i ledningen	Ja	Nei, vanligvis ikke noe stort problem
Økt utslipp via regnvannsoverløp	Nei	Ja
Økt utslipp i nødoverløp i pumpestasjoner	Ja	Ja – i enkelte ledningsnett
Opptar kapasitet i renseanlegget	Ja	Ja
Økte forurensningsmengder ut av renseanlegget	Ja	Ja
Økte kostnader til drift og investeringer	Ja	Ja

Fremmedvann i avløpsledningsnett er av mange norske kommuner sett på som et betydelig samfunnsproblem. Dersom avløpsledningsnett har en høy bestanddel av fremmedvann vil dette medføre:

- 1) Avløpsrenseanlegg, avløpsledninger og -pumper dimensjoneres for en kapasitet langt over det som ellers ville vært nødvendig (samfunn)
- 2) Økte kostnader til drift og større investeringer i avløpsrenseanleggene enn det ellers hadde vært behov for (økonomi)
- 3) Store forurensningsutslipp (miljø)

#### 3.3.1. Samfunnsmessige aspekter

Fremmedvannsmengdene kan i tilfeller utgjøre så store volum, at sett i forhold til spillvannsmengdene fra husholdning og næring opptar fremmedvannet i fellessystemer kapasiteten nærmest alene. Dette inntreffer oftest gjerne i forbindelse med store nedbørshendelser eller snøsmelteperioder hvor den hydrologisk betingede nedbørpåvirkningen er stor. Dette kan i verste fall føre til oversvømmelser og at kjellere får inntrengning av avløpsvann. Når kapasiteten i transportsystemet reduseres vil også regnvannsoverløp inntre hyppigere og overløpsutslippene vil øke.

I områder der det spesielt er krevende å fjerne fremmedvannet må renovering og oppdimensjonering av avløpsledningene vurderes. Avløpsrenseanleggene må utbygges i et raskere tempo og ev. helt nye anlegg må bygges ut der behovet er størst. Mange enhetsprosesser, utstyr og anleggsdeler må dimensjoneres for opp mot dobbel hydraulisk

belastning for å ta hensyn til fremmedvannet. Fremmedvannet øker den hydrauliske belastningen på avløpsrenseanleggene blant annet ved at oppholdstiden går ned og sedimenteringen blir dårligere.

Stoffbelastningen er et annet moment i denne sammenhengen. Dersom en blir kvitt en betydelig andel fremmedvann i norske avløpsledningsnett, vil utslippene fra avløpsrenseanleggene og fra overløp, av for eksempel fosfor, gå vesentlig ned i forhold til dagens situasjon. Stoffbelastningen vil altså avta og den hydrauliske belastningen tilta med økende forekomster av fremmedvann inn på avløpsrenseanleggene.

Større hydraulisk belastning på avløpsledningsnettet betyr en økende sannsynlighet for overløpsutslipp, både i form av mengde og frekvens. Dette er igjen forbundet med risikoen for flom, oversvømmelser og oppstuvninger som årlig utgjør store økonomiske og samfunnsmessige skader på bygninger og infrastruktur.

En mulig løsning for å redusere antall kjelleroversvømmelser og overløp er å oppdimensjonere avløpsledningsnettet, anlegge fordøyingsystemer eller utføre fremmedvannsreducerende tiltak. Oppdimensjonering med større rørdimensjoner og pumper er helt klart en økonomisk ugunstig løsning for å få bukt med uønskede overløpsutslipp, som vi skal se nærmere på i avsnitt 3.3.2. som omhandler kostnadsmomenter ved fremmedvann.

Fylkesmannen i Oslo og Akershus understreker i sitt notat datert 11.04.2012 at overløpsutslipp ikke alene forekommer i fellessystemer. Enkelte separatsystemer, som i teorien bare transporterer spillvann, er også tvunget til å gå i overløp ved intense nedbørshendelser. Derav vil separatsystemet ikke fungere som forventet, og mottar større mengder fremmedvann (Torres 2013).

### **3.3.2. Økonomiske aspekter**

Den økonomiske virkningen av fremmedvann i avløpssystemet avhenger av flere faktorer. «En metode å indirekte estimere kostnadene til fremmedvannet, er å beregne kostnaden til den billigste kombinasjonen av tiltak for å hindre:

- Økte utslipp fra overløp i transportsystemet
- Mer drift av sekundære rensesprosesser på avløpsrenseanlegget»  
(Olsen & Torres 2013)

Fremmedvann i avløpssystemet vil bidra til økte driftskostnader på avløpsrenseanlegget som i stor grad vil være relatert til forurensningsmengder (nitrogen- og fosforforbindelser) og suspendert stoff. Økte vannmengder vil også ha medvirkende betydning til større pumpekostnader. Betydelige mengder fremmedvann vil kunne ha innvirkning på den hydrauliske belastningen på avløpsrenseanleggene, som vil medføre større investeringskostnader forbundet med utbygging og utvidelse av kapasiteten.

Kjemikaliekostnadene vil normalt ikke øke med økt vannmengde, dette forutsatt at anleggene er riktig dimensjonert (Nedland 2012). For flere avløpsrenseanlegg vil

utbygging og oppdimensjonering av anlegg være eneste alternativ grunnet høy maksimal stoffbelastning. Dette er uavhengig fremmedvannsmengden inn på avløpsrensaneanlegget, ettersom en antar at fremmedvannet bidrar med lav stoffbelastning (Olsen & Torres 2013).

Energikostnadene vil øke med økende areal på avløpsrensaneanleggene (Nedland 2012). I tillegg er det svært energikrevende å både pumpe og rense avløpsvann.

### **3.3.3. Miljøaspekter**

Høy fremmedvannandel er en unødvendig miljøbelastning. Utslipp av forurensninger fra avløpet skjer hovedsakelig gjennom overløp og lekkasjer. Konsekvensene på ytre miljø er forskjellige og er blant annet dokumentert i Norsk Vann rapport 197/2013 «Avløpsanlegg - vurdering av risiko for ytre miljø». På kort sikt vil utslipp av forurensninger føre med seg lite estetiske rom og være miljøødeleggende. Over lengre tid vil en overbelastning av organisk stoff medføre oksygenfattige vannforekomster og dertil en overbelastning av næringsstoffer med påfølgende eutrofiering. Konsekvensen av dette er truende for det biologiske mangfoldet og kan gjøre vannforekomsten uegnet som drikkevannskilde, badevann, rekreasjonsområde med mer. (Ødegaard 2012) Ødeleggende helse- og miljøforurensninger som høy konsentrasjon av sykdomsfremkallende mikroorganismer, suspendert stoff (SS), fosfor, nitrogen, tungmetaller, fett og olje er alle en betydende konsekvens av urensset avløpsvann som går i nødoverløp eller lekker ut av avløpsledningsnett.

Kjemikaliebruken ved avløpsrensing er mye større ved store vannmengder, og renseprosessene er ikke like effektivt. Dette gjør det vanskeligere å overholde tilsynsmyndighetenes rensekrav. (Brännlund 2010)

Begrense forurensningene er ønskelig ut i fra flere aspekter, med det kan også foreligge krav fra tilsynsmyndighetene. I Europa er det EUs vanddirektiv som gir føringene for europeisk vannsamarbeid og vannkvalitet. Denne er innlemmet i den norske vannforskriften, som har som formål å sikre god miljøstand i norske vassdrag, grunnvann og kystområder. Helhetlig vannforvaltning er for mange europeiske land et viktig satsningsområde, men for Norge er rent vann i naturen ansett som en selvfølge og det er liten interesse i prioritere arbeidet. Faktum er derimot at Norge har for mange vannforekomster av dårlig kvalitet, og at det må gjøres omfattende og krevende tiltak for å nå EUs felles vannkvalitetsmål. (Norsk Vann 2013b)

### **3.3.4. Positive aspekter**

Fremmedvann er hovedsakelig ansett som et problem i norske avløpsledningsnett. Tross negative konsekvenser forårsaket fremmedvann, er det likevel mulig å trekke fram noen positive effekter av å tilføre fremmedvann på avløpsledningsnett.

Forurensset fremmedvann er ikke ønskelig å slippe ut urensset i norske vannforekomster, da det blant annet vil forringe vannkvaliteten, det biologiske mangfoldet og bidra til lite lukrative rekreasjonsområder. Ved å ha fremmedvann i avløpsledningsnett som



transporteres sammen med spillvannet for behandling ved det lokale avløpsrensaneanlegget vil det hindre uønskede utslipp og samtidig gjøre det enklere å overholde tilsynsmyndighetenes utslippskrav om maksimale utslippskonsentrasjoner (Vråle 1993). Stor andel fremmedvann i forhold til mengde spillvann medfører høy fortynningsgrad, som igjen betyr lavere utslipps- og forurensningskonsentrasjoner.

Fremmedvann i avløpsledningsnettet vil gi økt vannføring i avløpsledningene samtidig som at vannhastigheten øker. Dette gir større selvrensing, som motvirker oppstuvninger og avleiringer i avløpsledningene. Dersom spillvannet, som er betydelig mindre mengder, stagnerer vil det sedimentere i avløpsledningen og derav skape problemer. Dette oppstår ettersom spillvannsproduksjonen avhenger av forbruksmønsteret, som tilsier at det vil være lav spillvannsproduksjon om natten. Med konstante tilføringer av fremmedvann, vil det hindre uheldig stagnering.

### 3.4. Status på fremmedvannsproblemet

Som en innledning til denne studien ble det gjennomført en kort undersøkelse med mål om å kartlegge status og erfaringer med fremmedvann, både nasjonalt og internasjonalt. Spørsmålene ble utarbeidet av undertegnede og tilsendt et representativt utvalg vann- og avløpsseksjoner for undersøkelsen. Rådgiver i Norsk Vann BA, Arne Haarr, har bistått med kontaktinformasjon til referanser i utlandet. Oppsummering av funn fra undersøkelsen er angitt i avsnitt 3.4.1 og avsnitt 3.4.2 nedenfor.

#### 3.4.1. Norske kommuner

Følgende fagpersoner i norske vann- og avløpsetater deltok i undersøkelsen:

- **Arnhild Helene Krogh**, veileder og seksjonsleder i strategi og utvikling Oslo VAV
- **Bjørn Zimmer Jacobsen**, rådgiver bymiljø og utbygging (VA) i Stavanger kommune
- **Marit Aase**, fagansvarlig avløpshåndtering i Bergen kommune

Besvarelsene er i korte trekk oppsummert nedenfor, på bakgrunn av hva den enkelte har svart på vegne av sin arbeidsplass, lagt som vedlegg C, D og E til denne studien. Ubesvart utgave av spørreskjemaet ligger i vedlegg A.

#### I. Hva motiverer dere til å arbeide for å redusere fremmedvannsmengden?

Det er en felles enighet og motivasjon for å redusere uønskede utslippshendelser til ytre miljø, deriblant redusere faren for overløpsdrift. Sikre tilstrekkelig kapasitet på avløpsrensaneanleggene og avløpsledningsnettet i en fremtid med klimaendringer, høye nedbørintensiteter og økt befolkningstetthet (urbanisering). Stavanger vektlegger i tillegg energi og økonomiske motivasjonsfaktorer som å redusere utgifter til avløpsrensing, redusere energiforbruk (pumper), samt å øke renseseffekten hos det interkommunale vann-, avløp- og renovasjonsselskapet IVAR, som renser avløpsvannet i regionen. Bergen henter på den annen side motivasjon fra Vannforskriftens mål om god økologisk og kjemisk kvalitet i vannforekomstene, derav blant annet sikre kontroll på kvalitet av

avløpsvannet som føres til høygradig avløpsrensaneanlegg for å unngå negativ påvirkning på renseprosessen. Oslo oppgir at de har en høy fremmedvannsandel på sitt avløpsledningsnett og ønsker en reduksjon i fremmedvannsmengden også for å unngå oppstuvning og kjelleroversvømmelser.

## *II. Hva gjør dere for å redusere fremmedvannsmengden?*

Bergen og Stavanger oppgir i sin besvarelse at de jobber aktivt med separering. Stavanger fastslår at de tradisjonelt har jobbet mer med separering enn fremmedvannsreduksjon, men at de ved bruk av systematisk rørinspeksjon og vannføringsmålinger i forbindelse med modellering kartlegger og finner innlekking av fremmedvann (inkl. feilkoblinger). Driftsdata fra stasjonene er viktige for å finne fremmedvann, f.eks. tidevann som påvirker pumpene. Bergen har i stor grad AF-systemer, men i alle prosjekt som gjennomføres vurderes behovet og mulighet for separering, frakobling av overløp, gjenåpning av lukkede bekker/vassdrag, oppdimensjonering av overvannsnettet og sikre åpne flomveier.

I Stavangers hovedplan for vannforsyning, vannmiljø og avløp (gjeldende fra 1.1.2011) er vann på avveie trukket fram som en av hovedutfordringene kommunen står ovenfor (sammen med rekruttering). Hittil har andre temaer fra hovedplanen enn fremmedvann hatt større fokus (f.eks. lekkasje fra vannledningsnettet). I løpet av 2014 derimot vil Stavanger sette fremmedvann på dagsorden og utarbeide en egen temaplan for separering og fremmedvannsreduksjon som skal beskrive hvordan kommunen skal jobbe systematisk med denne problematikken i årene som kommer.

Bergen arbeider aktivt med rehabilitering av eksisterende ledningsnett slik at inn- og utlekking ikke forekommer. Krav om LOD og fordrøyning lokalt. Videre har Bergen medtatt krav i kommuneplanens arealdel at det i alle reguleringsplaner skal utarbeides VA-rammeplan som sikrer areal til VA-systemer og LOD, samt sikrer flomveier og at flomveiene ikke avlaster vann til avløpsnettet. Bergen fornyer lavtliggende avløpsnett, som er plassert under flomål, med ledningsnett uten åpne kummer, samt bygger pumpestasjoner for å hindre tilbakeslag ved høy sjøvannsstand.

Oslo har gjennomført en større undersøkelse på avløpsledningsnettet for å kartlegge fremmedvannsandelen i ulike avløpssoner. I Oslos nye hovedplan avløp og vannmiljø er det satt mål om redusert fremmedvannsmengde, som vil kreve langsiktig arbeid og innsats over tid. Oslo påpeker at det også er viktig å gjøre undersøkelser på den private delen av avløpsledningsnettet.

## *III. Hvilke erfaringer har dere av fremmedvannsreducerende tiltak?*

Både Bergen og Stavanger har gode erfaringer med ledningsnettfornyelse i sjønære områder, i tillegg har tiltak på stasjoner der høy sjøvannstand kommer inn vært i fokus. Stavanger savner imidlertid god dokumentasjon på effektene, mens Bergen synes å ha redusert mengde sjøvann på ledningsnettet.

Stavanger har sikret et tilstrekkelig robust avløpsnett som reduserer faren for uønskede hendelser i de områdene der separering er utført. Bergen har på samme måte erfart reduksjon av overløpsdriften.

Bergen påpeker viktigheten av å evaluere tiltak for å se om ønsket effekt av tiltak er oppnådd, og viser til et eksempel. Metode for kumrehabilitering må vurderes i hvert enkelt tilfelle og der det er utvendig vanntrykk må utførelsesmetoden være tilpasset dette.

Oslo har erfart at fremmedvannsreducerende tiltak er vanskelig å få til i praksis. At det krever mer enn bare å tette ledninger – kummer og stikkledninger må også prioriteres. Ettersom tidligere undersøkelser viser høy fremmedvannsmengde i store deler av avløpsledningsnettet betyr det at det vil være kostnadskrevenne å gjøre tiltak. Kostnadene vil etter all sannsynlighet overskride nytten dersom det skal utføres rehabilitering av avløpsledningsnettet på grunn av høy fremmedvannsmengde alene.

#### IV. Andre kommentarer

En definisjonssak å skille mellom fremmedvann og overvann i fellessystemet. Selv om overvann i fellessystemet har mye til felles med fremmedvann, særlig når det kommer til avløpsrensaneanlegget, er det to ulike forhold. Overvannet er i fellessystemer et tiltenkt volum og er dermed ikke "fremmed". (Stavanger)

Bergen mangler i dag en instans som har ansvar for overvannet generelt. Kommunen har ansvar for vann ført til det kommunale avløpsledningsnettet. Når så overvann og grunnvann kommer i konflikt med hverandre og medfører uakseptable hendelser hos den enkelte grunneier resulterer det ofte i arbeidskrevenne saker og overvannet må ved enkelte tilfeller tilføres til det kommunale avløpsledningsnettet via nytt tilkoblingspunkt for å hindre uakseptable følgeskader ved at det ikke føres ut av området.

Historisk har det vært lovlig å føre grunnvann til avløpsledningsnettet for å sikre tørre bygg. I enkelte områder medfører slik justering av grunnvannsstand konsekvenser for området og da især i områder som er av kulturhistorisk interesse. Utførte tiltak er ikke reversible og det er svært utfordrende å finne løsninger som ikke er mer til skade enn til gagn med henhold til å fjerne dette vannet fra avløpsledningsnettet og tilbakeføre det til grunnen. (Bergen)

#### 3.4.2. Utlandet

Følgende kontakter av Norsk Vann BA i Belgia og Finland svarte på undersøkelsen:

- **Jean-Pierre Silan**, Association Intercommunale pour le Demergement Et l'epuration des communes de la province de Liege, Belgique (A.I.D.E.)
- **Tuija Laakso**, Aalto University, Finland

Besvarelsene er direkte sitert og lagt som vedlegg F og G til denne studien.

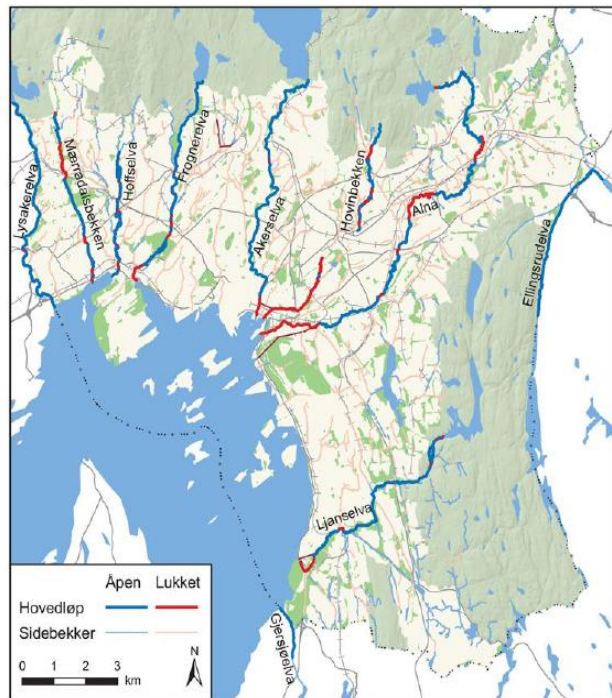
## **Del II: Arbeidsmetodikk**



## 4. Utvelgelse og inndeling av studiens avløpssoner

For å kunne imøtekomme et beslutningsgrunnlag til nødvendige prioriteringer og tiltak som må iverksettes ute på avløpsledningsnett, inndeles nettet inn i flere avløpssoner. Oslo kommunes rensedistrikt er et sammensatt geografisk område på bakgrunn av ni store avløpssoner av ulik karakter og egenskaper, som er avgrenset etter sitt tilhørende vassdrag.

Disse ni er *Lysakerelva*, *Mærraddalsbekken*, *Hoffselva*, *Frognerelva*, *Akerselva*, *Hovinbekken*, *Alna*, *Ellingsrudelva* og *Ljanselva*, og er anskueliggjort i Figur 3.4.1.



Figur 3.4.1. Oslovassdragene (Oslo Elveforum 2013)

For å kunne prioritere rett bør på sikt alle avløpssonene i hver enkelt kommune undersøkes. Vannføringene i de ulike sonene bør jf. Svensk Vatten rapport 13/2012 rapporteres som tre ulike vannføringskomponenter:

- Spillvann
- Lekkasje- og drensvann
- Regnvann

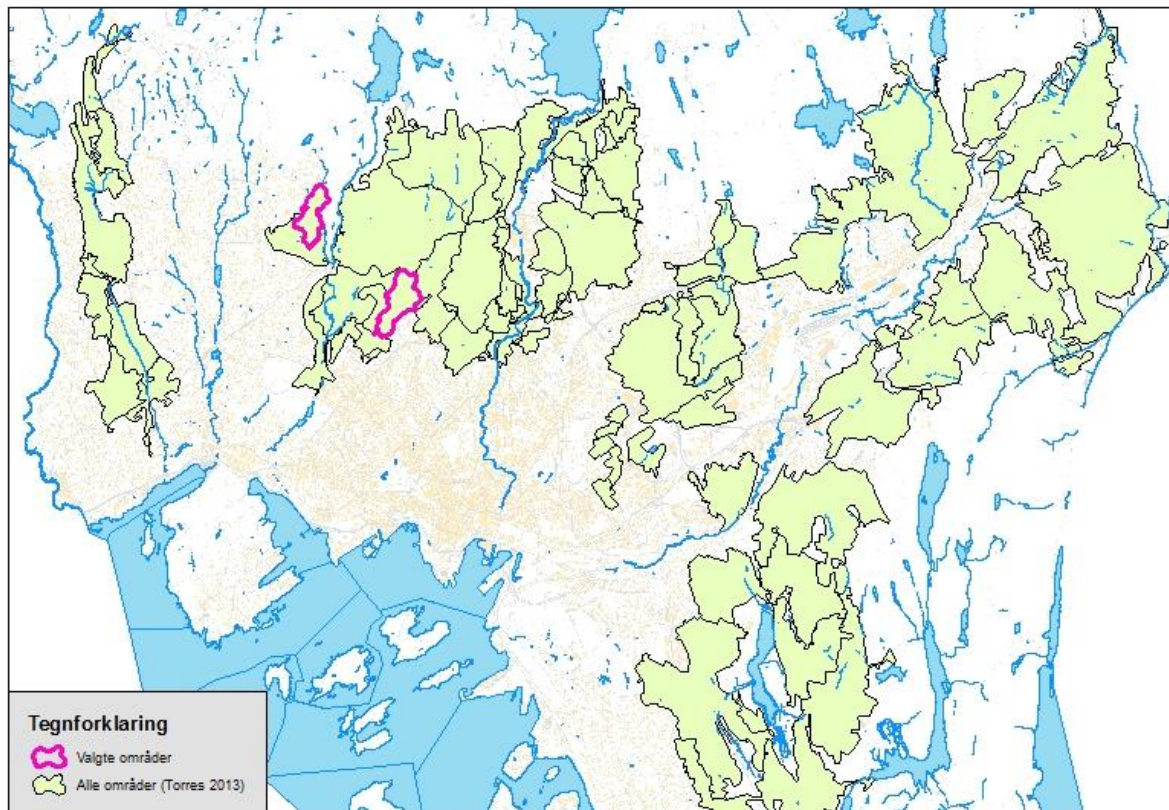
Denne oppdelingen danner et kort og forenklet overblikk over fordelingen, årsaker og hvilke tiltak som kan være aktuelle for å redusere fremmedvannsmengdene.

Oppdelingen avviker fra den hovedsakelige aksepterte oppdelingen av fremmedvannskomponentene omtalt i avsnitt 3.2.. Årsaken til dette er at det ofte er vanskelig å skille direkte nedbørsbetinget og indirekte nedbørsbetinget fremmedvann ettersom vanntilkomster fra lekkasjer kan skje like raskt som vanntilkomster fra feilkoblinger på avløpsledningsnett. Med regnvann menes også påvirkningen av snøsmeltevann som ofte har samme kilde som fremmedvann forårsaket av nedbør.

Fremtidige utfordringer med byvekst, urbanisering og fortetting styrker behovet for kunnskap om kapasitetsutnyttelse i eksisterende avløpsledningsnett. Vannføringsdata og analyser på sonenivå vil kunne gi velbegrunnede strategiske beslutninger for hvordan framtidens avløpssystemer skal fremstå og dimensjoneres (Lundblad & Backö 2012).

Avløpssonene avgrenses ytterligere for arbeid på detaljnivå, ettersom det er lettere å håndtere mindre områder for denne typen lekkasjesøkingsstudier. Valg av avløpssoner til denne studien ble gjort på bakgrunn av Torres (2013) sin tidligere inndeling, og to soner

med høy fremmedvannsandel ble valgt ut. Appendiksen indikerer nummeret til inndelingen av avløpssonen (S1, S2 osv.). Begge sonene er tilknyttet Frognerelva vassdraget. Figur 3.4.2. illustrerer alle områdene som ble studert av Torres (2013) og videre hvilke to områder som er utvalgt for denne studien.



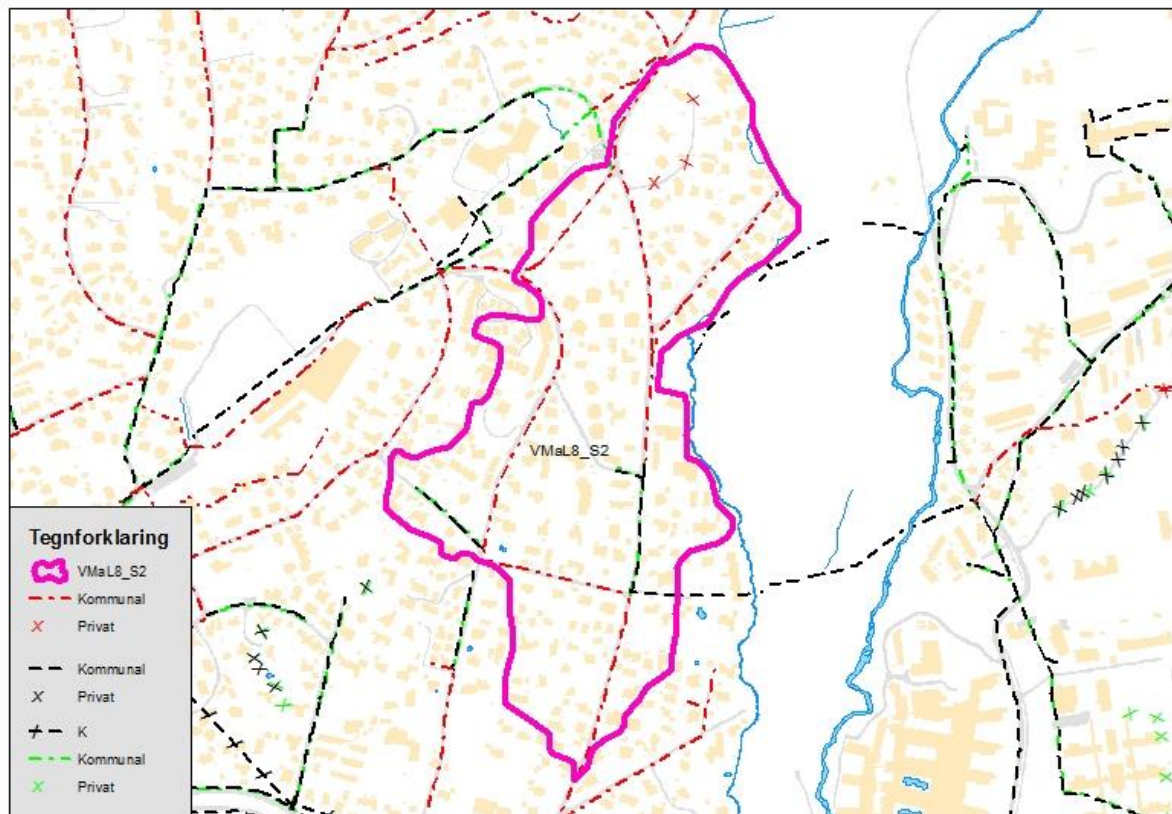
Figur 3.4.2. Studiens utvalgte avløpssoner (adaptert fra Torres 2013)

## 4.1. VMAL8\_S2

Avløpssonen VMAL8\_S2 er lokalisert på Oslo vest i bydel Vestre Aker og omfatter boligområdet Øvre Ris langs med Trosterudveien inkludert sideveger. Avløpssonen er avgrenset til et areal tilsvarende 25 hektar\* med yttergrensene Trosterudstien i nord, Rugdeveien i sør, E Kornveien/Jegerveien i vest, og Risbekkveien i nordøst. Avløpssonen ligger i et bratt hellende sydorientert terreng. Avgrensningen er anskueliggjort i Figur 4.1.1.

Detaljert beskrivelse av avløpssonen er beskrevet i avsnitt 0.

\* Den opprinnelige soneinndelingen av VMAL8\_S2 utført av Torres (2013) ble påvist å være feil, dette på grunnlag av befarings i flere av avløpssonenes avløpskummer i forbindelse med feltundersøkelsen. Den nye avgrensningen som er gjort i avsnitt 9.2. omfatter et areal tilsvarende 52 hektar.



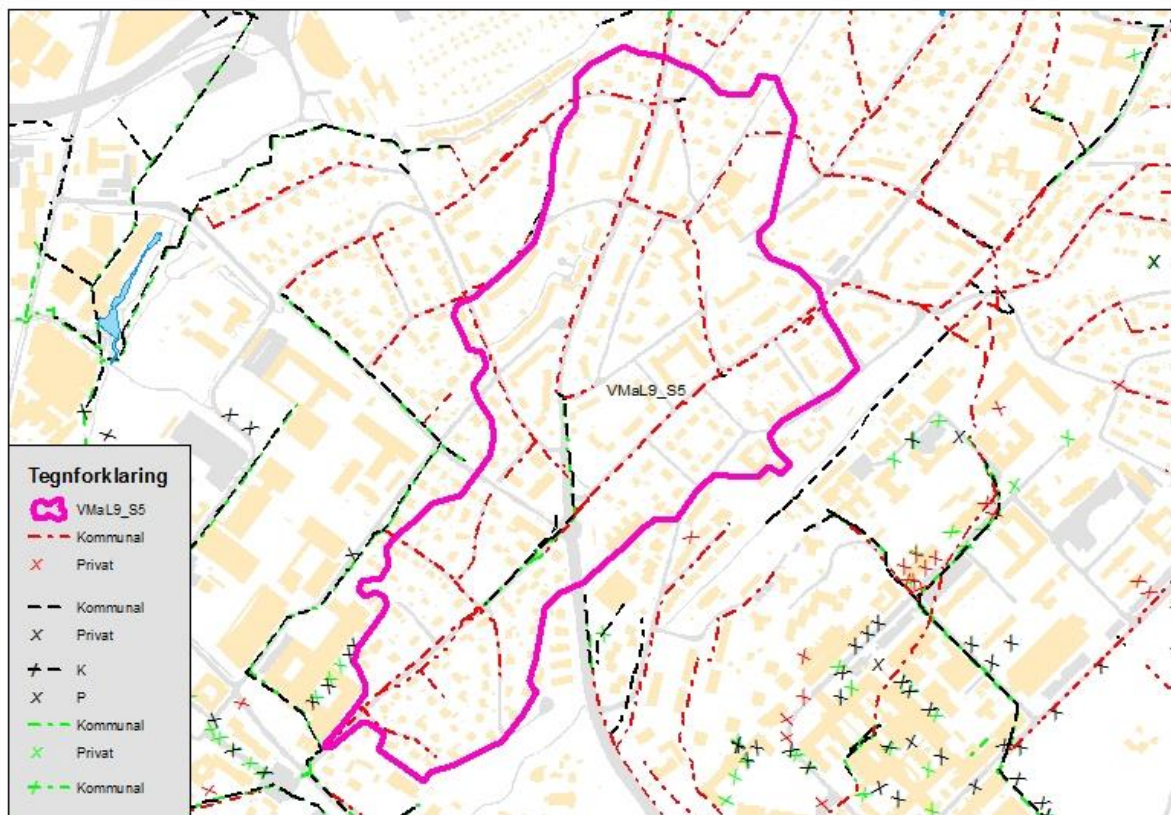
Figur 4.1.1. Avgrensning av VMAL8\_S2 (adaptert fra Torres 2013)



## 4.2. VMAL9\_S5

Avløpssonen VMAL9\_S5 er lokalisert på Oslo vest i bydel Nordre Aker og omfatter store deler av boligstrøket Ullevål Hageby og Nedre Blindern. Avløpssonen er avgrenset til et areal tilsvarende 35 hektar, med yttergrensene Sognsvannsbanen i nord, Prestegårdsveien/Blindernveien i sør/sørvest, Vestgrensa/Eventyrveien i vest, og Ullevålsalléen/Langlia i øst. Sonen ligger i et slakt hellende sydvestlig-orientert terreng som følger Sognsveien fra Sognsvannsbanen øverst på kartet til John Collets plass, hvor terrenget faller brattere ned mot Blindernveien nederst i kartutsnittet. Avgrensningen er anskueliggjort i Figur 4.2.1.

Detaljert beskrivelse av avløpssonen er beskrevet i avsnitt 7.



Figur 4.2.1. Avgrensning av VMAL9\_S5 (adaptert fra Torres 2013)

## 5. Modellering fremmedvann

Denne studien har benyttet en forenklet hydraulisk modell for beregning av vannføring, basert på meteorologiske data og tilgjengelig kunnskap om avløpsfeltet. Modellen er et verktøy for å simulere den totale vannføringen, med hensikt å påvise hvilke komponenter som bidrar (omtalt innledningsvis i avsnitt 3.2.) og den utgjørende fremmedvannsandelen.

Dette kapitlet inneholder en nærmere beskrivelse av fremmedvann og dets hydrologiske oppførsel, et viktig grunnlag for modellens oppbygning. Datagrunnlag og bearbeidelse av modellen er videre omtalt.

### 5.1. Generelt om modeller

Bruk av modeller er hensiktsmessig ut i fra flere perspektiv. Datamaskinene analyserer og foretar beregningene omtrent 1000x raskere enn dersom det skulle vært gjort av menneskelige ressurser for hånd. Datamaskinene har stor kapasitet for databehandling og kan behandle meget store mengder data. Den har i tillegg mulighet for å regne på flere parametere og ta hensyn til flere faktorer, samtidig som den unngår menneskelige regnefeil og modeller innehar dermed større målenøyaktighet. Muligheten for prioritering av datafangst ved hjelp av følsomhetsanalyse på alle viktige parametere er også tilstede. Modeller gir en ryddig oversikt over involverte variabler og resultater og en unngår å benytte seg av «prøve og feile» -metoden gjennom fullskala-testing, noe som er svært tids- og kostnadsbesparende. Modeller er med på å gjøre prosjektering og modellering av avløpssystemer mye mindre tidkrevende og med et mer nøyaktig resultat. (Lindholm 2012)

Modeller har en iboende usikkerhet. Ved oppbygningen av matematiske modeller forsøkes det å gi en matematisk beskrivelse av de fysiske prosesser som best beskriver den virkeligheten vi ønsker å simulere. Den store kompleksiteten gjør at modellene på sitt beste, kun er en tilnærming til den reelle virkeligheten. Det er normalt å snakke om tre steg når det gjelder å bestemme en modells nøyaktighet. I *modellverifisering* kontrolleres regnemaskinkoden korrekthet opp mot de oppsatte matematiske likningene. Uavhengig av om likningssettet er det riktige skal likningssettet løses på korrekt måte. *Modellfølsomhet* innebærer å analysere modellens respons til endringer i modellens inngangsdata, parameterverdier og parameteriseringer. Det tredje og siste steget er *modellvalideringen* der en bestemmer overensstemmelse mellom modellens resultater og virkelige observasjoner. (Lindholm 2012)

Kalibrering omfatter modellfølsomhet og validering/etterprøving. Kalibrering er en samling av hendelser som under spesifiserte betingelser etablerer forholdet mellom verdier fra den virkelige situasjonen modellen beskriver gitt av et måleinstrument eller målesystem (ev. verdier gitt ved et referansemateriale) og det tilhørende resultatet i modellen. Foretatte målinger skal samsvare med teoretiske beregninger, og et godt forhold skal etterstrebes for å kunne beskrive den virkelige situasjonen best mulig. Resultatene skal alltid angis med tilhørende måleusikkerhet.

I kalibreringen velges noen regn til bruk i videre analyser. Disse må være representative for utvalgte avløpssoner og distinkte. Noen regn reserveres for validering etter kalibrering. Disse må være forskjellige og uavhengige.

Følsomhetsanalyser på alle viktige parametere er et viktig moment for å prioritere datanøyaktighet og gi en indikasjon over i hvilken grad de forskjellige utvalgte parametere påvirker resultatet av simuleringen i modellen. På bakgrunn av en gjennomført følsomhetsanalyse kan de forskjellige parametere vektas med hensyn på i hvilken grad de påvirker resultatet. (Lindholm 2012)

Matematiske modeller kan inndeles i forskjellige grupper ut fra hvordan modellen er oppbygd og fungerer. Modeller kan enten være rent fysisk baserte, systembaserte, eller begrepsmessige modeller som er en blanding av de to sistnevnte. De fysiske modellene beskriver prosessene ved hjelp av de fysiske lovene som påvirker prosessene. Dette gjøres ofte i form av differensiallikninger som beskriver masse- og energistrømning. Systembaserte modeller baserer seg på en empirisk sammenheng mellom inputdata til modellen og resultatet av dette, uten å relatere dette til de fysiske prosessene som skjer i systemet. Dette brukes ofte når de fysiske prosessene er enten for kompliserte å beregne eller når det ikke er god nok kunnskap om hvilke fysiske prosesser som påvirker resultatet. Er også kalt «Black box models».

De to nevnte typene modeller kan ses på som ytterpunktene av forskjellige matematiske modeller. Innimellom disse to finnes modeller som bygger på begge metodene, disse modellene blir kalt begrepsmessige modeller. (Sælthun 2002)

Oddvar Lindholm trekker frem andre inndelinger av forskjellige modeller i Tabell 5.1.:

Tabell 5.1. Inndelinger av matematiske modeller (Lindholm 2012)

<b>MATEMATISKE MODELLER</b>	
Steady-State (Modellen $\neq f(t)$ , uavhengig av tiden )	Transient/Dynamisk (Modellen = $f(t)$ , avhengig av tiden )
Deterministisk (Modellen gir alltid eksakt og samme svar ved en gitt input)	Stokastisk (Modellen gir svar med en viss sannsynlighet)
Simuleringsmodell (Modellens resultatrespons kun ved en gitt input)	Optimaliseringsmodell (Modellen gir et sett med beslutningsvariable som gir et optimum)

## 5.2. Mouse Runoff Calibrator / RDII

Denne studien benytter en matematisk modell for beregning av overflateavrenning med den hensikt å utvikle og tilegne seg ny kunnskap og innsikt i avløpsledningsnettene i de avløpssonene som studeres. Modellen implementerer en RDII-modul (Rainfall dependent infiltration and inflow) for simulering av innlekkasjer på avløpsledningsnettene og er basert på meteorologiske data, vannføringsmålinger og informasjon om avløpsledningsnettets egenskaper.

Etter en nedbørshendelse observeres ofte en økning i vannføringen på avløpsledningsnettene. Denne observasjonen kan bare delvis forklares av overflateavrenningen. Men det er også et annet medvirkende bidrag. I lengre tørrværsperioder uten nedbør kan det registreres vannføring i avløpsledningene, som ikke direkte er betinget nedbør. Dette kommer av at deler av nedbøren infiltrerer i grunnen eller tilbakeholdes på andre måter. Det eksisterer en treghet i systemet som forsinker vannet fram til avløpsledningsnettene, som medvirker til at det hydrologiske systemet i virkeligheten er mer komplisert.

For en bedre beskrivelse av de hydrologiske prosessene har Dansk hydraulisk institutt (DHI) laget en programvaremodul som tar for seg det trege bidraget i systemet. Denne blir kalt Mouse Runoff Calibrator (MOUSE RDII). RDII-modellen beskriver hvordan den trege responsen i det hydrauliske systemet påvirker avløpsledningsnettene. (Hval & Køste 2011)

Den hydrologiske modellen er en deterministisk, konseptuell og forenklet med forholdsvis moderate krav til spesiell beskrivelse av systemet fra eksterne parametre. Modellen er basert på en fysisk beskrivelse og empiriske funksjoner for de forskjellige prosessene, og for det området av avløpssonen som ikke er definert som tette flater, vil RDII-modellen beregne den hydrologiske syklusen hvor vannet kan holdes tilbake i delfeltet i fire lagre (DHI 2000).

Fordelene med RDII-modellen er at det er mulig å både beregne avløpssonens trege og raske avrenning, slik at kontinuerlige simuleringer er oppnåelig i større grad.

## 5.3. Modelloppbygning

Modellen som er benyttet i denne studien har en tredelt struktur:

- I. Direkte nedbørbetinget fremmedvann
- II. Indirekte nedbørbetinget fremmedvann
- III. Spillvann og konstant innlekking

Spillvannsproduksjon i modellen er estimert med grunnlag i beregnet antall personekvivalenter (PE) og en visuell evaluering av vannføringen. (Torres 2013)

### 5.3.1. Bestemmelse av hydrologisk betinget fremmedvann

I dette avsnittet omtales kort to metoder for bestemmelse av dimensjonerende overflateavrenning fra tette flater. Disse er:

- 1) Den rasjonelle metoden
- 2) Summasjonskurvemetoden

Den rasjonelle metoden for beregning av overflateavrenning er:

$Q = C \times A \times I$ , hvor

Q = Avløp fra feltet i liter pr. sekund (liter/sekund)

C = Midlere avrenningskoeffisient (ubenevnt)

A = Nedbørfeltets areal (ha)

I = Nedbørintensitet (l/s ha)

Den rasjonelle metoden egner seg best for overslagsberegninger i mindre urbane avrenningsområder (20-50 ha) og avrenningen er direkte tilknyttet nedbøren. Hva som defineres som et lite/stort avrenningsområde er individuelt (Bjerkholt 2012).

Den rasjonelle metoden er ikke anvendelig for større områder. Dersom målet er å bestemme betydningen av mange ulike delfelters innvirkning på den samlede avrenningen i et område større enn 20-50 hektar, bør det benyttes mer komplekse avrenningsmodeller. Den manuelle metoden som oftest er benyttet i et slikt tilfelle, er summasjonskurvemetoden (tid-areal metoden), som kan betraktes som en videreføring av den rasjonelle metoden.

Summasjonskurvemetoden betrakter i forskjell fra den rasjonelle metoden at nedbørintensiteten varierer i tid og rom.

*«Ved bruk av summasjonskurvemetoden inndeles området i flere delfelt rangert etter tilnærmet lik konsentrasjonstid til utløpet (isokroner) og avrenningskoeffisient. Avrenningen fra delfeltene beregnes med bruk av den rasjonelle metoden, og den kumulative summasjonskurven er en summasjon av disse avrenningene fra de enkelte delfeltene. Det totale volumet betraktes som et enkelt reservoar med et utløp som resulterer i den endelige vannføringshydrografen. Den endelige formen av hydrografen påvirkes av formen av nedbørsfeltet.» (Torres 2013)*

Avrenningsforløpet blir påvirket av konsentrasjonstiden og formen på feltet. Forskjellige områdeformer med samme areal vil kunne gi forskjellige avrenningssituasjoner. Derfor er det viktig å beskrive denne formen best mulig.

Velges rektangulær geometri (form) for enkelthets skyld for alle felter.

Modellen benyttet i denne studien bruker summasjonskurvemetoden i bestemmelse av dimensjonerende overflateavrenning fra tette flater.

De fire lagrene i RDII-modellen er:

**Snølagring** - nedbør som kommer gjennom snølageret er avhengig av temperaturforhold og snømengde i delfeltet til enhver tid.

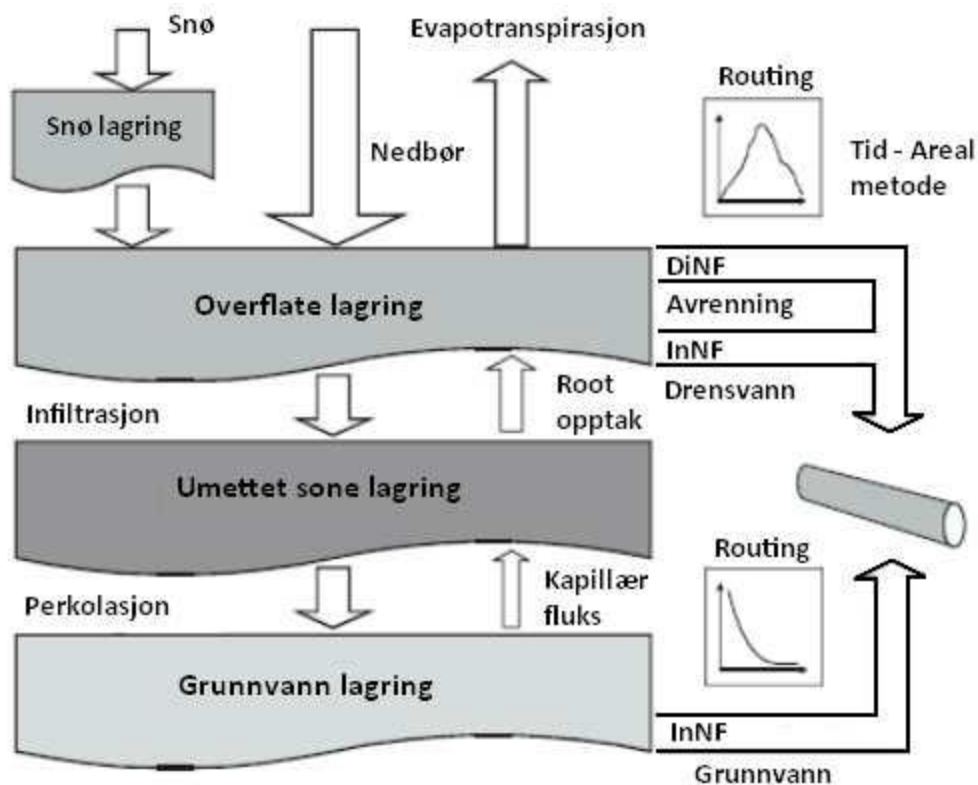
**Overflategring** - nedbør som fanges på overflaten, der hvor nedbør fukter vegetasjonsdekket og små groper på overflaten, blir holdt tilbake i overflatelageret. Gitt at det er vann i overflatelageret, vil vann fordampe ut av lageret likt potensiell evapotranspirasjon. Når maksimal overflatelagring er oppnådd, vil vann infiltrere ned til markvannssonen (treg avrenning) og noe vil renne av på overflaten eller i makroporer og ned i avløpsledningsnett (rask avrenning).

**Umettet sone lagring (Markvann)** - Vann i den umettede sonen er utsatt for evapotranspirasjon, når overflatelageret er tomt for vann. Fordampningen er avhengig av vanninnhold i marksonen, hvor lavere vanninnhold fører til lavere evapotranspirasjon. Vanninnholdet i denne sonen påvirker dessuten volumfluks på overflaten og hvor mye vann som perkolerer til grunnvannet.

**Mettet sone lagring (Grunnvann)** - Vann som befinner seg i den mettede sonen i grunnen, hvor massebalansen er bestemt av perkolasjon inn i sonen, kapillær transport av vann opp til markvannet og treg avrenning som infiltrasjon inn i avløpsledningsnett.

(Olsen & Torres 2013)

Figur 5.3.1. på neste side illustrerer modelloppbygningen for beregning av hydrologisk betinget fremmedvann.



Figur 5.3.1. Flytdiagram for hydrologisk betinget fremmedvann (DHI 2008, oversatt av Torres 2013)

### 5.3.2. Bestemmelse av konstant innlekking og spillvannsbidrag

Hydrologisk ubetinget fremmedvann anses som en konstant innlekkasje i avløpsledningsnettets uavhengig vær-situasjonen. Simulering av hydrologisk ubetinget fremmedvann, samt spillvann, er utført på grunnlag av estimerte verdier bestemt i kalibreringsprosessen av modellen. Den konstante innlekkingen bestemmes senere i kalibreringsprosessen, avsnitt 5.5.1..

Spillvannsbidraget varierer med årstid, ukedag og tid på døgnet. Normalt settes spillvannsavløpet til husholdninger lik med vannforbruket, dette tilsvarer spesifikt spillvannsavløp. Norsk Vann rapport 193/2012 «Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem» anbefaler enhetsverdien 150 l/pd (liter per person per døgn), som skal tilsvare en gjennomsnittlig norsk husholdning, for dimensjonering av husholdningsforbruket. Rapporten foreslår denne benyttet som en standard, dersom det ikke foreligger andre data hos kommunene. Oslo VAV har oppgitt et spesifikt spillvannsavløp tilsvarende 166 l/pd, og følgelig er det denne verdien som studien tar utgangspunkt i.

Husholdningene bruker vann til mange formål og forbruket vil variere avhengig av type bebyggelse. Eneboligbebyggelse med hagearealer, har ofte noe høyere forbruk per husstand sett i forhold til boligblokkbebyggelse (Lindholm et al. 2012b). Dette skyldes stort uttak av vann til hagevanning. I sommersesongen, på enkelte varme sommerdager, øker vannforbruket i Oslo med 60 000 m<sup>3</sup> vann i døgnet (Oslo VAV 2012a). En stor del av den norske befolkningen har et ubevist forhold til sitt vannforbruk, noe som kan komme

av at de fleste norske husholdninger betaler etter stipulert forbruk og ikke etter målt faktisk forbruk (Lindholm et al. 2012b). Et fåtall av norske husholdninger har installerte vannmålere, men en økning i denne andelen vil være et godt tiltak for å redusere et høyt totalt forbruk. Undersøkelser viser at: «Der det legges om til registrering ved bruk av vannmålere, går ofte vannforbruket betydelig ned» (Lindholm et al. 2012b).

Vannbesparende dusj eller vakuumpoletter vil kunne være andre tiltak for å få ned forbruket. Det er ofte store kostnader forbundet med innkjøp, installering og vedlikehold av vannmålere som er en del av forklaringen til hvorfor det er så lite benyttet (Ødegaard 2012). Forbruket i industri og næringsvirksomheter er normalt betalt etter målt faktisk forbruk (Lindholm et al. 2012b).

Spillvannsbidraget beregnes i utgangspunktet med hensyn på antall personenheter (PE) som er tilknyttet avløpssonens avløpsledningsnett og tall på spesifikt spillvannsavløp per PE. Begrepet PE omfatter antall personer (p) og personekvivalenter (pe), der sistnevnte beskriver den spesifikke belastningen per person og døgn, og benyttes som en omregningsfaktor for å beregne den hydrauliske belastningen fra industri og næringsvirksomheter (Lindholm et al. 2012b).

Beregninger for antall PE blir dermed:  $PE = p + pe$

Bestemmelse og estimering av antall PE tilknyttet de to aktuelle avløpssonene for denne studien, justeres visuelt etter observasjon av vannføringsdata i en tørrværsperiode. Normalt vil spillvannsbidraget være betinget en forbrukskurve med et fast daglig forbruksmønster. Se avsnitt 5.4.2. for videre lesning om forbruksmønster og døgnvariasjoner.

#### **5.4. Datagrunnlag for modellen**

MOUSE RDII krever en rekke innhentede dataopplysninger om tidsserier, spesifikk informasjon om avrenningsområdet og informasjon om avløpsledningsnettet ved kalibrering av studiens avløpssoner.

Følgende tidsserier er benyttet:

- Vannføringsdata
- Døgnvariasjoner
- Meteorologiske data
  - o Nedbør
  - o Temperatur
  - o Fordampning



Videre krever modellen informasjon som beskriver avrenningsområdet. Følgende er benyttet:

- Estimering av antall PE
  - o Befolkning
  - o Annet bidrag
- Spesifikt spillvannsbidrag
- Totalt areal
- Tette flater (veg og bygninger)

Flere av parameterne som må settes for avrenningsområdet, er teoretiske standardverdier (koeffisienter), som sammen med gyldighetsintervaller for RDII-innstillingene er oppgitt i Tabell 5.2..

Tabell 5.2. Utdrag fra Kalibreringsveileder (Rosim AS 2012)

Parameter	Forkortelse	Standardverdi	Gyldighetsintervall
Surface capacity	$U_{max}$	10	[2;20]
Root capacity	$L_{max}$	100	[50;200]
Surface coefficient	$C_{qot}$	0,3	[0,1;0,9]
Overland flow tc	CK	2	[1,5;8]
Interflow tc	CKIF	200	[30;500]
Baseflow tc	CKbf	800	[300;2000]
Groundwater coef	$C_{area}$	1	[...;...]
Degree day coef	...	2	[...;...]
Initial...	...	Settes av programmet	[...;...]

Informasjon om avløpsledningsnett slik som ledningsalder og systemtype er ikke et absolutt krav, men vil være forklarende for resultatene (Rosim AS 2012).

#### 5.4.1. Vannføringsdata

Overvåkning av vannføringsdata er viktig for å bygge opp kunnskap om samtlige vannføringskomponenter (spillvann, drensvann, overvann og lekkasjer).

Vannføringsmålinger gjøres sonevis i utvalgte og prioriterte avløpssoner med høy grad av fremmedvann, oversvømmelser, overløp med mer. Områder med antatt lav fremmedvannsandel bør illegges minst prioritet for å kunne konsentrere utredningen og målingene på de virkelige problemområdene. (Lundblad & Backö 2012)

Tre ulike utførelser for stasjonær måling av vannføring er:

##### 1. Kontinuerlige målinger

Lagrer kontinuerlige vannføringsdata for konstant overvåkning

##### 2. Kampanjemålinger

Målinger over en tidsavgrenset periode

##### 3. Kombinasjon av 1. og 2.

I denne studien er det benyttet kampanjemålinger med opprettelse av en ADS-målestasjon i hver av de to avløpssonene, for måling av vannføring i fellesledning.

Oslo VAVs Funksjon målegruppe avløp (FMA), representert ved Thomas Martinsen og Alexander Pham, har bistått og stilt funksjonens måleutstyr tilgjengelig til utførelsen av denne studien. Måling av vannføring er utført med bruk ADS Model 3600 «Telemetered Intrinsically Safe Open Channel Flow Monitor». Instrumentet er anskueliggjort i Figur 5.4.1. og Figur 5.4.2. og måler etter følgende måleprinsipp:

- **Hastighet**  
Måler høyeste vannhastighet i avløpsledningen på 2 steder (bunnen & en side)
- **Vannhøyde**  
Måler vannhøyden ved bruk av 4 uavhengige ultralydsensorer og en trykksensor. Trykksensoren benyttes ved kondens eller helfylt avløpsledning. (Midtsundstad 2006)



Figur 5.4.1. ADS Model 3600 (Foto: Christopher Strauman)



Figur 5.4.2. Figuren illustrerer ADS-målerens måleprinsipp (Foto: Christopher Strauman)

Hastighet

Vannhøyde

Den innebygde dataloggeren i ADS-måleutstyret tømmeres jevnlig i løpet av måleperioden, og dataene behandles i programverktøyet Gandalf. Programmet omregner blant annet den høyeste hastigheten til middelhastighet ved faktorer funnet ved kalibreringsresultater (Midtsundstad 2006). På bakgrunn av målinger av rørdimensjon, vannhøyde (nivå) og hastighet beregnes vannføringen.

Metoden har ifølge leverandøren ADS Environmental Services stor sikkerhet på måleresultat, likevel finnes flere feilkilder. En vanlig feil er å oppgi dimensjonen som er oppgitt i kommunens ledningskartverk. Rørdimensjonen må alltid måles på stedet, ettersom det i løpet av avløpsledningens levetid kan ha oppstått deformering av røret eller at det er lagt inn strømpe ved renovering som reduserer rørdimensjonen. Vannhøyden måles derfor både fra bunnen av røret og opp, og fra toppen av røret og ned. Ved store dimensjoner og forholdsvis små vannhøyder gir feilmåling av vannhøyden store utslag. (Abry 1997) Andre årsaker til feil kan være knyttet til kalibreringen av instrumentet eller at vannkvaliteten påvirker måleresultatet (Midtsundstad 2006).

Vannføringsdataene lagres i et egnet tekstformat med den hensikt at dataene kan leses direkte inn og brukes for videre analyser i MOUSE RDII. Følgende format er benyttet:

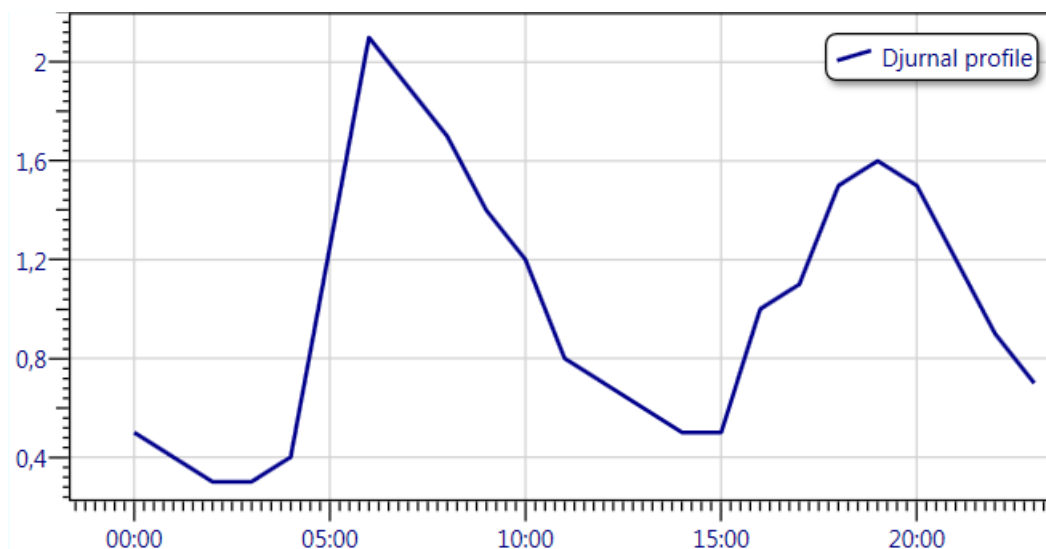
Åååå (år), MM (måned), dd (dag), tt (timer), mm (minutter), ss (sekunder), verdi (måleverdi)

#### **5.4.2. Døgnvariasjoner**

Forbruket av vann er ikke konstant og varierer over tid. Det finnes to typer forbruksvariasjoner, time- og døgnvariasjoner. Timevariasjonene viser forbruksmønsteret fra time til time i et døgn og variasjonene er ofte store. Døgnvariasjonene viser det totale vannforbruket over et år.

Normalt vil det daglige vannforbruket følge en døgnvariasjonskurve, en døgnvariasjon som er ønskelig å kopiere med modellen. Der spillvannsføringen fraviker døgnvariasjonskurven, er vannforbruket uregelmessig og sådan resulterer i at simuleringen blir mer upresis. Denne uregelmessigheten kan blant annet skyldes at private husholdninger slipper på mer vann enn normalt eller annet forbruk som omfatter sykehus, skole og industri. (Torres 2013)

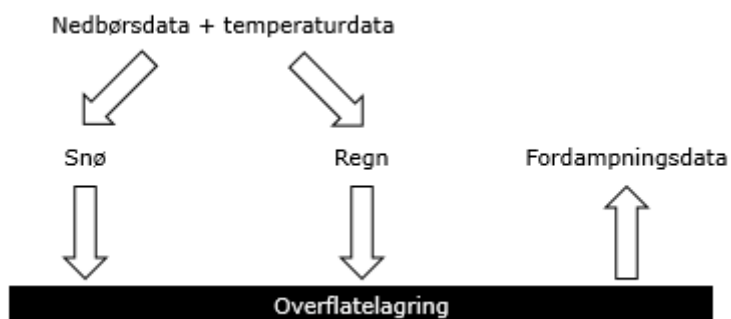
Det er i denne studien konstruert en døgnvariasjonskurve tilpasset forbruksmønsteret i de to aktuelle avløpssonene, med tilhørende maksimal timefaktor  $K_{maks} = 2,1$ , som beskriver den maksimale timevariasjonen over et døgn. Døgnvariasjonskurven er anskueliggjort i Figur 5.4.3. på neste side.



Figur 5.4.3. Døgnvariasjonskurve for spillvannsproduksjonen. Den horisontale akse representerer tiden på døgnet og den vertikale akse er middeltimfaktor.

### 5.4.3. Meteorologiske data

Meteorologiske data er nødvendig innskuddsdata i modellen, anskueliggjort i Figur 5.4.4.. Nedbørdata angir nedbørens bidrag på vannføringen i de aktuelle avløpssonene, temperaturdata gir grunnlag for å bestemme avrenningen fra snøsmelting og type nedbør i form av snø eller regn, og fordampningen beskriver andelen vann i væskeform som under energirike forhold omdannes til gassform og unnslipper overflaten.



Figur 5.4.4. Meteorologiske tidsserier nødvendig for simulering av vannføring

### Temperatur og fordampning

Temperatur- og fordampningsdata er av ingen stor betydning i denne studien, da det er valgt å simulere i en kort høstperiode, forholdsvis oktober og november, uten snøsmelting og med minimal sannsynlighet for betydende snøvær. Det vil ikke representere store volum som vil fordampes på overflaten. Likevel er begge tidsseriene et krav som input i modellen, men det er tilstrekkelig med daglige og månedlige verdier (DHI 2000).

## Nedbør

Ved etablering av målepunkter for nedbørsmålinger er det viktig å foreta en overflatebefaring i de aktuelle undersøkelsesområdene, slik at plasseringen av målepunktene er representativt for de aktuelle avløpssonene de skal dekke. (Øyen 2002b)

For best å beskrive nedbørsituasjonen i studiens valgte avløpssoner, er det benyttet data fra en mobil korttidsnedbørsmåler (se Figur 5.4.5.), plassering lagt til der avstanden fra tyngdepunktet i avløpssonen VMAL8\_S2 (vannføringsmåleren) er nærmest. For avløpssonen VMAL9\_S5 er nedbørdata fra stasjonær klimastasjon 1870 Oslo - Blindern benyttet. Nedbørsvarigheten er en viktig faktor for at man skal få riktige verdier for tilrenningen i avløpsledningsnettet. Dersom nedbørens varighet er kortere enn avløpssonens konsentrasjonstid vil ikke de hydrologisk betingede bidragene lengst unna målepunktet bidra med avrenning før regnets slutt og man vil ikke kunne beregne maksimal avrenning/tilrenning (Bekkum 2012). MOUSE RDII krever meteorologiske tidsserier for en lengre periode (inntil flere år) før selve simuleringen, dette for at modellen skal beregne de riktige startbetingelsene. Til dette formålet er data fra klimastasjonen 1870 Oslo - Blindern benyttet for begge avløpssonene, og ansett som tilstrekkelig ettersom det ikke eksisterer lengre måleperioder fra den mobile korttidsnedbørsmåleren.

Mobil nedbørsmåler ble benyttet til kampanje-nedbørsmålinger for avløpssonen VMAL8\_S2, det vil si målinger over en tidsavgrenset periode, i dette tilfelle høstsesong (oktober-november).

*«Den automatiske nedbørsmåleren, av typen Casella 100000E, registrerer nedbøren som faller på en overflate på 400 cm<sup>2</sup>. Nedbøren oppsamles i en beholder der nedbøren føres ned til en vippe («tipping bucket») med et volum tilsvarende 0,2 mm nedbør. Når oppsamlingsvippene er full, tipper den over og slutter en krets, slik at den målte nedbørsmengden omformes til en puls. En puls tilsvarende altså 0,2 mm nedbør. Hver puls registreres i en tilkoblet logger i form av tidsstemplinger». (Øyen 2002b)*

Nedbørsdata fra den mobile korttidsnedbørsmåleren ble automatisk lagret direkte i et elektronisk overvåkningssystem og gjort tilgjengelige på portalen for overvåking og tidlig varsling Regnbygge.no, utviklet av Rosim AS. Nedbørsseriene fra Blindern ble hentet fra Meteorologisk institutts (MET) internettportal eklime.no.

Nedbørsdataene er lagret i et egnet Unicode tekstformat med henholdsvis 0,1 mm nedbørs nøyaktighet (Blindern klimastasjon) og 0,2 mm nedbørs nøyaktighet (Mobil korttidsnedbørsmåler). Følgende format er benyttet:

Åååå (år), MM (måned), dd (dag), tt (timer), mm (minutter), ss (sekunder), verdi (måleverdi)

Til forskjell fra nedbørsseriene fra Blindern som registrerer tid hver time i tillegg til hver puls tilsvarende 0,1 mm, registrerer den mobile korttidsnedbørsmåleren tiden kun ved

hver puls tilsvarende 0,2 mm. Dette betyr at Blindern klimastasjon registrer også uavhengig av nedbør, da registreres 0 mm.



Figur 5.4.5. Installering av mobil nedbørsmåler av typen Casella 100000E på takflate Nordre Aker skole i Oslo (Foto: Christopher Strauman)

### Temperatur

En tidsserie med temperaturdata er tilstrekkelig for studiens simuleringer. Temperaturdata fra klimastasjon 1870 Oslo – Blindern er benyttet for begge avløpssonene.

Temperaturdataene er lagret i et egnet Unicode tekstformat med henholdsvis 0,1 Celsius graders nøyaktighet. Følgende format er benyttet:

Åååå (år), MM (måned), dd (dag), tt (timer), mm (minutter), ss (sekunder), verdi (måleverdi)

### Fordampning

Fordampning er beregnet med HBV-modellen (Hydrologiska Byråns Vattenbalanssektions modellen), utviklet ved Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut i Stockholm på 70-tallet. (Bergström 1976)

HBV-modellen er en nedbør-avløpsmodell tilpasset nordiske forhold som ved bruk av nedbørdata og lufttemperatur beregner avløpet fra et vassdrag. HBV-modellen er en funksjonell modell med enkel struktur basert på en forenklet matematisk framstilling av de hydrologiske elementene og prosessene i naturen. Modellen har tre

hovedkomponenter, disse er: snømagasin, markvannssone og avrenningsdel. Hver av dem er viktige hydrologiske elementer i nedslagsfeltet. (Sælthun 2002)

Tidsserien for fordampningen i Oslo som er benyttet i denne studien er hentet fra NVE i samarbeid med MET, og målestasjonen Blindern PLU. Fordampningsdataene er basert på en daglig måleverdi utført kl. 06 hver morgen og har en nøyaktighet på 0,1 mm. Dataene er lagret på følgende format:

(måned), dd (dag), 06:00:00, verdi (måleverdi)

#### **5.4.4. Spesifikk informasjon om avrenningsområdet**

##### **Estimering av antall PE**

Antall PE er estimert på bakgrunn av Folkeregisteret og GAB-registeret (grunneiendommer, adresser og bygninger), som er tilgjengelig i GeminiVA etter importering av de definerte avløpssonene fra ArcGIS. Dette gjorde det mulig å beregne antall husholdninger, og antall personer tilknyttet hver husholdning. For å ta hensyn til andre vannforbrukere enn husholdningene, må andelen andre forbrukere som industri- og næringsvirksomheter estimeres. Denne prosessen har Torres (2013) forklart godt i sin studie:

*«For å beregne antall pe ble det laget en liste av drikkevannsmålinger som er installert i Oslo kommune fra gebyrseksjonen i VAV. Filen viser gjennomsnittlig vannføring (i liter per sekund) av forbrukt drikkevann fra vannmålinger basert på to enkelte avlesninger tatt med ett års mellomrom i perioden 2010-2011. Det antas at de største forbrukerne er påtvunget å bruke dette måleutstyret og slik registrere sitt forbruk. Etter å tildele hver storforbruker til sine korresponderende avløpsfelt fikk vi totalvolum av drikkevannsförbruk i hver sone.» (Torres 2013)*

Torres antok at volumet fra listen fra gebyrseksjonen i VAV ikke inkluderte forbruk i husholdninger, da ifølge data fra SSB (2013) har bare 1 % av husholdningene i Oslo installerte vannmålere.

##### **Spesifikt spillvannsbidrag**

Det antas et gjennomsnittlig spesifikt forbruk tilsvarende 166 l/pd som tidligere nevnt, med forbehold om at spillvannsavløpet settes lik husholdningsforbruket av drikkevann. Likevel trenger ikke estimeringen av spillvannsproduksjon å være nøyaktig, ettersom volumet kan justeres senere under kalibreringsprosessen.

En måte å estimere den spesifikke spillvannsproduksjonen på er å anta at denne ligger like i underkant av det spesifikke vannforbruket. Annen fremgangsmåte ville vært å ta utgangspunkt i teoretisk fosforproduksjon og målte fosfortilførsler til rensanlegget. (Abry 1997)

### **Totalt areal og tette flater (veg og bygninger)**

Avrenningsområdenes totale areal og tette flater som veg og bygninger, er data hentet ut fra eksisterende kartverk og opplysninger i GeminiVA. MOUSE RDII har begrensninger ved at modellen ikke håndterer arealer som parkeringsplasser og private oppkjørsler, samt naturlige tette flater uttrykket ved karakteriserende grunnforhold. (Desserud 2013)

#### **5.4.5. Informasjon om avløpsledningsnett**

I GeminiVA er det hentet ut informasjon om avløpsledningsnett slik som type avløpssystem, ledningsalder, materiale og ledningsdimensjoner. Dette benyttes som bakgrunnsmateriale for analyser i resultatdelen.

### **5.5. Bearbeidelse av modellen**

Før simuleringen av vannføringen kan begynne må datagrunnlaget, beskrevet i avsnitt 5.4., være angitt i modellen. Først da kan modellen kjøre en enkel simulering som i første omgang bare er en tilnærming til den målte vannføringen. Denne kjøringen er imidlertid ikke et tilstrekkelig godt resultat, slik at neste steg videre i modelleringen må tas, nemlig kalibreringen.

#### **5.5.1. Kalibrering**

I kalibreringen justeres parameterne i modellen slik at inputdataene sammenstiller bedre med den målte vannføringen. Kalibreringen er en lengre og tidkrevende prosess som omfatter modellfølsomhet og validering/etterprøving. Kalibreringen etablerer forholdet mellom verdier fra den virkelige situasjonen modellen beskriver, gitt av et måleinstrument, og det tilhørende resultatet i modellen. Formålet med kalibreringen er at utførte målinger skal samsvare med teoretiske beregninger. Dette er et mål som skal etterstrebes for å kunne beskrive den virkelige situasjonen best mulig.

#### **Følsomhetsanalyser**

Følsomhetsanalyser utføres i forbindelse med kalibreringen for flere av parameterne som beskriver avrenningsområdet, se avsnitt 8.1.3., som et viktig moment for å prioritere datanøyaktighet og tilegne seg en indikasjon over i hvilken grad de forskjellige utvalgte parameterne påvirker resultatet av simuleringen i modellen. På bakgrunn av justeringer av parameterne kan de forskjellige vektas med hensyn på i hvilken grad de påvirker resultatet. (Lindholm 2012)

#### **Validering**

I *modellvalideringen* bestemmes tilslutt sammenhengen mellom modellens resultater og virkelige målinger. Det evalueres om modellen gir en tilstrekkelig simulering av vannføringen. Dersom valideringen vurderes dithen at den er tilfredsstillende, regnes modellen som god og kan benyttes.



### 5.5.2. Simulering

Med utgangspunkt i valideringen og de parameterinnstillingene som er gjort, presenteres resultatene fra simuleringene ordnet etter type fremmedvannskomponent, se avsnitt 8.1.4..

#### **Sanitary flow**

Spillvann

#### **Imperivious flow**

Hydrologisk betinget fremmedvann - Direkte nedbørbetinget fremmedvann - Rask nedbøravrenning

#### **Overland flow \***

Hydrologisk betinget fremmedvann - Direkte/Indirekte nedbørbetinget fremmedvann - Avrenning fra ikke tette flater og raskt dreinsvann

#### **Groundflow and interflow**

Hydrologisk betinget fremmedvann - Indirekte nedbørbetinget fremmedvann - Variabel innlekking og treg nedbøravrenning

#### **Additional flow**

Hydrologisk ubetinget fremmedvann - Konstant innlekking

*\* «Overland flow» er ett nytt begrep som ikke er beskrevet tidligere, da denne fremmedvannskomponenten er vanskelig å håndtere i praksis. Modellen inndeler i 3 komponenter, der undertegnede har valgt å gruppere i 2*

## 6. Feltundersøkelse: Lekkasjeøking fremmedvann

Motivasjonen for å arbeide med å kartlegge fremmedvannskilder er flere. Ett motiv kan være en beslutning om å foreta ledningsnettfornyelse i et område, eller at tilsynsmyndighetene pålegger konsesjonseiere skjerpede krav til rapportering av saneringsplaner for vann- og avløp, og hvordan utbygging er tenkt gjennomført. Av både praktiske og økonomiske hensyn er det utenkelig å bygge opp kunnskap om alle vann- og avløpsledninger og samtidig gjennomføre tiltak ved hver feil som oppdages gjennom rørinspeksjoner og befaringer. Prioritering er derfor et nøkkelord i sammenheng med ledningsnettfornyelse og kartlegging av fremmedvannskilder. (Lundblad & Backö 2012)

Målsettingen med feltundersøkelsen er å, gjennom en detaljert kartlegging av studiens utvalgte avløpssoner, avdekke hvorvidt fremmedvann er et problem, hvilke komponenter som bidrar og om det er mulig å begrense tilførselen av fremmedvann ved ulike tiltak. Den økonomiske nytteverdien som ligger i igangsettelse av tiltak vurderes opp mot den økonomiske kostnaden av å la være. Den økonomiske effekten er avgjørende for hvilke fremmedvannsreducerende tiltak som prioriteres utført. Mengde vannføring, andel fremmedvann og hvilke konsekvenser eventuelle tiltak gir er medvirkende. (Desserud 2013)

Hydrologisk vurdering av avløpssonene, på grunnlag av feltegenskaper som blant annet grunnforhold, topografi, bekkekryssinger, tette flater og eiendommer med kjellere, samt avløpsledningsnettets alder, fysiske tilstand og systemfunksjon er alle eksempler på parametere som kan gi mer eller mindre signaler om hvilke områder som er mest utsatt for fremmedvann. «*Spesielt bekkelukkinger er særlig viktig å være oppmerksom på som betydelige fremmedvannskilder også ved tørrvær*» (Abry 1997). Likevel er det andre metoder og målinger som gir den beste forståelsen. (Lundblad & Backö 2012)

De undersøkelsesmetoder som er anvendt for lokalisering av fremmedvannskilder i denne studien er:

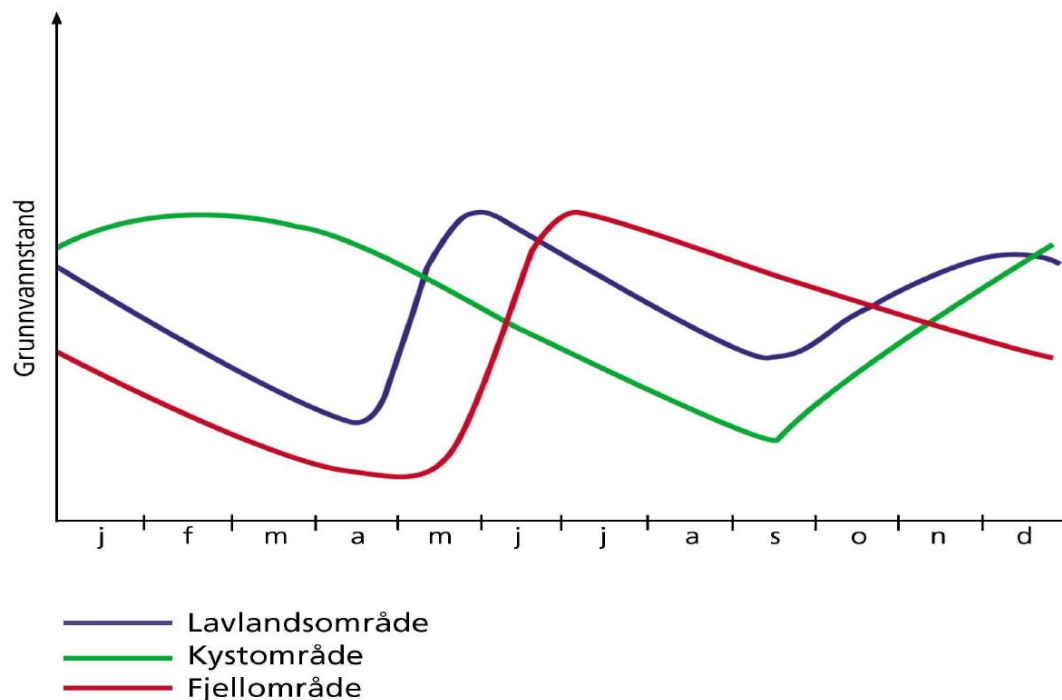
- Kontroll av dreneringstilkoblinger på avløpsledningsnett og grunnvannstand
- Visuell kuminspeksjon
- TV-inspeksjon
- Fosfor- og ammoniummetoden
- Kontroll av nattvannforbruk
- (Trykkreduksjon)

Metodene er presentert i underliggende avsnitt 6.1. - 6.6.

## 6.1. Kartlegging av dreneringstilkoblinger på avløpsledningsnett og grunnvannsstand

Fremmedvann via dreneringer forekommer oftest fra eiendommer med kjellere. Mengden dreneringsvann er bestemt av tilstedeliggende grunnforhold og grunnvannsstand. Grunnforhold bestående av permeable jordarter med gode transportegenskaper, som sand og grus, gir et betydelig større bidrag enn områder med impermeabel grunn. Kjennskap til grunnvannsstanden er et viktig moment for å kunne si noe om hvor høyt grunnvannet står over kjellernivå, og dermed ha oversikt over grunnvannsføringens bidrag til dreneringen. En forutsetning for at grunnvannet skal tilføres avløpsledningsnett er at grunnvannsstanden minst må ligge på høyde med bunnen av avløpsledningene. Dersom grunnvannsstanden er over dette nivået vil avløpsledningen i praksis fungere som en dreneringsledning. (Lundblad & Backö 2012)

På bakgrunn av store endringer i grunnvannsstanden over året har NVE klassifisert en nasjonal inndeling av tre grunnvannsregioner med utgangspunkt i karakteristiske grunnvannsfluktuasjoner. Figur 6.1.1. illustrer tre ulike årskurver som beskriver variasjonsmønsteret for oppfylling av grunnvannsmagasinet. Det er en sterk korrelasjon mellom grunnvannstandsstigning og nedbør/snøsmelting. I områder der avstanden ned til grunnvannsspeilet er stor vil det kunne oppdages en faseforskyvning av kurvene, en treghet i prosessene i grunnen. (NVE 2009)



Figur 6.1.1. Kurver som illustrerer typiske grunnvannsfluktuasjoner over året i ulike områder (NVE 2009)

Oslo har med sin geografiske beliggenhet innerst i Oslofjorden et dominerende kystklima. Det som karakteriserer denne typen områder er store nedbørshendelser på senhøsten/vinteren der mye av nedbøren vil opptre som regn, og det er liten teledannelse i grunnen (frost). Grunnvannsstanden er maksimal om vinteren og

grunnvannsstanden er avtagende utover våren og sommeren. I september er vannstanden normalt på sitt minimum før den stiger utover senhøsten/vinteren som følge av den karakteristiske høstnedbøren. (NVE 2009)

Variasjonene i grunnvannsstanden vil være av forskjellig størrelse, avhengig av tilstedeliggende geologiske grunnforhold. I moreneområder, som er typisk for de utvalgte avløpssonene i denne studien, er variasjonene ofte størst på grunn av liten effektiv porøsitet i grunnmassene (NVE 2009).

Kombinasjonen av høy grunnvannsstand og ett avløpsledningsnett i dårlig tilstand vil kunne gi store uønskede utslag på den konstante innlekkingen av fremmedvann. Det er særlig et stort problem i områder hvor avløpsledningsnettene ligger under grunnvannsspeilet. I slike tilfeller vil avløpsledningen kunne drenere grunnvannet i området gjennom utette skjøter, sprekker, kummer med mer. Motsatt vil spillvannet kunne lekke ut av avløpsledningen og påføre forurensninger på grunnvannskvaliteten.

Norges geologiske undersøkelse (NGU) og VAV har databaser hvor det for en del områder i Oslo er kartlagt grunnvannstand. NGU har i tillegg en rekke målestasjoner rundt om i landet som blant annet måler på grunnvann som parameter.

Oslo kommune Plan- og bygningsetaten (PBE) har digitalisert søkbare byggelovssaker hvor det finnes en mulighet for å gjøre ett avgrenset søk på hvilke eiendommer som har kjellere. På bakgrunn av digitale kartverktøy, som blant annet Google Earth, kan en gjennom flyfotoer med god oppløsning finne eiendommer med utvendige kjellertrapper og kjellervinduer, som indikerer eiendommer med kjellere. Flyfotoer er kun anvendbart i større urbane byområder og er på sitt beste bare et supplement til en visuell befaring av en lokalkjent person. Visuell befaring utføres enkelt, men er tidkrevende, ved å gå rundt i området og notere hvilke eiendommer som har kjellere. Figur 6.1.2. viser et foto fra befaringen i VMAL9\_S5, der kjellere ble identifisert ved funn av kjellervinduer. Store deler av området i VMAL9\_S5 er av samme bebyggelse, med kjellere.



*Figur 6.1.2. Lav bebyggelse bestående av leiligheter og vertikaldelte boliger i Ullevål Hageby fra tidlig 1900-tallet, med grunne kjellere. (Foto: Christopher Strauman)*

Grunnvannstanden i Oslo kommune er lite dokumentert, og den aktive grunnvannsovervåkingen er svært begrenset. Forsker Hans De Beer ved NGU viser til i en personlig meddelelse over telefon 12. september 2013, at grunnvannsstanden er synkende og at det arbeides for å prioritere større ressurser til grunnvannsproblematikken i hovedstaden. Det er nylig bevilget midler fra Byrådet til dette formålet og oppgavene er tenkt gjennomført av PBE. (Beer 2013)

Både menneskeskapte og naturlige årsaker kan forklare den synkende grunnvannsstanden. VAV hadde tidligere en egen avdeling for geologi, men av administrative årsaker ble denne tjenesten nedlagt for noen år tilbake. Huseiernes landsforbunds avdeling for eiendom (HLE) presser på, i sin årsberetning for 2011, for å gjenopprette geologiske tjenester i kommunen. Endring i grunnvannsstand kan ha alvorlige konsekvenser og påføre bygninger og andre konstruksjoner setningsskader, som i verst tenkelige utfall kan føre til kollaps (Huseiernes landsforbund 2012).

Norsk forskningsråd har bevilget støtte til Miljø2015-prosjektet Urban WATCH (Cultural Heritage and Water Management in Urban Planning), som er et samarbeid mellom Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKO), Norsk institutt for by- og regionsforskning (NIBR) og NGU, samt to internasjonale partnere. Prosjektet er et tverrfaglig forskningsprogram med formål om å øke kunnskapen om viktigheten av grunnvann for å bevare kulturminner for å stabilisere bygg og konstruksjoner. (NGU 2013)

I denne studien er det forsøkt å benytte eldre tilgjengelige måledata for de aktuelle avløpssonene. Ingelöv Eriksson i Oslo kommune PBE har bistått med adgang til dataene. Gamle undergrunnskart med informasjon om grunnvannsmålere og infiltrasjonsbrønner

ble studert, og aktuelle målepunkter ble avmerket. Der det ble gjort funn, ble tilhørende data hentet ut. Som et supplement ble det forsøkt å befare de fåtalls eksisterende og observerte målebrønnene, men de var meget vanskelig å finne. Enkelte brønner var nedlagte, noe som også fremkom i dataene, men mye tydet på at dataene ikke var oppdaterte. Flere brønner med registrert aktiv status virket å være fjernet. Andre årsaker til omfattende detektivarbeid bar preg av ufremkommelighet eller at brønnene var skjult på privat grunn. I de tilfeller der det ble lokalisert målebrønner, ble det utført en enkel momentanmåling av tilstedeliggende grunnvannsstand gjennom en poretrykksmåling ved bruk av poretrykkslange. I **Feil! Fant ikke referanseilden..** er en peilebrønn for poretrykksmåling anskueliggjort.



*Figur 6.1.3. Peilebrønn for grunnvannsstandmåling (poretrykk) ved John Collets Plass i Oslo, VMAL9\_S5 (Foto: Christopher Strauman)*

## 6.2. Visuell kuminspeksjon

En visuell kuminspeksjon er en anvendbar rask metode for å lokalisere fremmedvann av typen konstant innlekking (hydrologisk ubetinget) og tregt dreinsvann inn på avløpsledningsnett. Inspeksjonen bør utføres både i ett tørrværsdøgn og ett døgn etter en større nedbørhendelse, når grunnvannsstanden er høy. Inspeksjonen gjøres ved nedstigning og visuell inspisering i kummer på avløpsledningsnett, og bør samtidig innebære en grov estimering av vannføringen. En visuell kuminspeksjon med hensyn på estimering av vannføring er mest nøyaktig for avløpsledninger med rørdimensjoner mindre enn 300 mm diameter, som er tilfelle for de kummene som er inspisert i denne feltundersøkelsen. (Lundblad & Backö 2012)

Kummene og tilknyttede avløpsledningers tilstand, eventuelle synlige innlekkasjer i skjøter og kumvegg og grov estimering av vannføringen dokumenteres som et resultat av den visuelle kuminspeksjonen.

Metoden er hovedsakelig egnet utført uavhengig av tiden på døgnet. Det er likevel ofte hensiktsmessig å foreta den visuelle kuminspeksjonen basert på nattforbruket, når spillvannsproduksjonen er på sitt laveste. Undersøkelser om dagen er mulig, men morgen og kveld bør da unngås for å unngå de store vannføringstoppene. Dersom den visuelle inspeksjonen utføres om natten er det med større sikkerhet mulig å avgrense ledningsstrek med lite eller ingen fremmedvannsbidrag. Motsatt, kan det også være grunnlag for å avgrense problemstrek med vesentlige bidrag (Lundblad & Backö 2012). Dersom den visuelle inspeksjonen foretas på dagtid, vil resultatet bli langt mer usikkert på grunn av at spillvannsføringen er mye større på dagtid enn om natten. Risikoen for at feilaktige bedømmelser gjøres er vesentlig større dersom den visuelle inspeksjonen legges til dagtid. Av diverse praktiske hensyn har kuminspeksjonen i denne studien måttet bli begrenset til dagtid.

For å oppnå best resultat skal undersøkelsen alltid begynne nedstrøms og forflyttes oppstrøms. Om det oppdages konstant høy vannføring under tørrvær er det et signal om at det antageligvis har lekket drikkevann inn på avløpsledningsnett. Når det er periodevis høy vannføring under regnvær handler det ofte om fremmedvann i form av regn-, smelte-, grunnvann med mer.

Ved utførelse av en visuell kuminspeksjon bør følgende momenter tas i betraktning:

Tidspunkt på døgnet, værforhold og grunnvannsstand
--

Det optimale er å ha et så lite normal vannføring i avløpsledningen som mulig. Metoden er best egnet i villastrøk der vannføringen normalt sett er lave. (Brännlund 2010) Metoden gir liten mulighet til å bedømme effekten av eventuelle tiltak ettersom fremmedvannsmengden ofte er usikker. Derfor er det også liten mulighet til økonomiske bedømminger på om tiltak er lønnsomt eller ikke. Metoden suppleres senere med andre metoder, for å sikre vite om at det dreier seg om fremmedvann og om i hvilket omfang. (Lundblad & Backö 2012)

### 6.3. Momentanmåling av vannføring

Momentanmålinger av vannføring i målepunkter oppstrøms utslippspunktet er utført i de to aktuelle avløpssonene for denne studien, som et forsøk i å bestemme diffus eller konstant innlekking inn på avløpsledningsnett.

Thomas Martinsen og Aleksander Pham, begge fra Funksjon målegruppe avløp (FMA) i VAV, har bred tverrfaglig innsikt og lang erfaring med målemetoder på avløpsledningsnett. De har begge bistått i gjennomførelsen av vannføringsmålinger i denne feltundersøkelsen.

I dette avsnittet beskrives to metoder for momentanmåling av vannføring: *Posemetoden* og *Hastighet-areal metoden*.

#### 6.3.1. Posemetoden

Posemetoden er en mye anvendt metode for vannføringsmålinger i forbindelse med feltundersøkelser. Posemetoden er godt egnet for små vannføringer og utføres enkelt ved direkte oppsamling i dyp pose, derav posemetoden, med et kjent volum og en stoppeklokke for tidtakingen. Vannføringen oppgis som liter per sekund. Metoden forutsetter at bunnen i avløpsledningen er tilnærmet sirkulær og jevn, og at det er et visst fall på avløpsledningen. Sistnevnte for å unngå oppstuvning i avløpsledningen oppstrøms.

Metodens måleprinsipp går ut på å samle opp den totale vannføringen som renner i en rørledning i løpet av en målt tidsperiode. Metoden utføres ved at en person går ned i kummen med plastposen, mens en person blir stående oppe med en stoppeklokke. Denne personen fungerer samtidig som sikringsmann/kvinne. Plastposen som er benyttet i denne studien er i størrelsen 60 x 120 x 0,2 cm (bredde x lengde x tykkelse) og er utformet med en stiv bærestropp som gjør den lett håndterlig da den skal presses mot bunnen av røret, og da denne er stiv vil den slutte seg tett mot bunnen, slik at ikke noe vann vil renne under posen. Det er viktig å påse at posen er skikkelig rettet ut, for å unngå problemer som oppstuvning. Målemetoden ble ved enkelte tilfeller gjentatt flere ganger til oppnådd samme resultat, dette for å sikre kvalitet på målingene og eliminere tilfeldige feil/avvik. Forutsetter erfaring av den som utfører momentanmålingen. Metoden egner seg ikke til bruk ved større vannføringer, der Hastighet-areal metoden vil være bedre egnet. (Øyen 2002c)

Se illustrerende Figur 6.3.1. og Figur 6.3.2. på neste side.





Figur 6.3.2. Dyp pose med stiv kant for vannføringsmåling (Foto: Alexander Pham)



Figur 6.3.1. Utførelse av posemetoden i felt (Foto: Alexander Pham)

### 6.3.2. Hastighet-areal metoden

Hastighet-areal metoden kan benyttes på både spillvanns-, overvanns- og avløp fellesledningsnett, dersom det er tilstrekkelig vannføring ved målepunktet. Målingene kan utføres enten med bruk av en ultralyd- eller en propellmåler, avhengig av måleområde. Ultralyd vannhastighetsmåler er anvendbar for alle typer avløpsledningsnett, mens propellmåleren kun er egnet for OV-ledningsnett. Dette kommer av at i spillvannsførende ledninger vil ekskrementer og toalettavfall tette propellen, som hindrer den i å beregne hastigheten på vannføringen.

Metoden omfatter måling av vannhastighet, vannivå og dimensjon på ledningen. Måling av vannivået og ledningsdimensjonen gjøres manuelt med en meterstokk, og hastigheten måles ved bruk av en av de to forskjellige instrumentene.

#### Vannhastighet

Instrumentene måler etter to forskjellige prinsipper:

- 1) Hastigheten til en liten propell blir registrert av en sensor, som regner den om til vannhastighet. Resultatet blir så overført til selve instrumentet. (se Figur 6.3.4. på neste side)**
- 2) Ultralyd vannhastighetsmåleren måler tiden det tar fra sensoren sender ut et signal - som reflekteres fra væskeoverflaten og til det kommer tilbake til utgangspunktet. (se Figur 6.3.3. på neste side)**



Figur 6.3.3. Ultralyd vannhastighetsmåler (Foto: Christopher Strauman)

Flere faktorer er med på å bestemme instrumentenes målenøyaktighet. Ideelt bør målepunktet velges på en rett ledningsstrekning og unngå bend som vil kunne påvirke vannstrømmen. Også knutepunkter der flere avløpsledninger møtes bør unngås, ettersom det øker sannsynligheten for at oppstuvninger oppstår. Den aktuelle avløpsledningen vannføringen skal måles på må være fri for avleiringer, og det bør etterstrebes en konstant vannføring for hele måleperioden. Sensoren må plasseres mot strømmens retning, anvist med pil, og må holdes stødig i samme posisjon under målingen. Videre bør det være til stede en viss vannhastighet og vannivå i avløpsledningen. (Øyen 2002a)

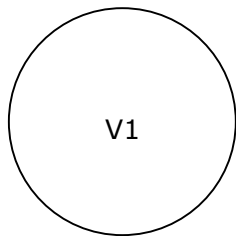


Figur 6.3.4. Propellmåler (Foto: Christopher Strauman)

En forutsetning for å oppnå gode måleresultater er å måle vannhastigheten på flere punkter i avløpsledningens tverrsnitt, som igjen krever at det er tilstrekkelig stor vannføring ved målepunktet. Nedenfor er det angitt tre metoder for beregning av middelvannhastigheter, basert på Øyen (2002a).

### Ett-punktsmetoden

Denne metoden er best anvendelig for lave vannivåer, fra 0,03 til 0,06 meter. Vannhastigheten måles i ett punkt i midten av tverrsnittet slik Figur 6.3.5. viser. Da metoden benyttes for svært lave vannivåer, vil sensoren være stor i forhold til vannivået. Sensoren vil ikke kunne være helt nedsunket i vann, noe som gir en betydelig usikkerhet. I Øyen (2002a) foreslås en usikkerhet til  $\pm 50\%$ .

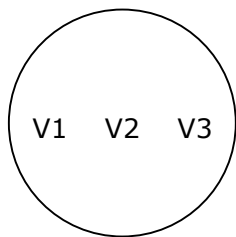


$$V_{\text{middel}} = V_1 \times 0,7$$

Figur 6.3.5. Ett-punktsmetoden

### Tre-punktsmetoden

Denne metoden er anvendelig for vannivåer fra 0,06 til 0,10 meter. Vannhastigheten måles i tre punkter på lik dybde i tverrsnittet. Målepunktene er henholdsvis i midten og på begge sidene slik Figur 6.3.6. viser. Da metoden benyttes for relativt lave vannivåer, vil vannføringen være sterkt påvirket av friksjon mot rørveggen. I Øyen (2002a) foreslås en usikkerhet til  $\pm 30\%$ .

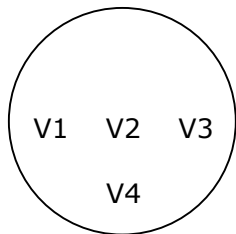


$$V_{\text{middel}} = \frac{1}{3}(V_1 + V_2 + V_3)$$

Figur 6.3.6. Tre-punktsmetoden

### Fire-punktsmetoden

Denne metoden egner seg best for vannivåer over 0,10 meter. Vannhastigheten måles på to nivåer. Tre punkter på lik dybde i tverrsnittet nær vannoverflaten (i midten og på begge sidene), og et fjerde punkt på det dypeste nivået i midten. Dette er anskueliggjort i Figur 6.3.7. Ettersom vannet strømmer raskere nær vannoverflaten, vil de tre målepunktene i det høyeste nivået gi høye vannhastigheter i forhold til det ene fjerde punktet i det dypeste nivået. Formelen nedenfor forsøker å ta hensyn til dette, men gir likevel en viss usikkerhet. I Øyen (2002a) foreslås en usikkerhet til  $\pm 30\%$ .



$$V_{\text{middel}} = \frac{1}{5}(V_1 + V_2 + V_3 + 2 \times V_4)$$

Figur 6.3.7. Fire-punktsmetoden

## Vannivå

Måling av vannivå kan være vanskelig og by på utfordringer. Den enklest gjennomførbare måten er å måle høyden fra bunnen av ledningen til vannoverflaten manuelt med en meterstokk, slik at vannivået kan leses direkte av. Dersom det er vanskelig å komme til, kan metoden gjøres indirekte ved å stikke en tørr pinne/stokk ned i vannet og deretter måle med en meterstokk hvor høyt fuktigheten har nådd. Det er viktig å tenke på at pinnen/stokken nedsunken i vannstrømmen vil forårsake oppstuvning oppstrøms, som vil gi et høyere vannivå som det må gjøres en korleksjon for. For store vannhastigheter vil det være ekstra vanskelig å måle ettersom pinnen/stokken vil komme til å få en avbøyning, grunnet den sterke vannstrømmen.

## Ledningsdimensjon

Oppgitt ledningsdimensjon i kartverktøy må alltid kontrolleres med manuelle målinger, dette fordi at innregistreringer i kartene kan være ukorrekte, røret kan være deformert i løpet av sin levetid eller at det er lagt inn strømpe i forbindelse med renovering som alle er med på å redusere ledningsdimensjonen. Det er på samme sett alltid innvendig diameter av røret som måles. Dimensjonen måles enklest ved en meterstokk. Som en kvalitetssikring for et nøyaktig måleresultat bør vannhøyden måles både fra bunnen av røret og opp, og fra toppen av røret og ned. Vater er også å foretrekke for å sikre at meterstokken er loddrett plassert, spesielt ved større ledningsdimensjoner.

## Beregning av vannføringen

Ved å legge inn verdier for fyllhøyde, ledningsdiameter og midlere vannhastighet, ble den midlere vannføringen beregnet etter kontinuitetslikningen og Mannings formel:

$$Q_{\text{middel}} = V_{\text{middel}} \times A$$

hvor

$$Q_{\text{middel}} = \text{Middelvannføringen (m}^3/\text{s} \times 1000 = \text{l/s)}$$

$$V_{\text{middel}} = \text{Middelvannhastigheten (m/s)}$$

$$A = \text{Arealet (m}^2) = \frac{(D)^2}{2 \left( 2 \times \arccos\left(\frac{1-H}{D}\right) \right) - \sin\left( 2 \times \arccos\left(\frac{1-H}{D}\right) \right)}$$

hvor

$$D = \text{Indre diameter på ledningen (m)}$$

$$H = \text{Fyllhøyden (m)}$$

(Øyen 2002a)

### **6.3.3. Tørrværs- og regnværsvannføring**

Ved å sammenligne tørrværs- og regnværsvannføring er det mulig å grovt estimere spillvannsbidraget, dette forutsatt ingen nedbørpåvirkning i tørrværsperioden og at den laveste vannføringen i løpet av et døgn utgjør spillvannet. På den måten er fremmedvann, etter den andre definisjon i avsnitt 3.1., alt øvrig vann i avløpssystemet som ikke er tørrværsvannføringen, altså spillvannet.

For mindre avløpssoner vil det være overkommelig å se hvordan forbruksmønsteret varierer over døgnet i en tørrværsperiode, slik at fremstillingen over er representativ. Motsatt, vil det for større avløpssoner med flere og ulike vannforbrukere være vanskeligere å sammenligne tørrværs- og regnværsvannføringen. Avstandene blir også her lengre, slik at det opptrer en naturlig treghet i avløpssystemet. Det er derfor mer viktig å avgrense til tidspunkt på dagen, hvilken ukedag og hvilken sesong man skal bestemme at tørrværsvannføringen representerer totalt spillvann. (Desserud 2013) Tørrværsvannføringen kan også bero på andre bidrag enn bare spillvann. Både konstant innlekking av grunnvann, drikkevann og sjøvann kan være potensielle bidrag. Grunnvannsføringen kan fremstå som relativt konstant selv lang tid etter en nedbørshendelse forårsaket tregheten i systemet.

#### **6.4. Kildesporing med fosfor- og ammoniummetoden**

Metodene benyttes ved stikkprøvetaking i avløpsledninger i undersøkelsesområdet og basert på kjemiske analyser av vannkvaliteten. Metodene anvendes for å bestemme spillvannsfortynningen, altså konsentrasjonen av spillvann ute på avløpsledningsnett, ved bruk av kjemiske parametere som fosfor og ammonium. Metodene tilpasses variasjonene i tilførselene på avløpsledningsnett.

Fosfor- og ammoniummetoden anvendes i hovedsak for lekkasjesøking på avløpsledningsnett. Prøvetakingen utføres på avløpsledningsnett, og om fosfor- og ammoniuminnholdet er lavt følges avløpsledningsnett oppstrøms inntil lekkasjen oppdages med høyere målt konsentrasjon. For beste resultat skal undersøkelsene starte nedstrøms for å kunne avgrense området for lekkasjen best mulig oppstrøms. Med denne metoden er det lett å sentrere søket i områder og spesielt utsatte ledningsstrek som bør være formål for videre utredninger. For å komme nærmere svaret kan undersøkelsesområdet avgrenses ytterligere og nye prøver tas. Konduktivitet, pH og hardhet på vannet er andre parametere som kan gi svar på lekkasjens lokalisering. (Brännlund 2010)

Bruk av fosfor- og ammoniummetoden til å beregne innlekkasjens størrelse og mengde krever imidlertid en del forutsetninger. Antall PE tilknyttet avløpssystemet må være kjent, samt middelværdien av spillvannsproduksjon per husholdning. Beregninger kan så gjøres for å bestemme hvor mye fremmedvann det må finnes for å få et ammoniuminnhold lik den aktuelle målte (Brännlund 2010).

Metoden er rask og kan gi resultater umiddelbart med bruk av mobile hurtigmålere egnet til feltundersøkelser. I tillegg kommer prøverør og reagens. Analysetiden er beregnet å være ca. 15 minutter for denne hurtigløsningen. I denne feltundersøkelsen derimot ble det vurdert hensiktsmessig å innhente avløpsvannprøver samtidig med den visuelle kuminspeksjonen, i de samme punktene, og levere prøvene for analyse til internt laboratorium hos Oslo VAV. Prøvene ble tydelig merket med dato, kumnummer (SID) og oppdragsnummer. Alexander Pham fra FMA har bistått undertegnede med prøvetakingen.

Ettersom de kjemiske analysene ble foretatt i etterkant av feltundersøkelsen, ble fremgangsmåten en litt annen enn den som er beskrevet ovenfor. Istedenfor å avgrense prøvetakingen basert på momentane målinger av konsentrasjon underveis, ble prøver hentet inn for alle de aktuelle prøvepunktene på en gang og analysert i etterkant. Fosfor- og ammoniumkonsentrasjonen ved de ulike prøvepunktene kunne så etter resultatene fra laboratoriet plottes inn på et standard kart, skaffet til veie fra GeminiVA, og deretter lokalisertes mulige innlekk av fremmedvann.

Kildesporing med fosfor- og ammoniummetoden er best egnet i villaområder der vannføringene normalt er lave. Aller helst i områder med 100 % spillvannssystemer for at været ikke skal spille noen stor rolle. Ved langvarig tørke derimot, går det fint å anvende metoden i fellessystemer uten problemer (Brännlund 2010). Prøvetakingen fant sted ett tørrværsdøgn, men uten noen langvarig periode uten nedbør, slik at lave konsentrasjoner forårsaket hydrologiske prosesser var en mulig virkning.

#### **6.4.1. Fosfor**

Fosforberegningene er utført med å sammenlikne initialkonsentrasjonen av total-fosfor (Tot-P) mot målte verdier ute på avløpsledningsnett. Metoden er selvsagt meget grov, men gir en viss identifikasjon av fremmedvannets betydning. Beregningene er gjennomført med en antakelse om at fremmedvann ikke inneholder fosfater og at fremmedvannets påvirkning i avløpssystemet vil medføre fortyninger og lavere fosforkonsentrasjoner. Med utgangspunkt i Norsk Vanns spesifikke standardtall for norsk kommunalt avløpsvann (Ødegaard 2012) antas fosforkonsentrasjonen i «rent» spillvann, uten påvirkning av fremmedvann, til 12 mg fosfor per liter. Fortynningsgraden indikerer utspedningen av annet vann mot spillvannsproduksjonen.

Spillvann inneholder fosfater som kommer fra avføring og diverse vaskemidler. Ved å tilsette molybdereagens blir det dannet et blått fargestoff. Hvis vannprøven blir blå, er det stor sannsynlighet for at prøven er spillvannspåvirket. Sterkere blåfarge, dess mer fosfor, og dermed spillvann, inneholder prøven. Dersom prøven inneholder hydrogensulfid vil dette hindre fargeutvikling, dette kan skje i meget forurenset eller stagnert vann. Lukt av hydrogensulfid er også en indikasjon på spillvann.

Visse typer industriutslipp kan inneholde fosfor fra kjemikalier. Dersom vannføringen er lav og prøvepunktet er i nærheten av industriområder er det mulig at konsentrerte kjemikalieutslipp kan forstyrre påvisningen av fosfor. Likeledes for ammoniummetoden i avsnitt 6.4.2. I denne studiens avløpssoner er det ingen store industriområder, slik at det ikke er noen reel fare for ytre forstyrrelser forårsaket kjemikalieutslipp.

Før prøvetakingen kan utføres må rørbunnen renses fri for begroing og slam i den grad det er mulig. Prøveflasken skylles med prøvevannet, før den endelige prøvetakingen. Prøven tas direkte fra avløpsledningen til flasken, som transporteres innenfor kort tid til laboratoriet. Prøvepunkter må velges til de steder på avløpsledningsnett der vannføringen er mest mulig homogen og godt blandet, og ingen påkobling av private stikkledninger bør finne sted nærme målepunktet oppstrøms.

#### **6.4.2. Ammonium**

Ammoniummetoden er på lik linje med fosformetoden en kjemisk prøvetakingsundersøkelse for lekkasjesøking ute på avløpsledningsnett, og utføres etter samme fremgangsmåte som beskrevet ovenfor i avsnitt 6.4.1.

Ett konsentrert spillvann inneholder mellom 35 og 45 mg ammonium per liter. Ved et lavt ammoniuminnhold, < 20 mg/l er spillvannet fortynt og påvirket av en eller annen form for innlekkasje, og vice versa. Det kan være innlekkasjer i form av drikkevann, overvann, sjøvann og/eller grunnvann med mer.

Ammoniummetoden kan brukes for å bestemme spillvannsmengden i en vannprøve, med en verdi for konsentrasjon av ammonium. Avløpsvannet inneholder ammonium som kommer hovedsakelig fra urin og diverse vaskemidler. Ved å tilsette kjemikalier får vi

dannet et gult fargestoff. Sterkere gulfarge, dess mer spillvann er det i vannprøven. Det er altså en metode for å bestemme spillvannsfortynningen i en avløpsvannprøve. Prøven kan grovt vurderes visuelt, men i denne studien var det ønskelig for mer nøyaktige verdier. Vannprøvene ble levert laboratoriet på Oslo VAV, der prøvene måles i en komparator som sammenligner fargen på prøven med fargene på glassplater på en fargeskive i komparatoren. Henvises til ytterligere metodebeskrivelse fra laboratoriet.



## 6.5. Rørinspeksjon

Rørinspeksjon, tidligere og mindre konkret omtalt som «TV-inspeksjon», av avløpsledninger er en anerkjent metode for å innhente informasjon om avløpsledningsnettets fysiske tilstand. Rørinspeksjon omfatter kvalitetskontroll av både eksisterende og nye avløpsledninger satt i drift, og kan være med på å avdekke og lokalisere røtter, sprekker, rørbrudd og andre potensielle fremmedvannskilder på avløpsledningsnettet (Bernhus et al. 2007). Det er vel å merke seg at om en innlekkasje blir oppdaget gjennom en rørinspeksjon er arbeidet lett med å lokalisere kilden, likevel er metoden bedre egnet for å finne røtter, rørbrudd osv. (Brännlund 2010). Metoden har gjennomgått en storstilt utvikling både når det gjelder utstyr, inspeksjonsstrategier og rapportering siden sin opprinnelse i Norge på tidlig 1970-tallet. Eivind Koch rørinspeksjon AS var det første norske firmaet som i 1972 begynte med rørinspeksjon av avløpsledninger med profesjonelt kamerautstyr (Eivind Koch rørinspeksjon AS 2013).

Rørinspeksjon Norge (RIN) er en interesseforening etablert i 1994, som jobber aktivt for å fremme aktiviteter på vann- og avløpsledningsnettet gjennom kompetanseutvikling og kvalitetssikring av personell, utstyr og inspeksjonsrutiner (Rørinspeksjon Norge 2013). RIN er en medlemsfinansiert forening der medlemsmassen hovedsakelig kommer fra kommuner, interkommunale selskaper (IKS) og private firmaer. RIN har et nært faglig samarbeid med Norsk Vanns faggruppe «Ledningsnett», med mål om medvirkning til bedre anleggs- og driftsutførelse av vann- og avløpsledningsnettet.

Norsk Vann, tidligere NORVAR, rapport 150/2007 «Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger» trekker frem viktige motiverende faktorer for bruk av rørinspeksjon til undersøkelse av tilstanden i avløpsledningsnettet. Disse er kort oppsummert nedenfor:

- Lokalisering av driftsmessige feil og svakheter
  - Kontroll og kartlegging av avløpsnettets tilstand (materialtekniske skader)
  - Detaljplanlegging før reovering (vurdere bruk av gravefrie metoder «Nodig»)
  - Overvåking av viktige hovedledninger
- (Bernhus et al. 2007)

Rørinspeksjon er basert på innvendig undersøkelse av avløpsledninger med hjelp av et TV-kamera som er festet til en selvgående fjernkontrollstyrt «robotbil», som kjøres gjennom avløpsledningene som ønskes inspisert. Bildene lagres sammen med inspektørens tilhørende lydkommentarer i et TV-format (Lundblad & Backö 2012). Figur 6.5.1. anskueliggjør et typisk skjermbilde fra en rørinspeksjon utført i VMAL9\_S5, Prestegårdsveien i Oslo datert 12.09.2008.



Figur 6.5.1. Begroing i avløpsledningsnett i VMAL9\_S5, Prestegårdsveien i Oslo.

Arbeidet med vurdering og evaluering av utførte inspeksjoner gjøres på bakgrunn av Norsk Vann, tidligere NORVAR, rapport 145/2005 «Inspeksjonsmanual for avløpssystemer». Rapporten omfatter metodikk for utførelse av rørinspeksjon og beskriver hvordan rørinspeksjon av avløpsledninger skal rapporteres med støtte i et nordisk samarbeid og Europastandarden for rørinspeksjon av avløpssystemer, NS-EN 13508-2. (Bernhus et al. 2007)

Dersom hensikten med rørinspeksjonen er å spore fremmedvannskilder og de punktene på avløpsledningsnett der vannet lekker inn, bør inspeksjonen foretas i perioder der sannsynligheten for innlekking er størst, som for eksempel under eller rett etter en stor nedbørshendelse eller snøsmelting. Utover dette kan en mer generell tilstandsundersøkelse foretas ubetinget de hydrologiske forhold. Best utnyttelse av rørinspeksjon oppnås likevel ved utførelse både i ett tørrværsdøgn og i et tilfelle med regnvær. Det er viktig at den som er ansvarlig for rørinspeksjonen er gjort kjent med rørinspeksjonens formål, som i et tilfelle kan være synlige innlekkasjer av fremmedvann. Videre er det avgjørende at vedkommende har tilgang til riktig og detaljert kartverk, der resultatet og rapporteringen fra rørinspeksjonen lett kan implementeres i kommunens databaser med korrekt identifikasjon og nummerering av kummer (kalt SID). For å effektivisere arbeidet og få mest mulig ut av rørinspeksjonen, bør avløpsledningsnettet spyles i forkant av inspeksjonen, dette for å redusere avløpsstopp, forbedre sikten og gjøre det lettere for «robotbilen» å kunne ta seg frem i avløpsledningene.

Som en supplerings til rørinspeksjon av de kommunale avløpsledningene gjør ny teknologi det mulig å inspisere private stikkledninger med et satellittkamera som er montert på det ordinære kameraet, og som kan vinkles og trykkes opp i stikkledningen ved hjelp av en spesialdesignet rørarm på «robotbilen». Dette gjør det lettere å oppdage feil og mangler på spillvannsførende stikkledninger. (Lundblad & Backö 2012).

Å anvende rørinspeksjon alene uten noen form for vannføringsmålinger eller visuell inspeksjon anbefales ikke, da det er vanskelig å identifisere eventuelle innlekkasjer som kommer nedenfra og trenger inn i avløpsledningen gjennom rørbunnen, og som normalt dekkes av vannivået i avløpsledningen. Det er nyttig å på forhånd ha kunnskap om fremmedvannsmengden i de ledningsstrekke som skal inspiseres, dette er avgjørende for å gjøre en kvalifisert bedømming med tanke på valg av kostnadseffektive tiltak og fremmedvannsreducerende tiltak (Lundblad & Backö 2012). I denne feltundersøkelsen sees rørinspeksjonen i sammenheng med andre målbare metoder.

Rørinspeksjon er både tids- og kostnadskrevende. Derfor er det viktig å ha tydelig definert formålet med inspeksjonen på forhånd. I denne studien har målet vært å benytte eksisterende videoer og rapporter fra tidligere utførte rørinspeksjoner i de to aktuelle avløpssonene. Oslo VAV benytter operatørprogrammet WinCan v8 for rapportering av rørinspeksjon, og har i dag opparbeidet seg en stor database med datamateriale som beskriver tilstanden på avløpsledningsnettet i store deler av hovedstaden. Inspeksjonsformene som har vært benyttet er forholdsvis lokalisering av feilkilder som kan være årsak til innlekking av fremmedvann, samt en kartlegging av avløpsledningenes fysiske tilstand innebærende materialtekniske skader og om det er behov for utbedring.

Observasjoner gjort underveis er kort beskrevet i resultatdelen, avsnitt 9.5.

Oslo VAV har utarbeidet en egen intern rapport «Vurdering av rørinspeksjoner på avløpsledninger i Oslo» (Nilo et al. 2012), som et supplement til Norsk Vann sin veiledning 150/2007 «Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger». Rapporten beskriver Oslo VAV sitt interne system for klassifisering av observasjoner fra rørinspeksjoner. Rørinspektøren rapporterer mangler og skader i form av gradsfeil inn til Tiltaksplanlegging avløp, hvor tiltaksplanleggeren analyserer dataene og kommer opp med en konsekvensvurdering av hver enkelt inspisert avløpsledning på bakgrunn av skadeomfang dersom utbedringstiltak ikke iverksettes. Med grunnlag i en helhetlig materialteknisk og konsekvensmessig vurdering fastsettes en tilstandsklasse. Det er en sterk korrelasjon mellom konsekvensnivå og tilstandsklasse, som sammen med en betegnelse på de fire ulike nivåene og klassene er anskueliggjort i tabell 6.1.

Tabell 6.1. Sammenheng mellom konsekvensnivå og tilstandsklasse, angitt med fargekoder og beskrivelse av tilstand (Adaptert fra Nilo et al. 2012)

Konsekvensnivå	Tilstandsklasse	Betegnelsen på tilstand	Beskrivelse
Ingen konsekvens	1	God	Avløpsledningen er helt funksjonsdyktig
Liten konsekvens	2	Brukbar	Avløpsledningen har feil, men disse er ikke vesentlige for ledningens stabilitet eller funksjon
Stor konsekvens	3	Tvilsom	Avløpsledningen har vesentlige feil
Kritisk konsekvens	4	Dårlig	Avløpsledningens funksjon er ikke lenger opprettholdt

## 6.6. Kontroll av nattvannforbruket

Kontroll av nattvannforbruket er en metode som utføres ved å undersøke vannføringen i avløpsledningsnettets nattestid. For et større avløpsledningsnett vil laveste nattvannføring representere den konstante innlekkingen i avløpsledningsnettets uavhengig nedbøren.

Dette er et resultat og en metode av stor betydning for å gjøre en prioritering av hvilke områder som bør utredes videre i detalj. Undersøkelsen bør utføres i ett tilfelle med tørrvær og i ett tilfelle med høy grunnvannsstand, typisk ved større nedbørshendelser eller snøsmelting.

I denne studien er det kun anvendt en visuell kontroll av nattvannforbruket ved å studere registrerte vannføringsdata i sammenheng med nedbørsdata, for å anslå fremmedvannsmengden både i ett tørrværsdøgn og ett nedbørsdøgn. Denne avgrensningen av metoden kommer av at det ikke har vært praktisk mulig å gjennomføre momentanmålinger av vannføring nattestid. Likevel sees det ikke som noen stor ulempe, da vannføringsdataene er tilstrekkelige for en grov bedømming.

## 6.7. Andre potensielle lekkasjesøkingmetoder, men som ikke har kunnet gjennomføres

### 6.7.1. Trykkreduksjon på drikkevannsledningsnett

Den eksakte effektiviteten til de individuelle fremmedvannsreduksjonstiltakene er ikke dokumentert. Det var i studiens oppstartsfasen meget ønskelig med en case studie med mål om å studere og vurdere trykkreduksjon på drikkevannsledningsnett som et konkret tiltak og undersøke hvorvidt det har en fremmedvannsreducerende effekt.

I Oslo er drikkevannsl lekkasjene antatt å representere minimum 20 % av drikkevannsproduksjonen. Disse lekkasjene metter grøftemassene med vann som

drenerer ned i utette avløpsledninger. Derfor er reduksjon av drikkevannsl lekkasjer et meget nyttig tiltak for å redusere fremmedvann.

Forestillingen om trykkreduksjon ble forkastet tidlig i løpet av høsten, da det ble bedømt som en fare for vannforsyningsikkerheten i de aktuelle avløpssonene som da var ønskelig testet ut. Det ble begrunnet med at det var store høydeforskjeller inne i trykksonen.

### **6.7.2. Kildesporing med hensyn på klor**

Avløpsvannet kan også analyseres med hensyn på klor gjennom tilsetning av fargereagens. Om prøven gir utslag for kloroverskudd antas fremmedvannskilden å være drikkevann. På den måten er det mulig å si noe om fortynningen av avløpsvannet er på bakgrunn av tilsig fra grunnvannet eller lekkasjer på drikkevannsledningsnettet (Lundblad & Backö 2012). Ettersom det tilsettes meget små mengder klor på Oset Vannbehandlingsanlegg, som forsyner de to utvalgte avløpssonene VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5, ville ikke laboratoriepersonalet hos VAV anbefale å benytte klor til dette formålet. Anbefalingen ble etterfulgt, da også sannsynligheten for dårlige og svært usikre måleresultater var meget stor.

## **Del III: Resultater og diskusjon**



## 7. Beskrivelse av studiens utvalgte avløpssoner

Gemini VA er et geografisk informasjonssystem (GIS) som benyttes blant mange kommuner, som et verktøy for administrering av sine respektive vann- og avløpsdatabaser. Gjennom Gemini VA er kommunens vann- og avløpsledningsnett lett tilgjengelige. All informasjon om ledningsnettets elementer er registrert i databasen.

Gemini VA er også en kilde for andre relevante opplysninger som topografi, vannflater, tette flater, mark, bygninger og veger e.l.. Etter anbefalinger av Torres (2013) i sin studie ble overnevnte informasjon eksportert til GIS-programvaren ArcMap 10.1, som har bedre muligheter for dataanalyse og samtidig har større brukervennlighet.

Dataene er brukt som grunnlag for bestemmelse av avløpssonenes egenskaper, inndelt etter om det er av geografisk eller avløpsledningsnettets karakter.

- **Geografiske egenskaper:**  
som for eksempel totalt areal, areal av veg og bygninger, grunnforhold osv.
- **Avløpsledningsnettets egenskaper:**  
som for eksempel type avløpssystem, gjennomsnittlig ledningsalder, ledningslengde, materiale osv.

### 7.1. Geografiske egenskaper i studiens avløpssoner

#### 7.1.1. Tette flater og bebyggelse

Kategorisering av de impermeable (tette) flatene i studiens utvalgte avløpssoner er fastsatt med opplysninger fra digitale kartverk og GIS-verktøy tilgjengelig hos Oslo VAV. Innhentet informasjon er basert på opplysninger om hustak og veger, og er dermed mangelfullt når det angår tette flater som oppkjørsler, parkeringsplasser med mer, som vil kunne ha en påvirkning på de tette flatene. Også naturlige tette flater forårsaket nærmest impermeable grunnforhold med lav gjennomtrengelighet av vann, som for eksempel leire og bart fjell, kan være med på å øke avrenningen og tilføre større fremmedvannsmengder på avløpsledningsnettets.

Arnell et al. (1980) anbefaler å estimere såkalt «deltagende tette flater», ettersom ikke alle tette flater er tilknyttet avløpsledningsnettets, og samtidig for at også de permeable flatene kan bidra med avrenning. Da ofte dette momentet ikke tas i betraktning, vurderes andel tette flater for høyt (Ødegaard 2012).

I denne studien er veger og bygninger benyttet som indirekte mål for bestemmelse av avløpssonenes andel tette flater. Den totale andelen tette flater i VMAL8\_S2 er 21,2 prosent eller 11 hektar av avløpssonens totale areal som er 52 hektar. For VMAL9\_S5 er andelen tette flater noe høyere, 25,7 prosent eller 9 hektar av avløpssonens totale areal som er 35 hektar. Begge avløpssonene passer beskrivelsen av overflatetypen «Åpne eneboligstrøk», definert av Mays (2001) med en maksimal avrenningskoeffisient i sjiktet 0,2-0,3.

VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5 utgjør hovedsakelig lav boligbebyggelse bestående av leiligheter, eneboliger og vertikaldelte boliger, i tillegg er det etablert et fåtalls industri-

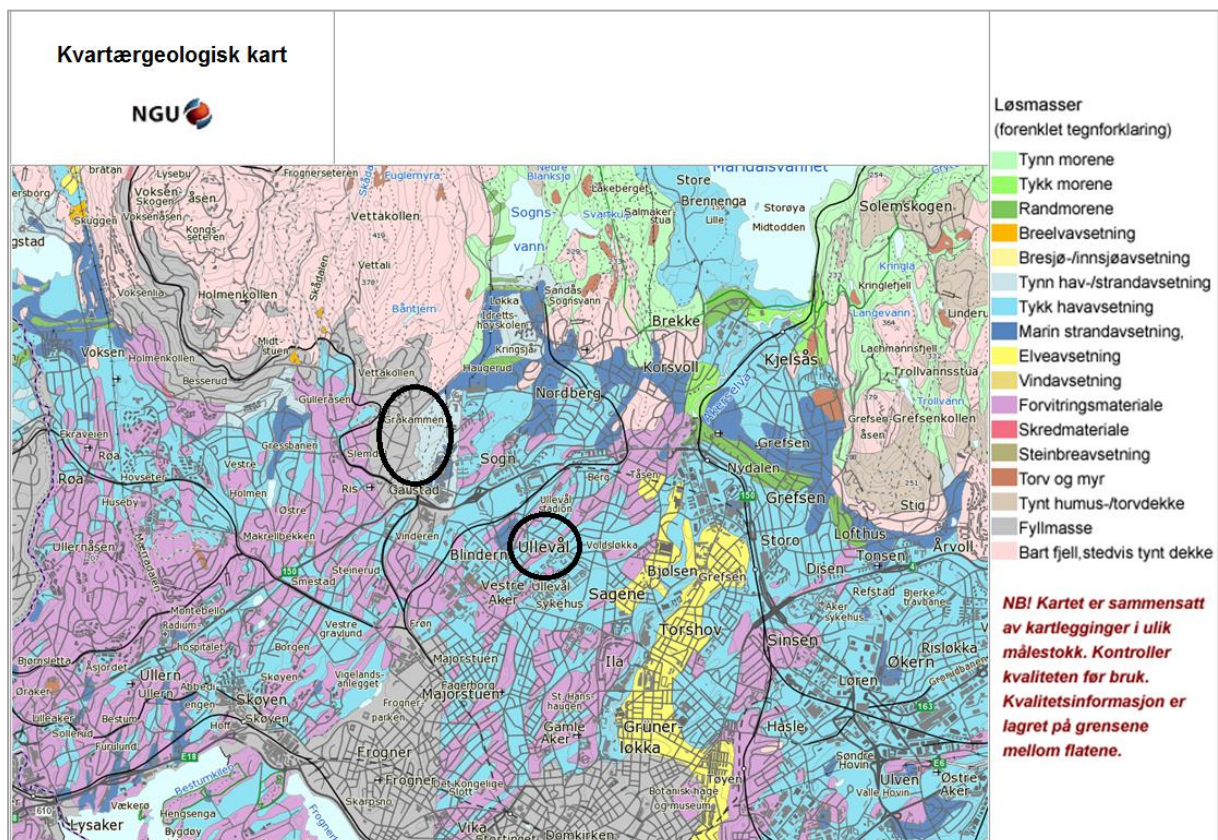


og næringsvirksomheter. Sistnevnte er gjennomgående barneskole (VMAL9\_S5), barnehager og små lokale næringer (begge). Totalt antall personenheter (PE) er 1453 PE for VMAL8\_S2 og 1933 PE for VMAL9\_S5.

### 7.1.2. Grunnforhold

Geologiske egenskaper som kvartærgeologi (løsmasser) og berggrunn er betydende for overflateavrenning, og dermed også andelen fremmedvann på avløpsledningsnettet. Et toppdekket bestående av naturlige permeable flater som sand og grus, har god infiltrasjonsevne og bidrar til å redusere den direkte hydrologisk betingede fremmedvannskomponenten med mindre vann som renner av på overflaten. Motsatt effekt vil skje med et impermeabelt toppdekke. Tilstedeliggende grunnforhold er på den måten meget avgjørende for hvor mye vann som opptas i grunnen, og vil også kunne påvirke strømningsforholdene i grunnvannet. Grunnvannet vil normalt følge terrengoverflaten, og helingen på terrenget vil bestemme grunnvannets bevegelse. Grunnvannets oppførsel styres av gravitasjonen hvor grunnvannet til enhver tid strømmer fra høyereliggende til lavereliggende områder, hvor blant annet avløpsledningene ligger i en dyp utgravd grøft. Av den årsak har grunnvannsnivået stor betydning for innlekking av fremmedvann på avløpsledningsnettet.

Vurdering av grunnforhold er gjort med bakgrunn i kvartærgeologiske- og berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse (NGU). Berggrunnen i begge avløpssonene består av sedimentære bergarter som leirskifer og kalkstein. Løsmassekartet i Figur 7.1.1. illustrerer de ulike løsmassene, og det er marine hav- og strandavsetninger (impermeabel) som er dominerende for studiens aktuelle avløpssoner.



Figur 7.1.1. Kvartærgeologisk kart som omfatter studiens avløpssoner (NGU 2013)

## 7.2. Avløpsledningsnettets egenskaper i studiens avløpssoner

### 7.2.1. Systemtype

Tabell 7.1. beskriver systemfordelingen i studiens to utvalgte avløpssoner.

Det observeres en betydelig overvekt av fellessystemer i begge avløpssonene. Høyeste prosentandel av separatsystemer finnes i VMAL8\_S2, hvor omtrent 1/7 av total ledningslengde tilsvarer separatsystemer.

Tabell 7.1. Oversikt over systemtype for studiens avløpssoner

Avløpssone	SP km	AF km	Total km
VMAL8_S2_A	0,00	0,26	0,26
VMAL8_S2_B	0,23	0,32	0,56
VMAL8_S2_C	0,12	0,68	0,80
VMAL8_S2_D	0,00	0,38	0,38
VMAL8_S2_E	0,00	0,41	0,41
VMAL8_S2_F	0,00	0,20	0,20
VMAL8_S2_G	0,46	2,86	3,32
VMAL9_S5_1	0,08	1,01	1,09
VMAL9_S5_2	0,26	0,48	0,74
VMAL9_S5_3	0,10	0,54	0,64
VMAL9_S5_4	0,00	0,26	0,26
VMAL9_S5_5	0,15	0,98	1,13
VMAL9_S5_6	0,00	0,37	0,37
VMAL9_S5_7	0,00	0,43	0,43
VMAL9_S5_8	0,00	0,34	0,34

Det er i forkant av studien forventet at separatsystemer bidrar til mindre innlekking av fremmedvann på avløpsledningsnett. Dette er ingen synlig effekt på bakgrunn av de gjennomførte momentanmålingene av vannføring i avsnitt 9.3. Likevel er det dermed ikke sagt at systemtype ikke innvirker på fremmedvannsmengden, det er bare slik at denne studien ikke viser en slik tendens.

I Figur 7.2.1. er fordelingen av systemtype anskueliggjort for VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5. Rød markerer fellessystemer og grønn separatsystemer.



Figur 7.2.1. Fordeling av systemtype i VMAL8\_S2 (t.v.) og VMAL9\_S5. Rød markerer fellessystemer og grønn separatsystemer.

### 7.2.2. Stikkledninger

Stikkledninger er en fellesbetegnelse for vann- og avløpsledninger mellom den kommunale hovedledningen og eiendommen, og kan være en ikke ubetydelig kilde til fremmedvann. Trond Andersen, prosjektleder i Norsk Vann, anslår at private stikkledninger utgjør omtrent 50 prosent av drikkevannslekkasjene. Det er et grovt anslag, hvor eksakte tall ofte er vanskelig å dokumentere. Anboringspunktene på de kommunale hovedledningene er ansett som hovedkilden, hvor de største lekkasjene oppstår (Andersen 2011).

Norsk Vann er av den oppfatning av at det kan virke som at stikkledninger per i dag ikke har vært tilstrekkelig prioritert i forbindelse med lekkasjesøking og rørinspeksjon. Det er ventet at RIN vil legge større vekt på dette i tiden fremover. Norsk Vann er involvert i et pågående prosjekt «Stikkledninger - ansvar og teknisk utforming», planlagt ferdig juni 2014. (Andersen 2011)

Et mye omdiskutert og aktuelt tema er diskusjonene om hvor grensesnittet mellom offentlig og privat ledning skal gå. Noen vil mene at det naturlig må være ved anboringspunktet på hovedledningen, mens andre heller mer mot tomtegrensen eller helt inn ved husveggen på eiendommen.

Flere kommuner arbeider med å avklare ansvaret for stikkledninger. Stavanger var første kommune i Norge til å ta myndighetsansvar ved å overta eierskapet for private stikkledninger i 2012. Tiltaket er ment for å sikre bedre vedlikehold og tilsyn med avløpsledningsnett i kommunen. Dette gjør arbeidet med å spore lekkasjer og

feilkoblinger lettere for kommunen. Abonentene kommer også godt ut av det, de slipper økonomiske bekymringer i forbindelse med reparasjoner og andre driftskostnader, enn de ellers kanskje måtte ha hatt. Overtagelsen i Stavanger gjaldt bare stikkledninger i offentlige gater og veger, som hovedsakelig omfatter anboringspunktene på hovedledningen (se Figur 7.2.2.). (Stavanger kommune 2013). Abonenten eier og har selv ansvaret for stikkledningen på egen eiendom, også om den går under en annens eiendom. Eiendommens beliggenheten er med andre ord avgjørende for ansvarsfordelingen, og hvor mange meter stikkledning den enkelte abonnent selv er ansvarlig for. Men som tidligere nevnt er grensesnittet omdiskutert og vannbransjen må arbeide for å komme frem til gode tekniske og rettferdige løsninger, som gagnar begge parter.



Figur 7.2.2. Anboring av stikkledning på kommunal hovedledning (Stavanger kommune 2013)

## 8. Modelling fremmedvann

Fremmedvannskomponentene i modellen:

**Additional flow** Konstant innlekking

**Groundflow and interflow** Variabel innlekking og treg drensvann

**Overland flow** Avrenning fra ikke tette flater og raskt drensvann

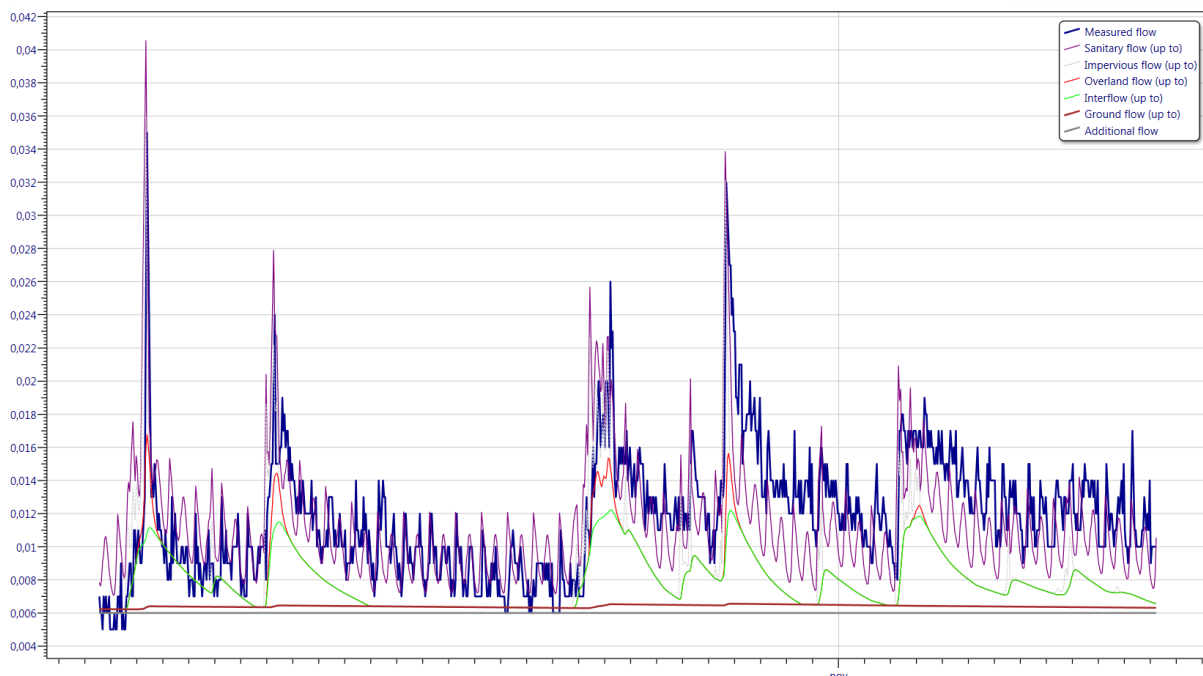
**Imperivious flow** Rask nedbøravrenning

**Sanitary flow** Spillvann

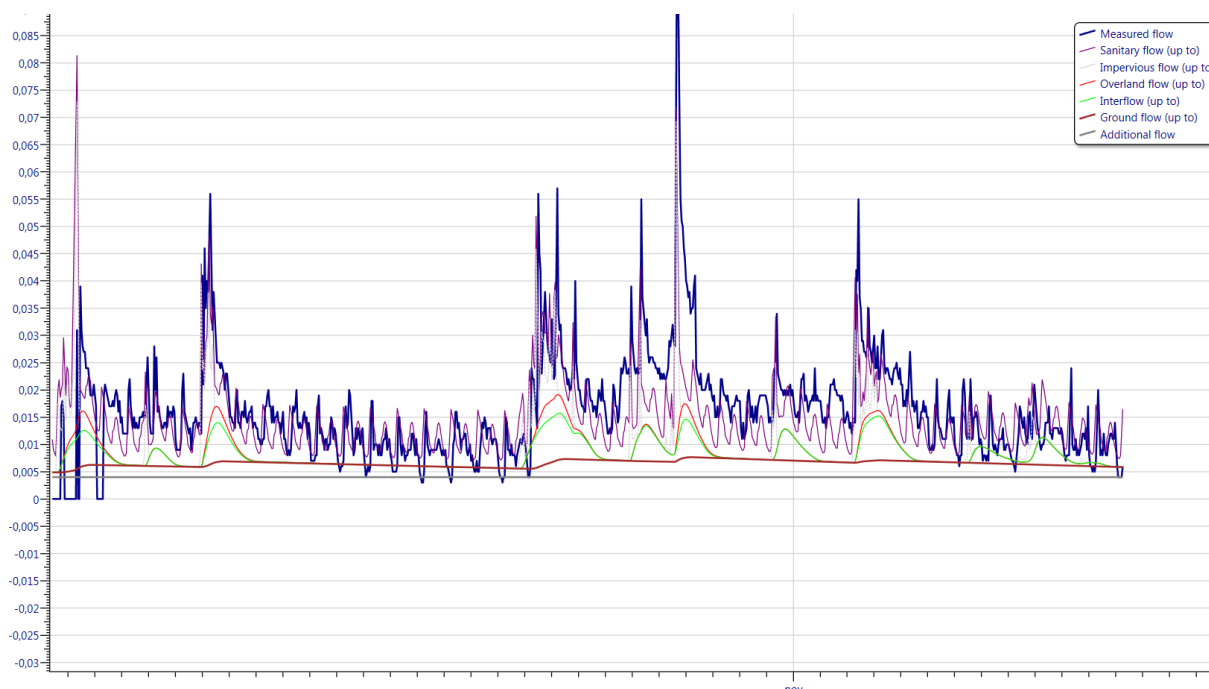
### 8.1. Simulering

Eksempler på gjennomførte simuleringer er anskueliggjort i figur x.x.x. og x.x.x.

Den **blå** linjen representerer den målte vannføringen, som sammenliknes med den simulerte vannføringen markert med **lilla** linje. Den **røde** linjen representerer avrenning fra ikke tette flater og raskt drensvann, og området avgrenset av den lilla linjen og den røde linjen utgjør de tette flatene. Den **grønne** linjen representerer treg drensvann, **brun** linje representerer variabel innlekking og den **grå** linjen representerer den konstante innlekkingen.



Figur 8.1.1. Sammenlikning av simulert- og målt vannføring i VMAL8\_S2, oktober-november 2013



Figur 8.1.2. Sammenlikning av simulert- og målt vannføring i VMAL9\_S5, oktober-november 2013

Av Figur 8.1.1. og Figur 8.1.2. observeres en relativ visuelt god korrelasjon mellom målt (blå) og simulert vannføring i begge avløpssoner i tidsrommet for kalibreringen, 4. oktober - 13. november 2013. Kalibreringsperioden er forholdsvis kort, med vannføringsmålinger over 40 dager. Likevel er perioden antatt å være tilstrekkelig for en god representasjon av den gjennomsnittlige avløpsvannføringen for høsten, med både tilfeller av intensive nedbørshendelser og lange tørrværsperioder. Da grunnvannsnivå og meteorologiske faktorer til tider varierer mye gjennom året, kan resultatet fra modellsimuleringen bare være kvalifisert for en grov forståelse av avløpsvannføringen i de to utvalgte avløpssonene. Videre er det viktig å ha i tankene, at en god optimalisert modell bare kan være en tilnærming til virkeligheten.

Figur 8.1.1. og Figur 8.1.2. illustrerer begge enkelte urimelige data i begynnelsen av simuleringen, hvor den målte vannføringen (blå linje) er lik null og faller under den konstante innlekkingen (grå linje). Dette er mest sannsynlig en feil med måleinstrumentet i forbindelse med innstallering. Målingene observeres mer riktig etter bare et par dager senere. For særlig den første toppen i Figur 8.1.2. er det simulert en for høy vannføring. Samtidig er det gjennomgående for hele simuleringen i begge avløpssonene at kalkulert total vannføring er noe lavere enn den som er målt.

### 8.1.1. Datainnsamling

Modellen forutsetter tilstrekkelige tidsserier av meteorologiske- og vannføringsdata, som beskrevet i avsnitt 5.4., og krever at brukeren definerer et tidsrom for de meteorologiske tidsseriene (kalkuleringsperioden) og vannføringstidsserien (kalibreringsperioden). Kalkuleringsperioden er med på å sette initialbetingelsene for modellen før kalibreringen kan begynne, og bør derfor inneha data fra minimum ett år før vannføringstidsserien. Lengre tidsserier, desto sikrere og bedre utgangspunkt for en mer pålitelig kalibrering. I

denne studien ble det valgt å hente inn data fra inntil hele tre år i forkant. Kalibreringsperioden er den avsluttende delen av kalkuleringsperioden, som på den måten utgjør hele simuleringen fra start til slutt.

En oversikt over tidsserier som er innhentet i RDII-modellen er gitt i Tabell 8.1. og Tabell 8.2..

Tabell 8.1. Datainnsamling til bruk i RDII-modellen for VMAL8\_S2

Måletype	[...]	Lokalitet	Måleperiode	Kommentar	Kilde
Vannføring SID: 150588	[t + m <sup>3</sup> /s]	VMAL8_S2	4.10.2013 - 19.11.2013	Lokalisert ved utløpet av avløpssonen. Høy vannhastighet!	regnbyge.no
Nedbør	[t + mm]	Nordre Aker skole, Oslo	4.10.2013 - 14.11.2013	God plassering på hustak i nærhet av avløpssonen.	regnbyge.no
Nedbør	[t + mm]	Blindern, Oslo	15.10.2010 - 4.10.2013	Benyttes til å sette initialverdier til RDII- magasinene.	eklima.no
Fordampning	[t + mm]	Blindern, Oslo	1.1.2010 - 13.11.2013	Måling den 01. i hver måned.	NVE
Temperatur	[t + °C]	Blindern, Oslo	15.10.2010 - 26.11.2013		eklima.no

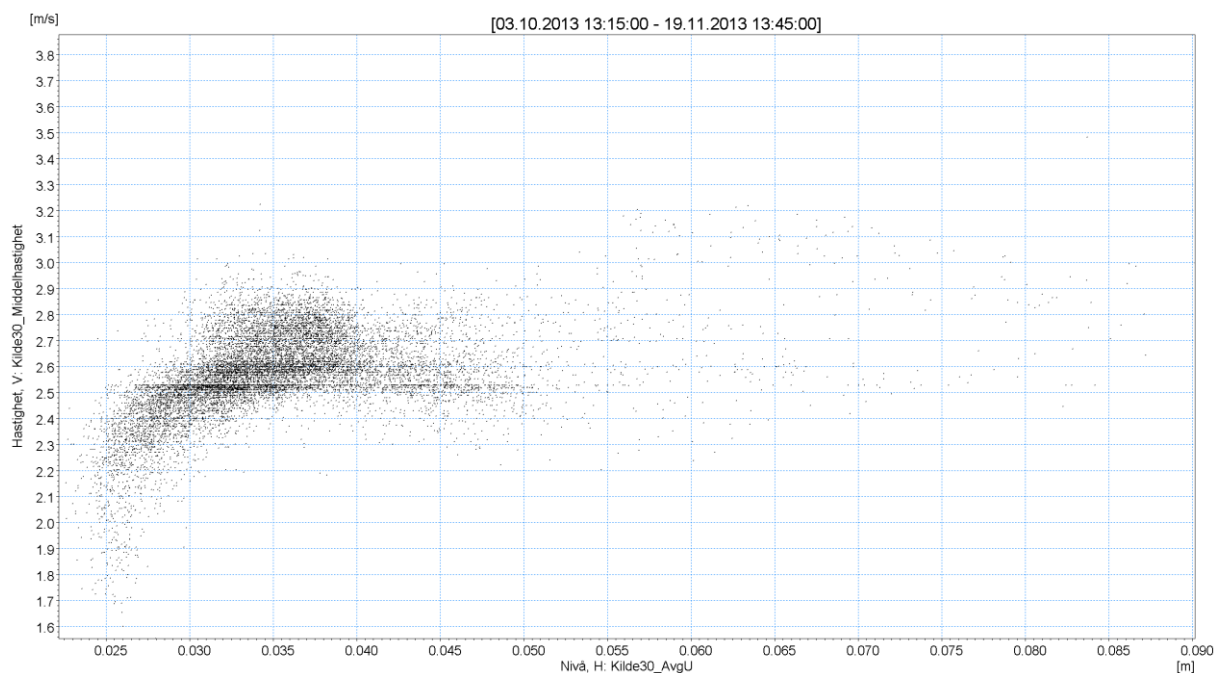
Tabell 8.2. Datainnsamling til bruk i RDII-modellen for VMAL9\_S5

Måletype	[...]	Lokalitet	Måleperiode	Kommentar	Kilde
Vannføring SID: 232387	[t + m <sup>3</sup> /s]	VMAL9_S5	4.10.2013 - 19.11.2013	Lokalisert ved utløpet av avløpssonen. Godt egnet målepunkt.	regnbyge.no
Nedbør	[t + mm]	Blindern, Oslo	15.10.2010 - 26.11.2013	Benyttes til å sette initialverdier til RDII- magasinene.	eklima.no
Fordampning	[t + mm]	Blindern, Oslo	1.1.2010 - 13.11.2013	Måling den 01. i hver måned.	NVE
Temperatur	[t + °C]	Blindern, Oslo	15.10.2010 - 26.11.2013		eklima.no

### 8.1.2. Kontroll av måledata

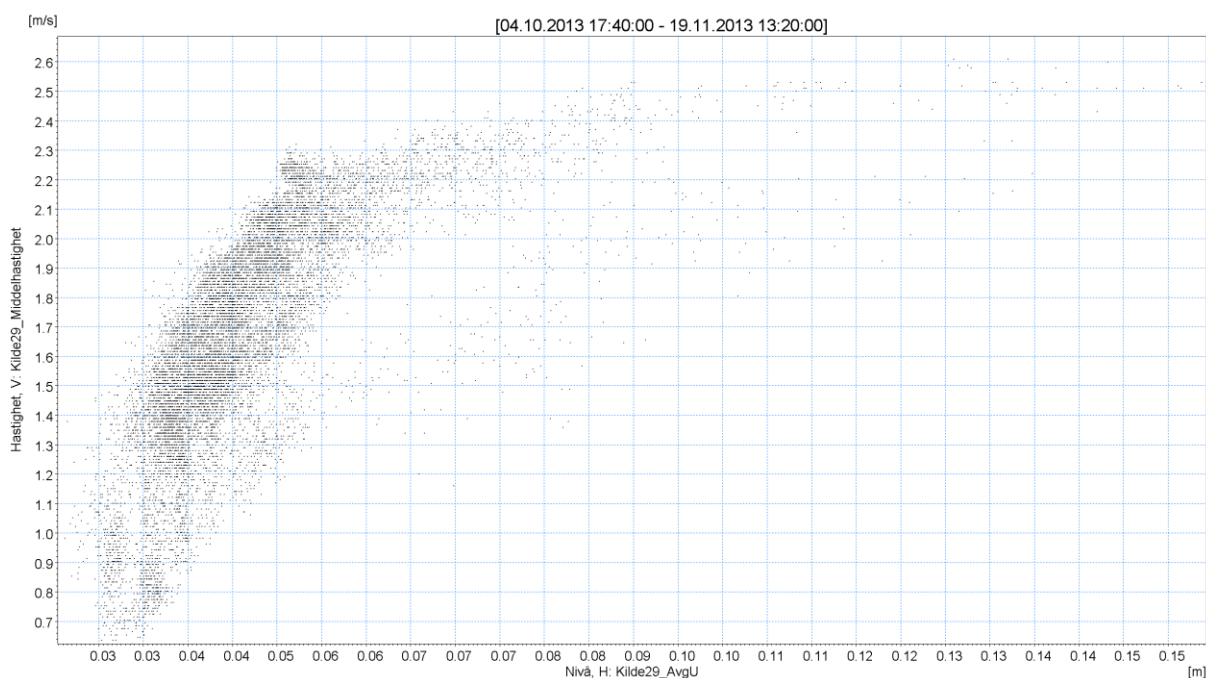
For å kontrollere kvaliteten på vannføringsdataene fra studiens kampanjemålinger, er det valgt å benytte et spredningsplott («Scatter plot»). Et spredningsplott er en matematisk fremstilling av to kvantitative variabler i ett og samme datasett, og er en godt egnet metode for å vise sammenhenger og assosiasjoner mellom en gruppe data satt inn i et koordinatsystem. To variable settes opp mot hverandre, hvor hver dataobservasjon opptrer som et punkt i spredningsplottet.

I spredningsplottet vist i Figur 8.1.3. og Figur 8.1.4. er det variablene hastighet og vannivå som er plottet inn i koordinatsystemet, som en representasjon av vannføringen. Som tidligere nevnt er beregninger av vannføring avhengig av de tre parameterne hastighet, nivå og ledningsdiameter. Verdiene for vannivået vises langs den horisontale akse og hastigheten langs den vertikale akse. Punktene plassering i spredningsplottet er bestemt av verdien til de to variablene som presenteres.



Figur 8.1.3. Spredningsplott av vannhastighet ( $V$ ) mot vannivå ( $H$ ) for VMAL8\_S2

I Figur 8.1.3., som beskriver vannføringen i VMAL8\_S2, bemerkes et overordnet mønster som kan beskrives i både retning, form og størrelse. Enkelte punkter i spredningsplottet avviker mønsteret, men det er den tette strømmen av svarte punkter som er av interesse for denne metoden. Det observeres en positiv korrelasjon mellom hastigheten og vannivået, og med det menes at ved økende hastighet har også vannivået en tendens til å øke. Dette er en forventet og ønsket sammenheng. Etter oppnådd hastighet omkring 2,6 meter per sekund flater kurven ut, noe som er en normal observasjon. Ved en viss hastighet vil nivået bare fortsette å øke selv om hastigheten avtar.



Figur 8.1.4. Spredningsplott av vannhastighet ( $V$ ) mot vannivå ( $H$ ) for VMAL9\_S5



I Figur 8.1.4. som beskriver vannføringen i VMAL9\_S5, ses samme tendens som for VMAL8\_S2. Hastigheten er noe lavere. Basert på spredningsplottene for begge avløpssonene er det rimelig å anta god kvalitet på måledataene.

### 8.1.3. Kalibrering

Kalibreringen var en tidkrevende prosess, hvor prøve- og feilemetoden ble benyttet for å justere noen utvalgte parametere, merket oransje i Tabell 8.3., til å samsvare best mulig med målt vannføring. Gyldighetsverdiene for parameterne er anskueliggjort i Tabell 5.2. i tidligere avsnitt 5.4.. Endringene i parameterinnstillingene må innvilge gyldighetsverdier. Det har vært vanskelig å tilpasse modellen raske målte variasjoner i vannføringen, mest sannsynlig forårsaket spillvannsproduksjon avvikende fra den konstruerte døgnvariasjonskurven, oppståtte drikkevannsløkkasjer, fordelingskummer på avløpsledningsnett eller lignende.

Tabell 8.3. RDII-innstillingene for simuleringen

Kalibrerte parametre	Enhet	VMAL8_S2 Verdi	VMAL9_S5 Verdi
Total area	ha	52,0	35,0
Building area	ha	8,2	5,4
Road area	ha	2,8	3,6
Population	PE	1 453	1 933
Additional Flow	cbm/s	0,006	0,004
Building Coefficient		0,15	0,60
Road Coefficient		0,15	0,60
Green Coefficient		0,25	0,70
Impervious Areas Percent	%	3,173	15,43
Green Areas Percent	%	24,20	59,20
Surface capacity	mm	8	3
Root capacity	mm	100	60
Surface coefficient		0,3	0,3
Overland flow time constant	h	2	6
Interflow time constant	h	30	30
Base flow time constant	h	600	400
Ground water coefficient		1	2
Degree day coefficient		2	2
Melting line coefficient		0,25	0,25
Overland flow threshold		0,0	0,0
Interflow threshold		0,0	0,0
Base flow threshold		0,0	0,0
Initial surface capacity		0,0	0,0
Initial root capacity		0,0	0,0
Initial overland flow		0,0	0,0
Initial interflow		0,0	0,0
Sewage water quantity	m <sup>3</sup> /pe	0,166	0,225

Røde parametre er bestemt med hjelp av kartverktøyet GeminiVA, og dertil ArcMap 10.1.

Oransje parametre kalibreres med bruk av prøve- og feilemetoden

Grønn spillvannsparameter er en kombinasjon av de to overnevnte, og kan endres ved behov dersom for eksempel stipuleringen av vannforbruket er feil.

Bestemmelsen av den målte og kalkulerte vannføringens overenstemmelse er gjort på grunnlag av visuelle observasjoner. Bedømmelsen er betinget subjektive oppfatninger og valg av RDII-innstillinger og kalibreringsperiode. Det er vanskelig å bedømme hvorvidt en eventuell overenstemmelse er tilstrekkelig god, samtidig er det mange ulike alternative parametersett som vil kunne gi visuelt like gode resultater. Resultatene fra RDII-modellen som er oppført i Tabell 8.4. og Tabell 8.5. utgjør derfor et alternativ, et grovt anslag, og må dertil vektlegges stor usikkerhet. Den visuelle observasjonen er avhengig av hva som etterstrebes prioritert, er det samsvar med de store toppene som

hovedsakelig representerer den raske nedbørpåvirkningen eller er det vannføringen i tørrvær.

Den stipulerte spillvannsproduksjonen, antatt i metodekapittelet til å være 166 liter per person og døgn, ble i kalibreringsprosessen justert etter den observerte spillvansmengden i en lengre tørrværsperiode, hvor det hydrologiske bidraget er tilnærmet lik null. Også døgnvariasjonskurven, se avsnitt 5.4.2., ble justert for å etablere godt samsvar mellom målt og estimert kurve. Det vil forøvrig alltid være en differanse mellom den stipulerte og den faktiske spillvannsproduksjonen, da stipuleringen ofte tar utgangspunkt i spesifikke tall om vannforbruket (Olsen & Torres 2013).

Selv om døgnvariasjonen for spillvannsproduksjonen ble forsøkt optimalisert i kalibreringsprosessen, er det til en viss grad vanskelig å få en fullkommen tilnærming til det virkelige forbruksmønsteret. Det er antatt at den spesifikke spillvannsproduksjonen er samsvarende med vannforbruket. Mye av årsaken til problematikken med å optimalisere døgnvariasjonen er de store lokale variasjonene i forbruksmønsteret, basert etter type formål (skole, barnehager, industri- og næringsvirksomheter) eller helgevariasjoner. Modellen har den begrensning at den bare håndterer en døgnvariasjonskurve, det byr på utfordringer og da spesielt ettersom de lokale variasjonene er så store for små avløpssoner, slik som er tilfelle for de avløpssonene som er valgt ut i denne studien.

#### 8.1.4. Komponentfordeling fremmedvann

Studien opererer med tre ulike benevninger for angivelse av beregnede fremmedvansmengder:

- I. Fremmedvann i liter per sekund (LPS)
- II. Fremmedvann i liter per sekund per kilometer avløpsledning (LPS/km)
- III. Fremmedvann i prosent av total vannføring (%)

Tabell 8.4. Resultater RDII-modellen for VMAL8\_S2

Resultater	Verdi (m <sup>3</sup> )	Verdi (%)
Total målt vannføring	41 400	
Total kalkulert vannføring	40 030	
Konstant innlekking	21 081	52,66
Variabel innlekking og treg drene vann	6 740	16,84
Avrenning fra ikke tette flater og raskt drene vann	536	1,34
Rask nedbøravrenning	1 881	4,70
Spillvann	9 793	24,46

Tabell 8.5. Resultater RDII-modellen for VMAL9\_S5

Resultater	Verdi (m <sup>3</sup> )	Verdi (%)
Total målt vannføring	55 550	
Total kalkulert vannføring	53 715	
Konstant innlekking	13 766	25,63
Variabel innlekking og treg dreinsvann	14 269	26,56
Avrenning fra ikke tette flater og raskt dreinsvann	2 248	4,19
Rask nedbøravrenning	6 155	11,46
Spillvann	17 276	32,16

Verdiene i Tabell 8.4. og Tabell 8.5. ovenfor anskueliggjør at konstant innlekking er den viktigste fremmedvannskomponenten, som for VMAL8\_S2 tilsvarer omtrent halvparten av den totale vannføringen i avløpssystemet. Det observeres en stor variasjon i den konstante innlekkingen, nærmest en dobling fra VMAL9\_S5 til VMAL9\_S5.

Oppsiktsvekkende er det å se at den raske nedbøravrenningen (overflateavrenning) fra tette flater, og avrenning fra ikke tette flater og raskt dreinsvann, bare utgjør noen få prosenttall og mindre mengder over lengre tid. Denne komponenten vil være avhengig av systemtype, hvor overvannsvolumet bare vil representere en lite andel av den totale avløpsvannføringen i fellessystemer over lengre tid.

#### 8.1.5. Total fremmedvannsmengde

Tabell 8.6. Sammenlikning av beregnede fremmedvannsmengder for studiens avløpssoner med Torres (2013) sine resultater i parentes

Avløpssone	Fremmedvann LPS	Fremmedvann LPS/km	Fremmedvann % av total vannføring
VMAL8_S2	11,63 (11,33)	2,30 (4,34)	75,5 % (83,8 %)
VMAL9_S5	14,90 (13,10)	3,90 (3,43)	66,3 % (78,9 %)

Beregnet fremmedvannsmengde, i prosent av total vannføring, vises i Tabell 8.6. som noe lavere sammenliknet med den verdien som Torres (2013) kom frem til i sin studie for avløpssonene VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5. Verdien for spesifikk innlekking i VMAL8\_S2 er avhengig av ledningslengden, og med den ny avgrensningen er verdien lavere. Antall kilometer avløpsledning er for den nye avgrensningen 5,93 km, mot 2,61 km.

Det kan være flere årsaker til denne ulikheten. De meteorologiske tidsseriene som er benyttet som inngangsdata i modellen er forskjellige. Torres (2012) simulerte med en tidsserie for perioden 2005-2011, med kalibrering for månedene juni-desember 2011. Denne studien har benyttet kortere tidsserier for både vannføring- og meteorologiske data. Fordelen med lengre datasett er å få med de normalt store variasjonene i nedbørsvolum og intensitet over tid. Dette muliggjør at simuleringen i større grad kan være representativ, sett i et lengre perspektiv. Tidsserien for vannføring i denne studien kunne ønskelig vært lengre for å inneholde forventede avrenningsvariasjoner etter årstidene. Målepunktene for vannføringen er forøvrig de samme for både Torres (2013) og denne studien.

Tatt overnevnte forhold i betraktning, kan likevel en høy fremmedvannsandel observeres.

## 9. Lekkasjesøking fremmedvann

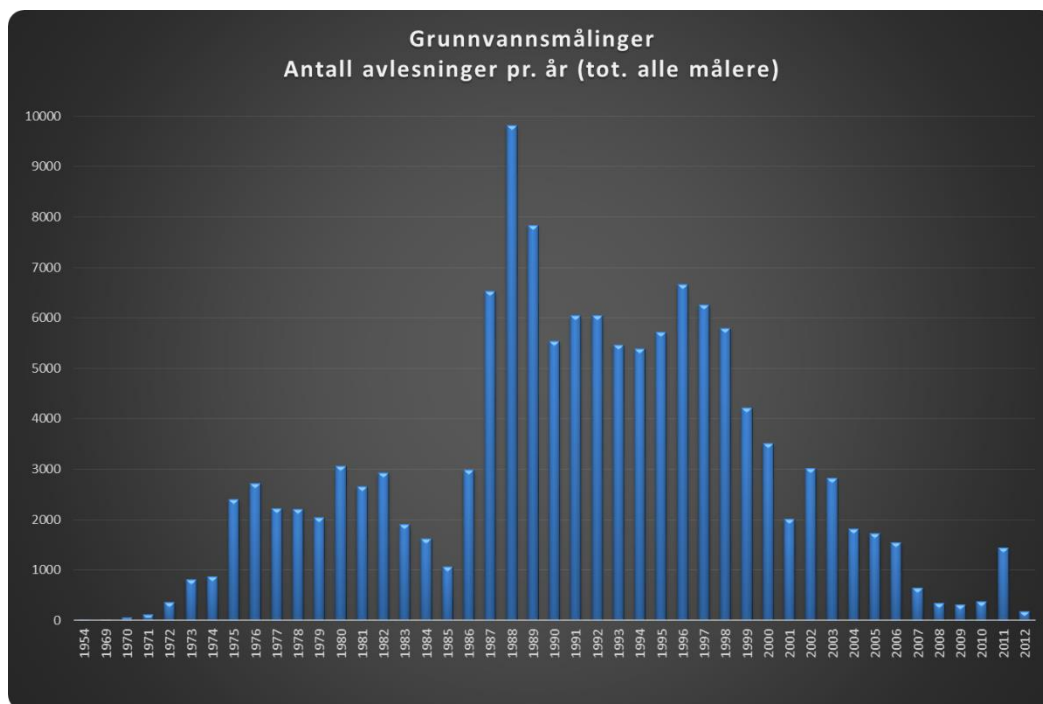
### 9.1. Kontroll av grunnvannsstand

I avsnitt 8.1.4. er oppdagelsen av at den konstante og variable grunnvannsinnelekkingen er hovedårsaken til de observerte store mengdene fremmedvann. Som forklart i metodedelene har det vært problematisk å kontrollere grunnvannsstanden i de to utvalgte avløpssonene. For VMAL8\_S2 ble ingen grunnvannsbrønner lokalisert på kartet, og for VMAL9\_S5 ble kun en enkelt brønn funnet å være tilgjengelig i området. Ved befaring av brønnen ble det oppdaget at lokket hadde rustet fast i jernrøret som stod opp av bakken (se Figur 6.1.3. i avsnitt 6.1.). Lokket løsnet ikke, selv med makt, slik at det ikke var noen mulighet for grunnvannsmåling inne i selve avløpssonen. Brønner utenfor aktuelle avløpssoner ble ansett som ikke representative.

Likevel er det lite tenkelig at en ville fått mye utbytte av en momentanmåling av grunnvannsstand. Kun kontinuerlige målinger over lang tid vil kunne ha signifikant effekt. Eldre grunnvannsmålinger var i liten grad tilgjengelig, kun noen få datapunkter ble funnet for flere år tilbake. Dataene hadde liten verdi for denne studien.

Figur 9.1.1. viser tydelig at antall grunnvannsmålinger i Oslo kommune er nedadgående. Likevel er det noe få steder i hovedstaden med kontinuerlig overvåkning av grunnvannsstand. Majorstua (i forbindelse med VEAS-tunellen) og Bjørvika (i forbindelse med Midgardsormen) er eksempler på disse stedene.

Ettersom grunnvannsinnelekkage utgjør en så stor fremmedvannsandel som er beregnet i RDII-modellen i avsnitt 8.3. vil det være fordelaktig å prioritere kontroll og måling av grunnvannsstanden.



Figur 9.1.1. Overvåkning av grunnvannsstand i Oslo kommune 1954-2012 (Oslo VAV, 2013)

## 9.2. Visuell kuminspeksjon

Det ble utført befaring i flere av avløpssonenes avløpskummer i forbindelse med feltundersøkelsen. Ett av hovedfunnene fra den visuelle inspeksjonen var påvisningen om at den soneavgrænsningen som Torres (2013) benyttet for avløpssonen VMAL8\_S2 var feil. Området fargelagt lilla i Figur 9.2.1. fremstiller avløpssonens opprinnelige inndeling. Estimering av vannføringen i kum merket SID 3993 (se Figur 9.2.2.), liggende i grenseskillet mellom den opprinnelige og nylig tillagte avgrænsningen, tilsa et betydelig større tilrenningsareal tilknyttet oppstrøms for inspeksjonspunktet eller en ekstrem innlekkasje av fremmedvann. Hypotesen ble testet ut ved flere lignende inspeksjoner oppstrøms referansepunktet og bruk av detaljerte opplysninger i Gemini VA. Inspeksjonene ble foretatt i et tørrværsdøgn for å redusere sannsynligheten for å ta gale beslutninger, med en antagelse om at det hydrologiske bidraget til avløpssystemet var likk null. Innen kort tid var beslutningen tatt om at avløpssonens opprinnelige avgrænsning ikke var gjeldende. Avløpssonen VMAL8\_S2 er gitt en ny avgrænsning basert på nye opplysninger om tilrenningsområdet, som innbefatter området fargelagt brunt i Figur 9.2.1.



Figur 9.2.1. Ny avgrænsning av avløpssonen VMAL8\_S2. Område markert i brunt viser tillagt areal som faller inn under den nye avgrænsningen av avløpssonen



Figur 9.2.2. Fordelingskum SID: 3993, VMAL8\_S2 (Foto: Christopher Strauman)

Øverst til venstre i Figur 9.2.2. oppdages en vesentlig vannføring inn i fordelingskummen, senere i avsnitt 9.3. målt til 6,79 liter per sekund i et tørrværsdøgn, som har sin oppstandelse oppstrøms for kummen. Fordelingskummens funksjon er å fordele avløpsvannet på flere linjer for å avlaste belastningen på hovedledningen. Denne funksjonen ivaretas i dette tilfelle ved en ikke-justerbar lavterskelet fordelingskant. I perioder med tørrvær vil normalt alt avløpsvannet følge hovedledningen 230AF langs Trosterudveien, noe som også er tilfelle i Figur 9.2.2. Avlastningsledningen mot Gråkamveien er tørr, hvilket betyr at all vannføringen transporteres videre nedover Trosterudveien og holdes innenfor avløpssonen VMAL8\_S2. Ved nedbørshendelser vil noe av vannføringen renne ut av avløpssonen i denne fordelingskummen, som medfører en usikkerhet i vannføringsmålingene i utløpet av avløpssonen, ettersom avløpssonen ved høy vannføring har flere utløp.



Figur 9.2.3. Fordelingskum SID: 133591, VMAL8\_S2  
(Foto: Christopher Strauman)

Figur 9.2.3. anskueliggjør en fordelingskum, merket SID 133591, 150-200 meter oppstrøms for referansepunktet (SID: 3993). Fordelingskanten er anlagt med en ikke-justerbar v-form, men bunnen av kanten er likevel så høy at den største mengden vannføring vil følge hovedledningen 230AF langs Trosterudveien ned mot referansepunktet. I perioder der vannføringen er meget stor, vil 380AF avlaste som vil gi utslag på vannføringsmålingene. I øyeblikket der fotoet ble tatt i Figur 9.2.3. ble vannføringen tilført 380AF målt, ved bruk av posemetoden, til 0,55 liter per sekund. Dette var på et tidspunkt like i etterkant av et større regn. På samme måte ble vannføringen tilført Gråkamveien i Figur 9.2.2. målt til 1,06 liter per sekund.

Det faktum av at avløpssonen VMAL8\_S2 innehar flere utløp ved store vannføringer, må tas i betraktning som en medvirkende betydelig usikkerhet på vannføringsdataene fra den mobile vannføringsmåleren. Den vil likevel ikke være av betydning i forbindelse med momentanmålinger av vannføring i avsnitt 9.3. ettersom feltundersøkelsen ble gjennomført i et tørrværsdøgn.

Den visuelle kuminspeksjonen avdekket i tillegg en synlig innlekkasje av fremmedvann i kumvegg, målt ved bruk av posemetoden til ca. 3 liter per minutt (Se Figur 9.2.4.).

Metoden har vært nyttig for å bidra med kunnskap om den generelle kumtilstanden og vurdering av kvaliteten på avløpsledningsnett, samt en viktig form for kontroll og bekreftelse av overenstemmelse med ledningskartverk.



*Figur 9.2.4. Påvist innlekkasje i kumvegg (SID: 248871) VMAL9\_S5 ifm. feltundersøkelen*



### 9.3. Momentanmåling av vannføring

Øyeblikkelige vannføringsmålinger ble i hovedsak utført ved posemetoden. Der Posemetoden ble benyttet kunne vannføringen direkte beregnes, mens for Hastighet-areal metoden var det nødvendige med større beregninger. Fremgangsmåten er beskrevet i tidligere avsnitt 6.3.

Momentanmålingene ble foretatt torsdag 31. oktober 2013, med ytterligere noen supplerende målinger 7. og 8. november 2013. Det er 31. oktober som er benyttet som referansedato, det vil si at der det ble gjort supplerende målinger andre datoer ble vannføringen korrigert mot referanseverdien. Ettersom vannføringen varierer mye i tid og rom var korrigeringen viktig for å oppnå representative verdier. De målte vannføringene for hver av de to avløpssonene er vist i Tabell 9.1. og Tabell 9.2. Alle målingene fant sted på tørrværsdager i tidsrommet kl. 11-15, hvor husholdningsforbruket er antatt lik det midlere døgnforbruket.

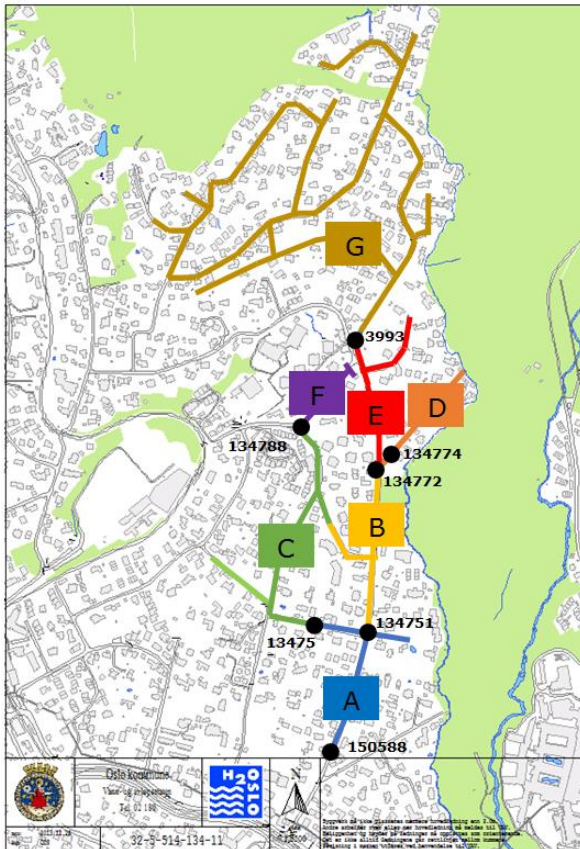
Tabell 9.1. Momentanmålinger av vannføring i VMAL8\_S2

Avløpssone	Målepunkt (SID)	Målestrekk	Vannføring Q (LPS)
VMAL8_S2	150588	A	13,75
VMAL8_S2	134751	B	10,90
VMAL8_S2	134752	C	1,28
VMAL8_S2	134774	D	0,53
VMAL8_S2	134772	E	9,26
VMAL8_S2	134788	F	0,20 *
VMAL8_S2	3993	G	6,79

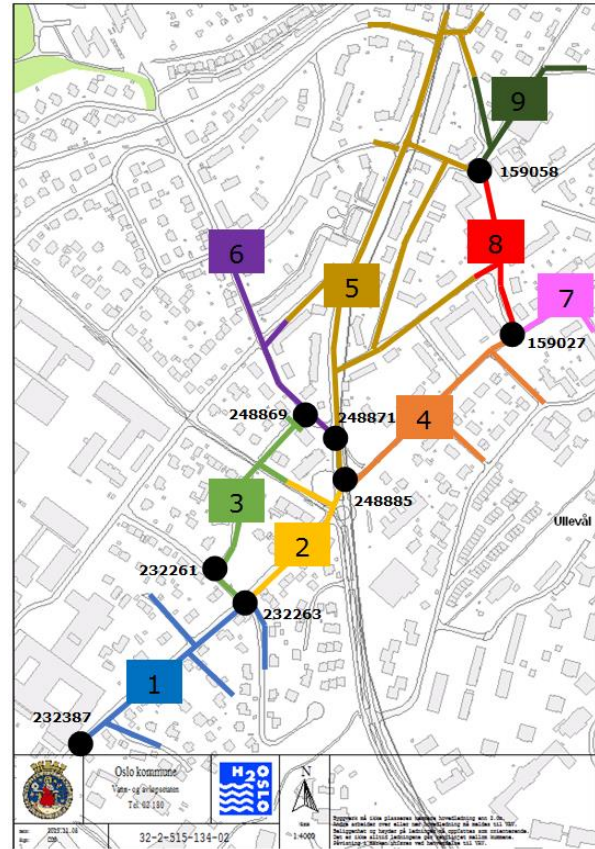
\* estimert grunnet svært lav vannføring. Vannet stod nærmest stille (stagnert)

Tabell 9.2. Momentanmålinger av vannføring i VMAL9\_S5

Avløpssone	Målepunkt (SID)	Målestrekk	Vannføring Q (LPS)
VMAL9_S5	232387	1	21,27
VMAL9_S5	232263	2	11,34
VMAL9_S5	232261	3	0,30
VMAL9_S5	2488(86)	4	2,94
VMAL9_S5	248871	5	6,57
VMAL9_S5	248869	6	0,16
VMAL9_S5	159027	7	0,13
VMAL9_S5	159027	8	1,10
VMAL9_S5	159058	9	0,12



Figur 9.3.1. Kart av målestrekkene i VMAL8\_S2



Figur 9.3.2. Kart over målestrekkene i VMAL9\_S2

Den spesifikke spillvannsproduksjonen er antatt å være 166 liter/PE døgn. I Tabell 9.3. og Tabell 9.4. er det beregnet verdier for de stipulerte spillvannsbidragene fra de ulike avløpssonene, identifisert med appendiks A-G for VMAL8\_S2 og appendiks 1-9 for VMAL9\_S5, på bakgrunn av opplysninger om antall PE tilknyttet det kommunale avløpsledningsnettet.

Tabell 9.3. Stipulert spillvannsbidrag i VMAL8\_S2

	Antall PE	Spillvannsbidrag LPS
Stipulert A	118,75	0,23
Stipulert B	211,17	0,03
Stipulert C	245,89	0,47
Stipulert D	86	0,17
Stipulert E	77,04	0,15
Stipulert F	34,2	0,07
Stipulert G	679,96	1,31

Tabell 9.4. Stipulert spillvannsbidrag i VMAL9\_S5

	PE	Spillvannsbidrag LPS
Stipulert 1	193,87	0,37
Stipulert 2	78,93	0,01
Stipulert 3	72	0,14
Stipulert 4	280,37	0,54
Stipulert 5	822,54	1,58
Stipulert 6	49	0,09
Stipulert 7	152	0,29
Stipulert 8	241,61	0,46
Stipulert 9	43	0,08

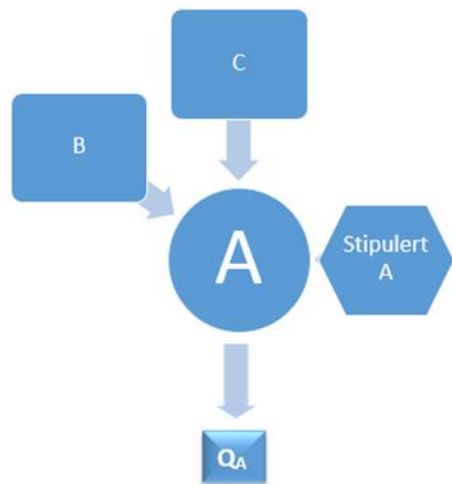
Flere av målestrekkene A-G og 1-9 er i tilknytning med hverandre. Dette betyr i praksis at målt vannføring ( $Q_{\text{målt}}$ ) i et målepunkt nedstrøms ett eller flere målestrekk, kan være

påvirket av målestrekk oppstrøms. Figur 9.3.3. forsøker å illustrere et eksempel med utgangspunkt i situasjonen i målepunkt «SID: 150588», målestrekk A.

Eksempelet viser tydelig at vannføringen i utløp A ( $Q_A$ ) beror både på det stipulerte spillvannsbidraget og pågående prosesser i tilhørende målestrekk A, og vannføringen som renner inn i målestrekket A fra utenforliggende målestrekk, som i dette eksempelet er B og C.

Situasjonen blir mer komplisert, desto flere målestrekk som bidrar. Målestrekk som derimot ikke er påvirket av ovenfor liggende målestrekk vil lett kunne knyttes sammen med målt vannføring ( $Q_{\text{målt}}$ ) i målepunktet nedstrøms, eksempel VMAL8\_S2\_G.

På samme måte beregnes den stipulerte spillvannsproduksjonen ( $Q_s$ ). Antall PE i tilhørende målestrekk addert med antall PE i tilknyttede målestrekk oppstrøms. Den totale summen av antall PE som virker inn på målepunktet, multipliseres så med den antatte spesifikke spillvannsproduksjonen.



Figur 9.3.3. Eksempel på beregning av vannføring i et målepunkt med tilknytning til andre målestrekk

#### Soner i tilknytning

A er tilknyttet målestrekkene B, D, E og G  
B er tilknyttet målestrekkene D, E og G  
C er tilknyttet målestrekket F  
E er tilknyttet målestrekket G

(henvises til Figur 9.3.3. for illustrerende forklaring)

Ved å bestemme den stipulerte spillvannsproduksjonen ( $Q_s$ ) og målt vannføring ( $Q_{\text{målt}}$ ) isolert for hvert målestrekk unngås dobbelrepresentasjon av fremmedvannsmengdene. Resultatet er viktig for å bestemme hvilke målestrekk som innehar mest fremmedvann, og kan dermed benyttes som et beslutningsgrunnlag for å avgrense områder med høy innlekkingsgrad av fremmedvann. Resultatet for VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5 kommer frem i henholdsvis Tabell 9.5. og Tabell 9.6.

Tabell 9.5. Beregninger av isolerte fremmedvannsmengder med hensyn på stipulert spillvannsproduksjon ( $Q_s$ ) og målt vannføring ( $Q_{m\ddot{a}lt}$ ) i VMAL8\_S2

Avløpssone	Antall PE	$Q_{m\ddot{a}lt}$ LPS	$Q_s$ LPS	Fremmedvann LPS	Fremmedvann LPS/km	Fremmedvann %
VMAL8_S2_A	118,75	1,57	2,79	-1,22	-4,69	-77,81 %
VMAL8_S2_B	211,17	1,11	2,03	-0,92	-1,64	-82,47%
VMAL8_S2_C	245,89	1,08	0,54	0,54	0,71	50,17 %
VMAL8_S2_D	86	0,53	0,17	0,36	0,95	68,82 %
VMAL8_S2_E	77,04	2,97	1,45	1,52	3,71	51,03 %
VMAL8_S2_F	34,2	0,20	0,07	0,13	0,67	67,15 %
VMAL8_S2_G	679,96	6,29	1,31	4,98	1,50	79,23 %

Tabell 9.6. Beregninger av isolerte fremmedvannsmengder med hensyn på stipulert spillvannsproduksjon ( $Q_s$ ) og målt vannføring ( $Q_{m\ddot{a}lt}$ ) i VMAL9\_S5

Avløpssone	Antall PE	$Q_{m\ddot{a}lt}$ LPS	$Q_s$ LPS	Fremmedvann LPS	Fremmedvann LPS/km	Fremmedvann %
VMAL9_S5_1	193,87	9,63	3,71	5,92	5,86	61,57 %
VMAL9_S5_2	78,93	1,67	3,20	-1,53	-2,07	-91,84 %
VMAL9_S5_3	72	0,30	0,14	0,16	0,25	53,89 %
VMAL9_S5_4	280,37	0,76	1,38	-0,62	-2,38	-81,25 %
VMAL9_S5_5	822,54	6,57	1,58	4,99	5,09	75,95 %
VMAL9_S5_6	49	0,16	0,09	0,07	0,19	41,16 %
VMAL9_S5_7	152	0,34	0,29	0,05	0,12	14,11 %
VMAL9_S5_8	241,61	1,62	0,55	1,07	3,15	66,25 %
VMAL9_S5_9	43	0,22	0,08	0,14	0,56	62,45 %

Av Tabell 9.5. og Tabell 9.6. registreres en stor variasjon i fremmedvannsmengdene fra de enkelte målestrekkenes bidrag, adskilt fra hverandre. Høyeste prosentdel fremmedvann av den totale vannføringen er 79,23 % for VMAL8\_S2\_G og 75,95 % i VMAL9\_S5\_5. På den andre siden av skalaen fremstår VMAL9\_S5\_7 som det målestrekket med lavest innlekking. For enkelte målestrekk i hver av de to avløpssonene bemerkes negative verdier, som vil tilsvare utlekking av avløpsvann. De negative verdiene kommer av at  $Q_{m\ddot{a}lt} < Q_s$ , altså den målte vannføringen er mindre enn den forventede stipulerte spillvannsproduksjonen. Det kan tyde på at den stipulerte spillvannsproduksjon per PE og døgn er antatt for høy og/eller at de lokale variasjonene i vannføringen er for dominerende til at en momentanmåling av vannføring kan utføres med et tilfredsstillende resultat. Sannsynligheten for at avløpsvannet forsvinner i enkelte av målestrekkene er minimal, spesielt ettersom momentanmålingene av vannføring er utført i et tørrværsdøgn med lave vannføringer, slik at sjansene for at overløpshendelser inntreffer utelukkes.

Oversikt over den samlede tilførte fremmedvannsmengden på avløpsledningsnettet for VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5 er gitt i Tabell 9.7. og Tabell 9.8.

Tabell 9.7. Beregninger av samlede fremmedvannsmengder med hensyn på stipulert spillvannsproduksjon ( $Q_s$ ) og målt vannføring ( $Q_{M\ddot{a}lt}$ ) i VMAL8\_S2

Avløpssone	Antall PE	$Q_{M\ddot{a}lt}$ LPS	$Q_s$ LPS	Fremmedvann LPS	Fremmedvann LPS/km	Fremmedvann %
VMAL8_S2_A	1453,01	13,75	8,35	5,40	0,91	39,30 %
VMAL8_S2_B	1054,17	10,9	4,95	5,95	1,27	54,57 %
VMAL8_S2_C	280,09	1,28	0,60	0,68	0,68	52,82 %
VMAL8_S2_D	86	0,53	0,17	0,36	0,95	68,82 %
VMAL8_S2_E	757	9,26	2,76	6,50	1,74	70,19 %
VMAL8_S2_F	34,2	0,2	0,07	0,13	0,65	67,15 %
VMAL8_S2_G	679,96	6,29	1,31	4,98	1,50	79,23 %

Tabell 9.8. Beregninger av samlede fremmedvannsmengder med hensyn på stipulert spillvannsproduksjon ( $Q_s$ ) og målt vannføring ( $Q_{M\ddot{a}lt}$ ) i VMAL9\_S5

Avløpssone	Antall PE	$Q_{M\ddot{a}lt}$ LPS	$Q_s$ LPS	Fremmedvann LPS	Fremmedvann LPS/km	Fremmedvann %
VMAL9_S5_1	1933,32	21,27	11,03	10,24	1,99	48,14 %
VMAL9_S5_2	1667,45	11,34	7,18	4,16	1,22	36,71 %
VMAL9_S5_3	72	0,30	0,14	0,16	0,25	53,89 %
VMAL9_S5_4	716,98	2,94	2,30	0,64	0,50	21,80 %
VMAL9_S5_5	822,54	6,57	1,58	4,99	4,40	75,95 %
VMAL9_S5_6	49	0,16	0,09	0,07	0,18	41,16 %
VMAL9_S5_7	152	0,34	0,29	0,05	0,11	14,11 %
VMAL9_S5_8	284,61	1,84	0,63	1,21	2,05	65,79 %
VMAL9_S5_9	43	0,22	0,08	0,14	0,55	62,45 %

Når en ønsker å studere den samlede fremmedvannsmengden i hvert målepunkt i avløpssonen, er det forventet å observere høyere fremmedvannsverdier ved utløpet av avløpssonen enn i sonens ytterkanter oppstrøms. Dette er rasjonelt ettersom den maksimale innlekkingen er ventet funnet ved avløpssonens utløp, da dette målepunktet omslutter hele avrenningsområdet. Det er ingen god tendens i den retningen som uttrykkes av resultatene i Tabell 9.7. og Tabell 9.8. Uavhengig av hvilket veivalg som velges, virker effekten å gå motsatt vei. Fremmedvannsmengdene uttrykt som prosent av total vannføring er synkende med flere målestrekk som kobler seg på nedstrøms.

Flere av de målte vannføringene virker å være urimelige. Momentanmålingene av vannføring ble gjennomført på tørrværsdager (de aller fleste på samme dag), uten vesentlig påvirkning av nedbør og avrenning det siste døgnet. Målingene fant sted i tidsrommet kl. 11-15 hvor husholdningsforbruket er antatt lik det midlere døgnsforbruket. Det er heller ingen registrerte industri- og næringsvirksomheter i de aktuelle områdene som skulle tilsi et svært høyt vannforbruk midt på dagen. Forholdene skulle med det ligge til rette for gode målinger. Likevel er mange av de målte vannføringene ( $Q_{M\ddot{a}lt}$ ) meget store i forhold til stipulert spillvannsproduksjon ( $Q_s$ ), det på tross av at den direkte nedbørbetingede fremmedvannskomponenten, som normalt vil utgjøre store volum under

nedbørshendelser og snøsmelting, teoretisk sett skulle vært tilnærmet lik null. Altså vil det med grunnlag i de målte vannføringsdataene være grunn til å anta mye fremmedvann forårsaket den indirekte nedbørbetingede fremmedvannskomponenten og konstant innlekking. Men den forklaringen støtter ikke observasjonene av synkende andel fremmedvann, sett fra øverst til nederst i avløpssonene. Det må derfor foreligge målefeil ute i felt, samtidig som de lokale variasjonene minutt for minutt kan virke å være store og avgjørende for små avgrensede avløpssoner, slik som VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5.

Målemetoden med bruk av pose innehar flere usikkerheter. Generelt kan det være dårlig kommunikasjon mellom målerpersonen i kummen og tidtakeren, slik at tiden ikke blir presis nok. For kort måleperiode er også tilfelle, samt skvalping av vann ved overføring fra plastpose til sylinder. Vanskeligheter med å få plastposen til å slutte seg tett nok mot bunnen, slik at hele vannstrømmen i røret vil bli fanget opp. Høy vannhastighet og vannstand er et annet moment. lekkasje på plastposen kan ofte oppstå, ha alltid flere plastposer i reserve. Problemer med oppmåling av volumet i målesylindren, unøyaktig avlesning fordi målesylindren ikke står i vater. Erik Øyen (2002) anbefaler av hensyn til usikkerheten til måleforholdene å oppgi en korreksjonsfaktor på + 5-20 prosent ved bruk av resultater fra posemetoden.

Usikkerheter knyttet til bruk av ultralyd-vannhastighetsmåler er beskrevet i avsnitt 6.3.2.

## 9.4. Fosfor- og ammoniummetoden

### 9.4.1. Fosfor

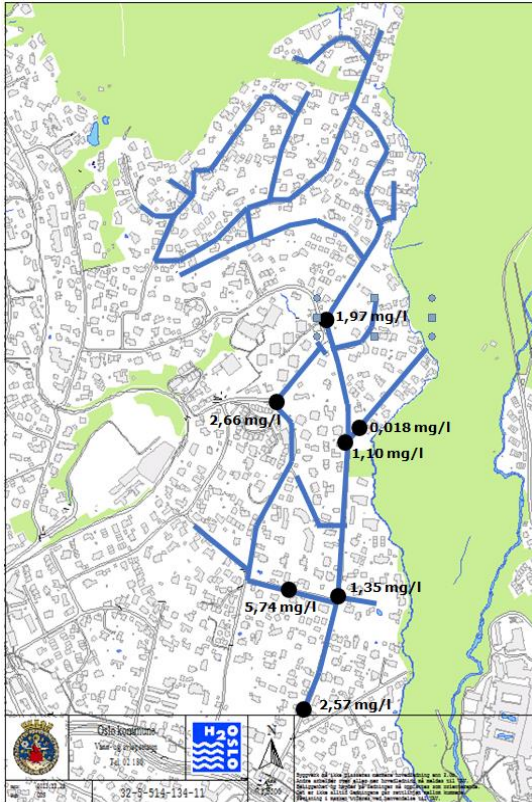
Tabell 9.9. Prøveresultatene fra Oslo VAVs laboratorium på parameteren fosfor

Prøve	Dato	Målepunkt (SID)	Avløpssone	VNP-TOTPAF M 228 A mg/l P
2013-01196-008	31.10.13	150588	VMAL8_S2_A	2,57
2013-01196-009	31.10.13	134772	VMAL8_S2_E	1,10
2013-01196-010	31.10.13	134752	VMAL8_S2_C	5,74
2013-01196-011	31.10.13	134774	VMAL8_S2_D	0,018
2013-01196-012	31.10.13	3993	VMAL8_S2_G	1,97
2013-01196-013	31.10.13	134788	VMAL8_S2_F	2,66
2013-01196-014	31.10.13	134751	VMAL8_S2_B	1,35
2013-01196-001	31.10.13	232387	VMAL9_S5_1	3,69
2013-01196-002	31.10.13	248886	VMAL9_S5_5	0,64
2013-01196-003	31.10.13	232263	VMAL9_S5_3	0,69
2013-01196-005	08.11.13	232263	VMAL9_S5_2	3,71
2013-01196-006	31.10.13	248886	VMAL9_S5_4	3,79
2013-01196-007	31.10.13	248869	VMAL9_S5_6	8,35

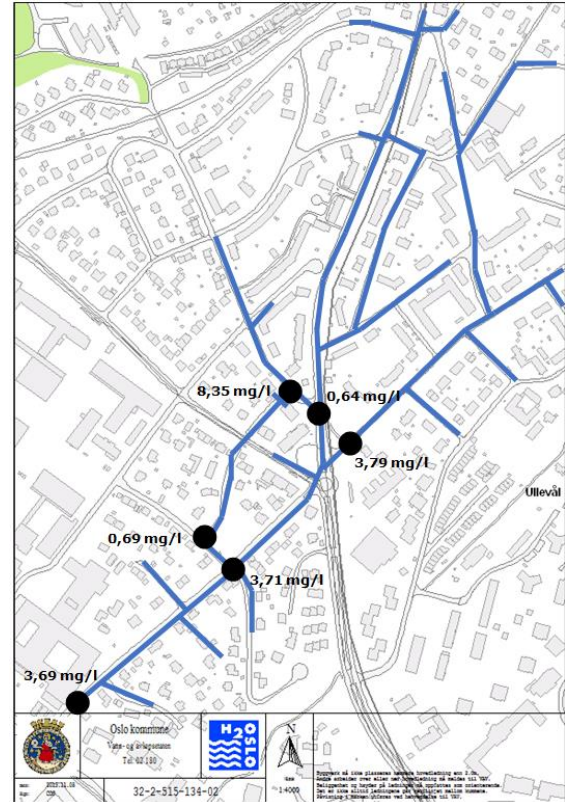
Fosforkonsentrasjone, angitt i Tabell 9.10., danner et inntrykk av mengden fremmedvann som lekker inn i avløpsledningsnettet. I Norsk Vann rapport 175/2012 «Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem» (Lindholm et al. 2012b) anbefales det å benytte 1,8 gram per liter Tot-P som spesifikk forurensningsmengde dersom det ikke er andre data tilgjengelig. Med utgangspunkt i Norsk Vanns standardtall for norsk kommunalt avløpsvann (Ødegaard 2012) antas fosforkonsentrasjonen i «rent» spillvann, uten påvirkning av fremmedvann, til å være 12 mg fosfor per liter. Det er denne standardverdien for fosfor som er valgt benyttet for denne studien.

Fortynningsgraden indikerer utspedningen av annet vann mot spillvannsproduksjonen. For best sammenlikningsgrunnlag ble prøvetidspunktet lagt parallelt med momentanmålingene av vannføring, det vil si at vannføringsmålingene og fosforprøvene ble foretatt til samme dato og klokkeslett.

Figur 9.6.1. og Figur 9.6.2. illustrerer fosforkonsentrasjonene ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnettet i henholdsvis VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5. Store variasjoner og lave konsentrasjoner observeres.



Figur 9.3.5. Fosforkonsentrasjoner i VMAL8\_S2 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnettet



Figur 9.3.4. Fosforkonsentrasjoner i VMAL9\_S5 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnettet

Fremmedvannsmengdene med hensyn på fosforkonsentrasjon er beregnet ut ifra følgende likningssett:

Først beregnes den stipulerte spillvannsproduksjonen ( $Q_s$ ) for de aktuelle målestrekkene til bruk som referanseverdi.  $q$  er fremdeles 166 liter per PE og døgn

$$Q_s = q \cdot PE$$

Det neste steget blir å beregne vannføringen med hensyn på forholdet mellom standardverdien for fosfor ( $C_{s,12}$ ) og den målte verdien ( $C_m$ )

$$Q_{s,kons} = \frac{C_{s,12}}{C_m} \cdot q_{12} \cdot PE$$

Fremmedvannsmengden beregnes med hensyn på likning 1 og 2

$$Q_f = Q_{s,kons} - Q_s$$

Resultatene er gitt i Tabell 9.11.



Tabell 9.10. Fremmedvannsberegninger med hensyn på fosforkonsentrasjoner

Avløpssone	Antall PE	C <sub>m</sub>	C <sub>s,12</sub>	Q <sub>m</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>s,kons</sub>	Q <sub>f</sub>	Q <sub>f</sub>	Q <sub>f</sub>
		mg/l Tot-P	mg/l Tot-P	LPS	LPS	LPS	LPS	LPS/km	%
VMAL8_S2_A	1453,01	2,57	12	13,75	2,69	12,56	9,87	1,66	76,6 %
VMAL8_S2_B	1054,17	1,35	12	10,90	1,95	17,35	15,40	3,30	88,8 %
VMAL8_S2_C	280,09	5,74	12	1,28	0,52	1,08	0,57	0,57	52,8 %
VMAL8_S2_D	86	0,018	12	0,53	0,16	106,17	106,01	278,97	99,9 %
VMAL8_S2_E	757	1,1	12	9,26	1,40	15,29	13,89	3,72	90,8 %
VMAL8_S2_F	34,2	2,66	12	0,20	0,06	0,29	0,22	1,10	75,9 %
VMAL8_S2_G	679,96	1,97	12	6,29	1,26	7,67	6,41	1,93	83,6 %
VMAL9_S5_1	1933,32	3,69	12	21,27	3,58	11,64	8,06	1,54	69,2 %
VMAL9_S5_2	1667,45	3,71	12	11,34	3,09	9,99	6,90	1,96	69,0 %
VMAL9_S5_3	72	0,69	12	0,3	0,13	2,32	2,19	3,42	94,4 %
VMAL9_S5_4	716,98	3,79	12	2,94	1,33	4,20	2,88	2,25	68,6 %
VMAL9_S5_5	822,54	0,64	12	6,57	1,52	28,56	27,04	23,93	94,7 %
VMAL9_S5_6	49	8,35	12	0,16	0,09	0,13	0,04	0,16	30,8 %

Fosforkonsentrasjonene er jevnt over lave, og følgende er fremmedvannsmengdene store. Enkelte av fosformålingene i Tabell 9.11. distanserer seg mye fra forventede verdier og bærer på den måten preg av en rekke feilkilder. Spesielt fosforverdiene for avløpssonene VMAL8\_S2\_D og VMAL9\_S5\_3 antas å ikke være representativt.

Konsentrasjonsmålingene må utføres slik at tilfeldige variasjoner i avløpssvannet ikke kan «ødelegge» resultatet. Må måles i tørrvær på dagtid. Lavt fosforinnhold og høy nattvannføring er normalt en klar indikasjon på høy fremmedvannsandel av total vannføring. Det er viktig å være nøyaktig med vannføringsmålingene, som er av stor betydning for konsentrasjonsmålingene. Det bør innhentes flere prøver i hvert målepunkt for å sammenlikne og kunne dra nytte av en mer nøyaktig gjennomsnittsverdi. Fosformetoden ville vært nyttig å utføre både nattetid og dagtid i tørrvær, dette for å få betydelig sikrere resultat på mengden fremmedvann.

Metodens usikkerhet er ikke kjent, men resultatene tilsier for få datamålinger til annet enn å grovt gi et anslag på fremmedvannsmengden i de ulike målestrekkene. Konsentrasjonsmålingene bør bestå av flere stikkprøver. Store lokale variasjoner i vannføringen må igjen kunne være en årsak til slike store variasjoner og lite sammenhenger. Normalt ville fosforkonsentrasjonen ha sunket når vannføringen økte.

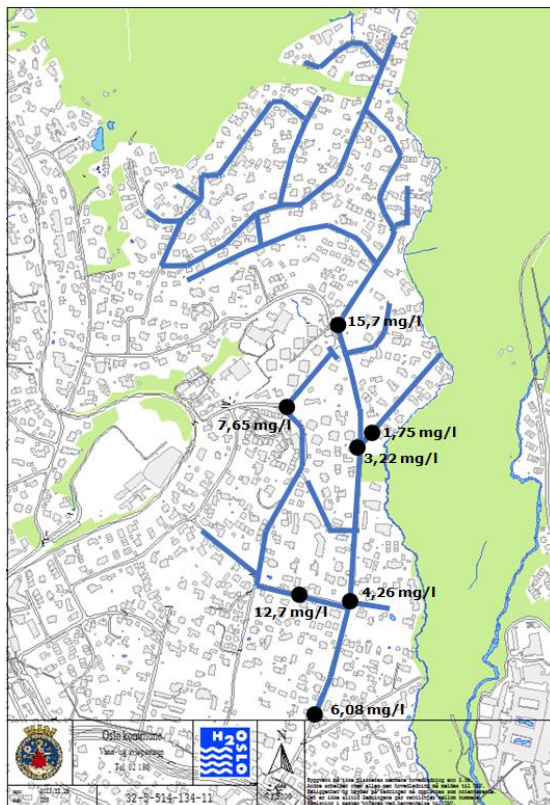
## 9.4.2. Ammonium

Tabell 9.11. Prøveresultater fra laboratoriet på parameteren ammonium

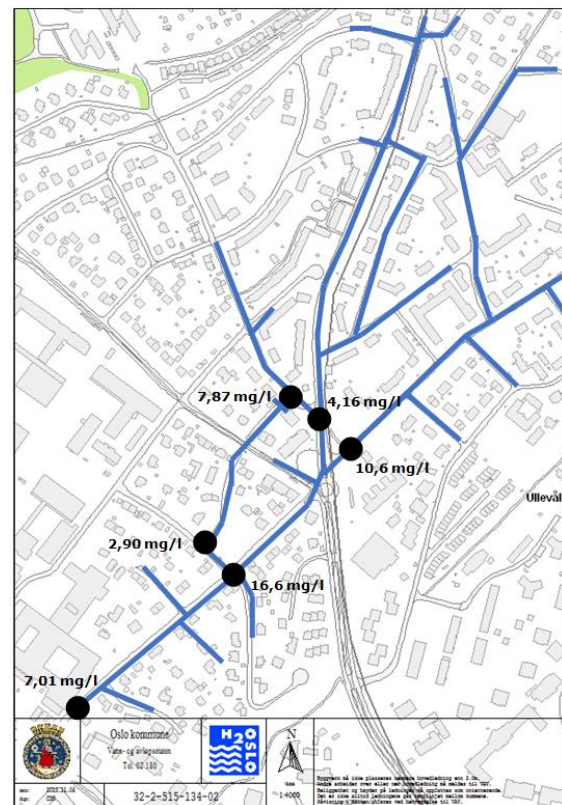
Prøve	Dato	Målepunkt (SID)	Avløpssone	VNP-NH4NSK M 223 mg/l NH4-N
2013-01196-008	31.10.13	150588	VMAL8_S2_A	6,08
2013-01196-009	31.10.13	134772	VMAL8_S2_E	3,22
2013-01196-010	31.10.13	134752	VMAL8_S2_C	12,7
2013-01196-011	31.10.13	134774	VMAL8_S2_D	1,75
2013-01196-012	31.10.13	3993	VMAL8_S2_G	15,7
2013-01196-013	31.10.13	134788	VMAL8_S2_F	7,65
2013-01196-014	31.10.13	134751	VMAL8_S2_B	4,26
2013-01196-001	31.10.13	232387	VMAL9_S5_1	7,01
2013-01196-002	31.10.13	248886	VMAL9_S5_5	4,16
2013-01196-003	31.10.13	232263	VMAL9_S5_3	2,90
2013-01196-005	08.11.13	232263	VMAL9_S5_2	16,6
2013-01196-006	31.10.13	248886	VMAL9_S5_4	10,6
2013-01196-007	31.10.13	248869	VMAL9_S5_6	7,87

Målte ammoniumkonsentrasjoner er angitt i Tabell 9.12.

Figur 9.6.3. og Figur 9.6.4. illustrerer fosforkonsentrasjonene ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnettet i henholdsvis VMAL8\_S2 og VMAL9\_S5.



Figur 9.3.7. Ammoniumkonsentrasjoner i VMAL8\_S2 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnettet



Figur 9.3.6. Ammoniumkonsentrasjoner i VMAL9\_S5 ved de ulike prøvepunktene på avløpsledningsnettet

Denne studien benytter 20 mg/l NH<sub>4</sub>-N som standardverdi for ammoniuminnhold i avløpsvannet, og metoden er utført med nøyaktig samme fremgangsmåte som for fosformetoden.

Resultatene er gitt i Tabell 9.13. nedenfor.

Tabell 9.12. Fremmedvannsberegninger med hensyn på ammoniumkonsentrasjoner

Avløpssone	Antall PE	C <sub>m</sub>	C <sub>s,12</sub>	Q <sub>m</sub>	Q <sub>s,pers</sub>	Q <sub>s,kons</sub>	Q <sub>f</sub>	Q <sub>f</sub>	Q <sub>f</sub>
		mg/l NH <sub>4</sub> -N	mg/l NH <sub>4</sub> -N	LPS	LPS	LPS	LPS	LPS/km	%
VMAL8_S2_A	1453,01	6,08	20	13,75	2,69	8,85	6,16	1,04	69,6 %
VMAL8_S2_B	1054,17	4,26	20	10,90	1,95	9,17	7,21	1,54	78,6 %
VMAL8_S2_C	280,09	12,7	20	1,28	0,52	0,82	0,30	0,30	36,6 %
VMAL8_S2_D	86	1,75	20	0,53	0,16	1,82	1,66	4,36	91,2 %
VMAL8_S2_E	757	3,22	20	9,26	1,40	8,71	7,31	2,20	83,9 %
VMAL8_S2_F	34,2	7,65	20	0,20	0,06	0,17	0,10	0,50	58,8 %
VMAL8_S2_G	679,96	15,7	20	6,29	1,26	1,60	0,34	0,10	21,3 %
VMAL9_S5_1	1933,32	7,01	20	21,27	3,58	10,21	6,63	1,26	64,9 %
VMAL9_S5_2	1667,45	16,6	20	11,34	3,09	3,72	0,63	0,18	16,9 %
VMAL9_S5_3	72	2,9	20	0,3	0,13	0,92	0,79	1,23	85,9 %
VMAL9_S5_4	716,98	10,6	20	2,94	1,33	2,51	1,18	0,92	47,0 %
VMAL9_S5_5	822,54	4,16	20	6,57	1,52	7,32	5,80	5,13	79,2 %
VMAL9_S5_6	49	7,87	20	0,16	0,09	0,23	0,14	0,38	60,9 %

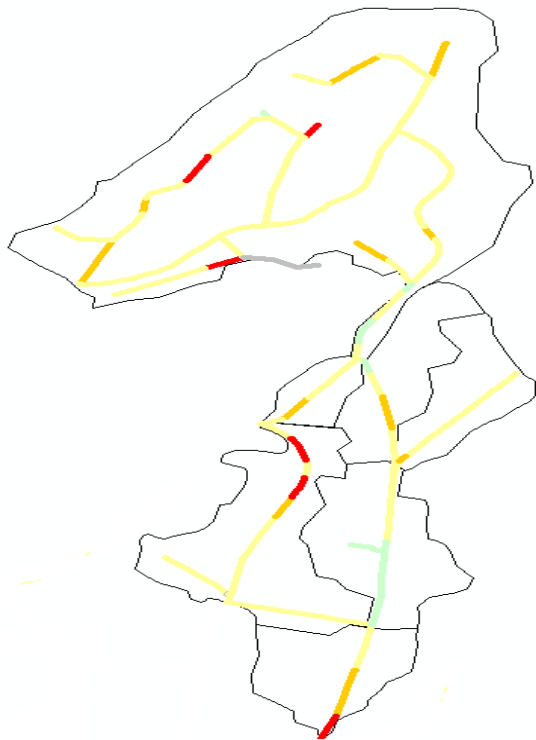
Ettersom prøvepunktene befinner seg nedstrøms et stort avløpsledningsnett, vil vannføringen tilbakelegge store avstander slik at noe av ammoniumet vil være forsvunnet ved prøvepunktet. Dette gir for lave verdier. Ammonium fra andre kilder enn spillvann vil også kunne gi utslag på metoden.

## 9.5. Rørinspeksjon

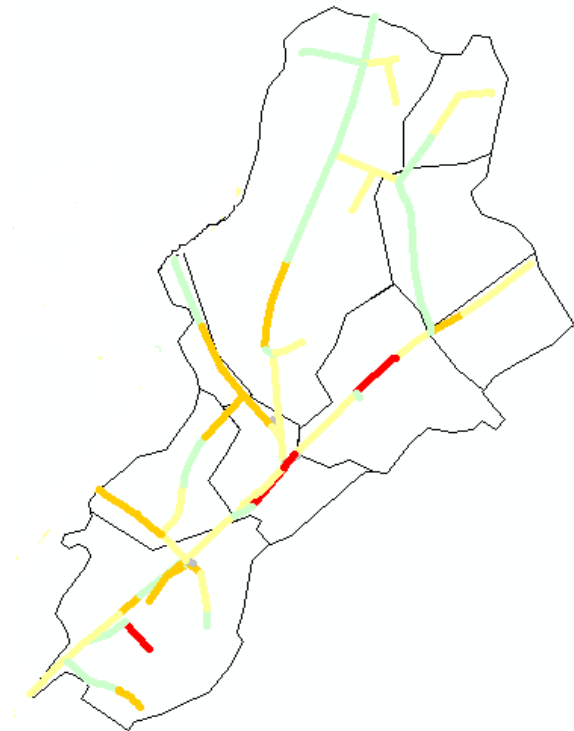
For begge av studiens avløpssoner er det studert flere eksisterende rørinspeksjonsvideoer og -rapporter fra i RioGIS, som er det verktøyet VAV benytter for rørinspeksjon og tilstandskartlegging av avløpsledninger i Oslo kommune.

Det er sammenfattet to korte sammendrag av innrapporterte data, som er bearbeidet i denne studien for å gjelde VMAL8\_S2, disse er vist i henholdsvis vedlegg H og I.

### 9.5.1. Tilstandsklasser



Figur 9.5.2. Temakart som illustrerer de ulike tilstandsklassene som avløpsledningene i VMAL8\_S2 er tildelt



Figur 9.5.1. Temakart som illustrerer de ulike tilstandsklassene som avløpsledningene i VMAL9\_S5 er tildelt

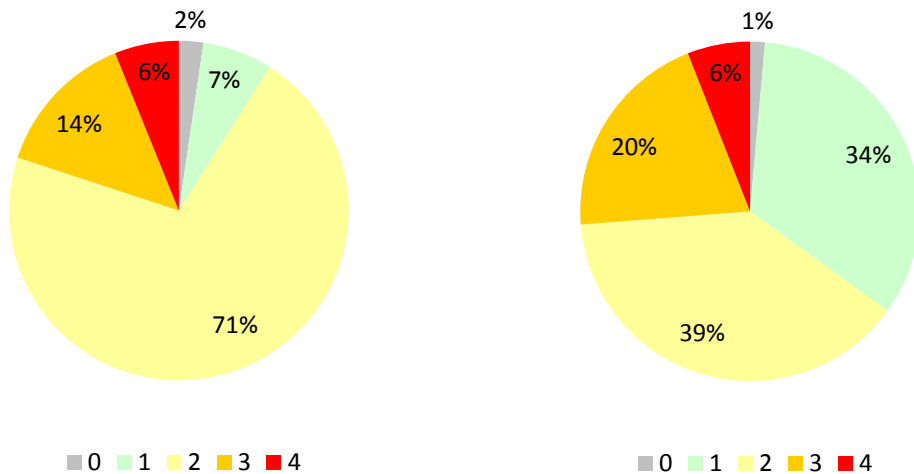
Figur 9.4.1. illustrerer avløpsledningenes ulike tilstandsklasser i VMAL8\_S2. Det er en solid overvekt av avløpsledninger inn under tilstandsklasse 2 «brukbar tilstand». Konsekvensene av denne tilstandsklassen er normalt forbundet med utlekking til grunnen og innlekking av fremmedvann. Dernest følger tilstandsklasse 3 «tvilsom tilstand» som kjennetegnes med konsekvenstyper som kjelleroversvømmelser og utlekking til vassdrag. Frognervassdraget befinner seg langs med høyre siden av Figur 9.4.1. men med god avstand til avløpsledningsnettet i VMAL8\_S2. Likevel er det et overløp i overgangen fra en fellesledning til et separatsystem, der avløpsvannet kan under visse betingelser med høy vannføring tilføres overvannsledningen og renne ut i vassdraget. Det er ikke observert denne hendelsen, men vet etter inspeksjon av ledningskartverket Gemini VA at overløpet eksisterer i VMAL8\_S2\_B. Det er også denne avløpssonen som fremkommer som den med best fysisk tilstand, markert grønt nede til høyre i Figur 9.4.1.

Figur 9.4.2. illustrerer avløpsledningenes ulike tilstandsklasser i VMAL8\_S2. Det er tilstandsklassene 1 «god tilstand» og 2 «brukbar tilstand» som er dominerende for avløpsledningsnett. Avløpsledningene i VMAL9\_S5 er i vesentlig bedre fysisk tilstand sett i forhold til VMAL8\_S2, noe som kan skyldes at avløpsledningsnett er nyere anlagt, omtalt videre i avsnitt 9.5.2.

I Tabell 9.9. og Figur 9.4.5. er det vist en sammenlikning mellom tilstand- og tiltaksvurdering av avløpsledningsnett for begge avløpssonene.

*Tabell 9.13. Oppsummering av resultatet av tilstandsvurderingen for studiens avløpssoner. Tilstandsvurderingene er utført av Oslo VAV Funksjon tiltak avløp ved Mathilde Stoskopf i 2008-2010.*

Tilstand	Betegnelse på tilstand	VMAL8_S2		VMAL9_S5		Kommentar
		Antall ledninger	Antall meter	Antall ledninger	Antall meter	
1	God	11	337,38	27	1274,2	Ingen tiltak nødvendig, med mindre særlige grunner
2	Brukbar	73	3587,7	36	1473,3	Tiltak kan gjennomføres, så fremt det er gode argumentasjoner for utbredelse
3	Tvilsom	9	509,13	15	796,91	Tiltak bør gjennomføres med mindre det er gode argumentasjoner for å la være
31	Tvilsom	4	188,77	Ingen	0	Punkttingrep bør gjennomføres
4	Dårlig	4	204,34	5	226,60	Tiltak må normalt alltid gjennomføres
41	Dårlig	2	105,09	Ingen	0	Punkttingrep må gjennomføres



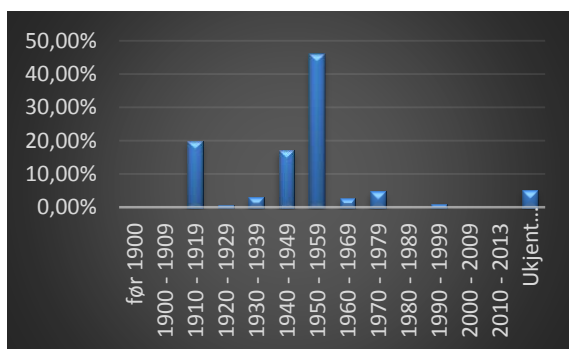
Figur 9.5.3. Sammenlikning av ulike tilstandsklasser på avløpsledningsnett (VMAL8\_S2 til venstre og VMAL9\_S5 til høyre)

### 9.5.2. Ledningsalder

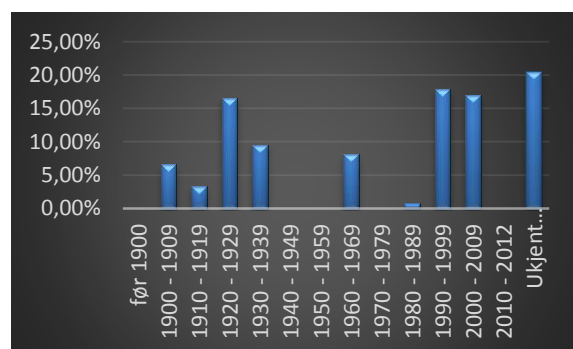
Aldrende avløpsledningsnett er ofte forbundet med høy innlekking av fremmedvann og en forringing av kvaliteten på avløpsledningsnett. Sagt med andre ord, reduserende tilstand med økende alder.

Torres (2013) gjorde i sin studie for Oslo kommune en observasjon av at avløpsledninger anlagt i etterkrigsårene hadde generelt en betydelig lavere fremmedvannsandel, sett i forhold til gjennomsnittet for hele byen. Resultatet er oppsiktsvekkende, da den er med på å bryte forventningene om økende fremmedvann med økende alder. Byggteknikk, grøfteutførelse og materialvalg virker å være av større betydning for ledningstilstanden enn for ledningsalderen.

Figur 9.4.4. og Figur 9.4.5. viser konstruksjons- og rehabiliteringsår for hvert tiår.

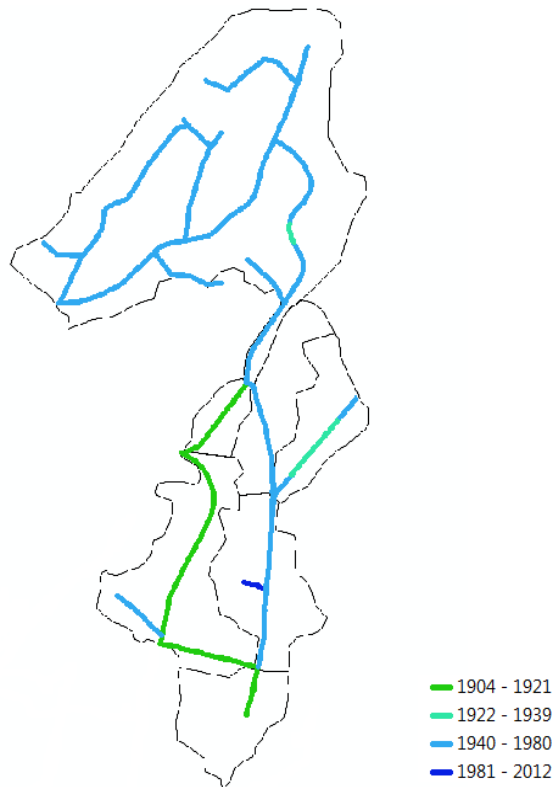


Figur 9.5.5. Konstruksjonsår og rehabilitering av ledningsanlegg i VMAL8\_S2

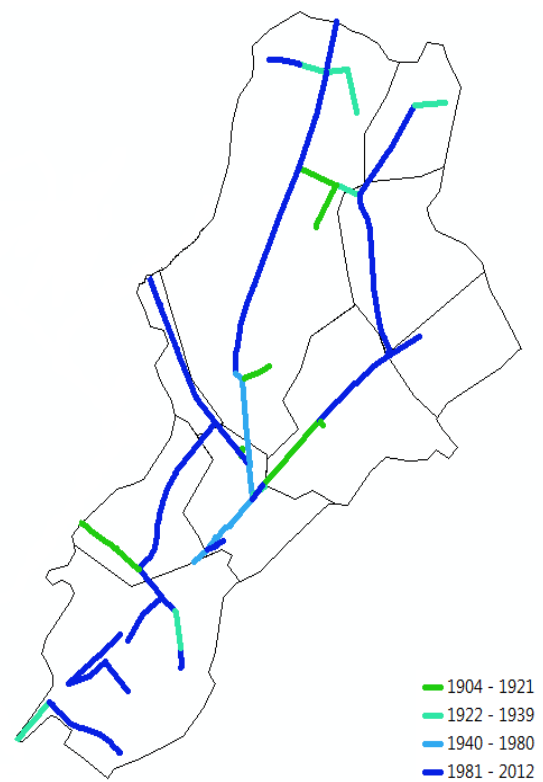


Figur 9.5.4. Konstruksjonsår og rehabilitering av ledningsanlegg i VMAL9\_S5

Av Figur 9.4.7. er overvekten av avløpsledningsnett i VMAL9\_S5 anlagt eller renoverert i tidsperioden 1981-2012. Ved sammenlikning av tilstandsklassene i Figur 9.4.2. og konstruksjons- eller renoveringsåret i Figur 9.4.7. er det lett å se en sammenheng, i motsetning til det som er for tilfelle VMAL8\_S2. Resultatet tyder på at i det området der det er renoverert mest, er også tilstanden best. Største andelen, med referanse i antall kilometer ledning, av avløpsledningsnett som er anlagt eller renoverert i tidsrommet 1981-2012 innehar tilstandsklassen 1 «god tilstand».

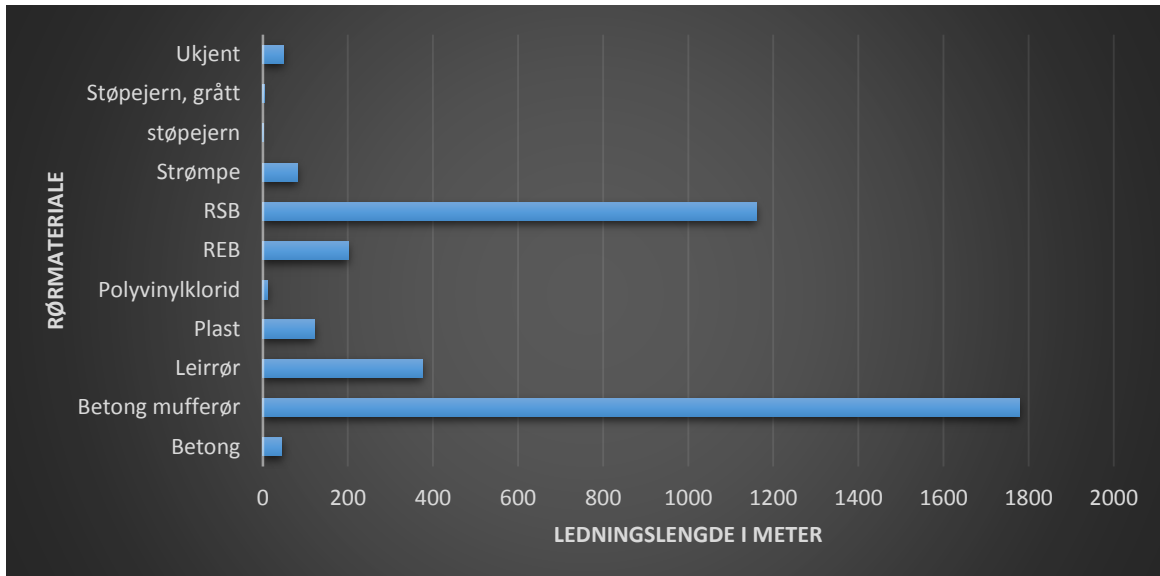


Figur 9.5.7. Temakart over gjennomsnittlig konstruksjons- og renoveringsår av avløpsledningsnett i VMAL8\_S2



Figur 9.5.6. Temakart over gjennomsnittlig konstruksjons- og renoveringsår av avløpsledningsnett i VMAL9\_S5

### 9.5.3. Materialer



Figur 9.5.8. Materialvalg i VMAL9\_S5

Figur 9.4.8. anskueliggjør materialvalget i VMAL9\_S5 vektet etter ledningslengde i meter. Det er betong som er det dominerende materialvalget, men også plast og leirrør (gammelt av) er materialer som er blitt benyttet. RSB og REB, som begge er rørmaterialer fremkommet av figuren over, brukes om rehabilitering av betongrør. Ytterst få ledninger går inn under kategorien «ukjent».

Da hele avløpsledningsnett i VMAL8\_S2 fremstår i betong, er det ansett som ikke nødvendig å presentere denne ytterligere i en figur.

Betong er mest brukt i tidligere tiders avløpsledningsnett. Det er fortsatt det mest anvendte materialet for store rørdimensjoner, men brukes også mye i mindre dimensjoner som avløpssonene i denne studien er et eksempel på. Normal god korrosjonsbestandighet på betongrørene, men ettersom betongrørene leveres i veldig korte rørlengder blir det desto flere skjøter, med mulig innlekking av fremmedvann. Forskjøvn skjøter er en vesentlig kilde til innlekking av fremmedvann på avløpsledningsnett. Det kan også forårsake ukontrollert utlekking til ytre miljø og omgivelsene. Forskjøvn skjøter har innvirkning på avløpsledningens tverrsnittsareal og vil påvirke vannstrømningen i røret og dermed bidra til redusert kapasitet i avløpsledningen.

Inntrengning av røtter kan forekomme gjennom toppen av avløpsledningen eller langs rørveggen via sprekker og skjøter. Ved ekspansjon av røttene med tilgang til vann og næring, opptar kapasiteten bidrar dette til blokkering og tilstopninger og videre nedbrytning av avløpsledningen (Nilo et al. 2012). Flere tilfeller med røtter, desto høyere konsekvensnivå. Rotinntrengning i form av begroing langs rørveggen anses som alvorligere enn rotvekst gjennom toppen av avløpsledningen, ettersom sistnevnte vil tette seg til rørveggen, øke ruheten og oppta kapasitet i avløpsledningen, mens sistnevnte vil bøye seg med vannføringen, forbeholdt høyt vannnivå og hastighet.



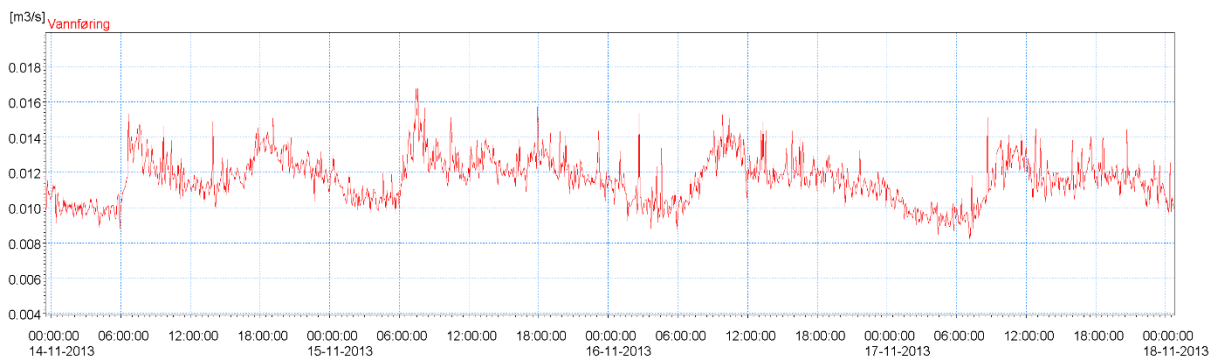
Innlekking av fremmedvann er hovedsakelig forårsaket sprekker og skjøter på avløpsledningsnett. Dersom avløpsledningen ligger parallelt med drikkevannsledningen, kan en observert punktlekkasje på avløpsledningsnett være et signal om at en drikkevannsl lekkasje har oppstått i nærheten. I så måte er det drikkevannsledningen som er kritisk og som må utbedres. Viktig å få frem at avløpsledninger med innlekking av fremmedvann også er potensielle kilder for utlekking til omgivelsene. Det kan gå begge veier.

Stor korrosjon, slitasje, bidrar til høy ruhet og reduserer selvrensingen i avløpsledningene. Vannhastigheten vil gå ned, til tider stagnere, og medføre økte tilstopninger.

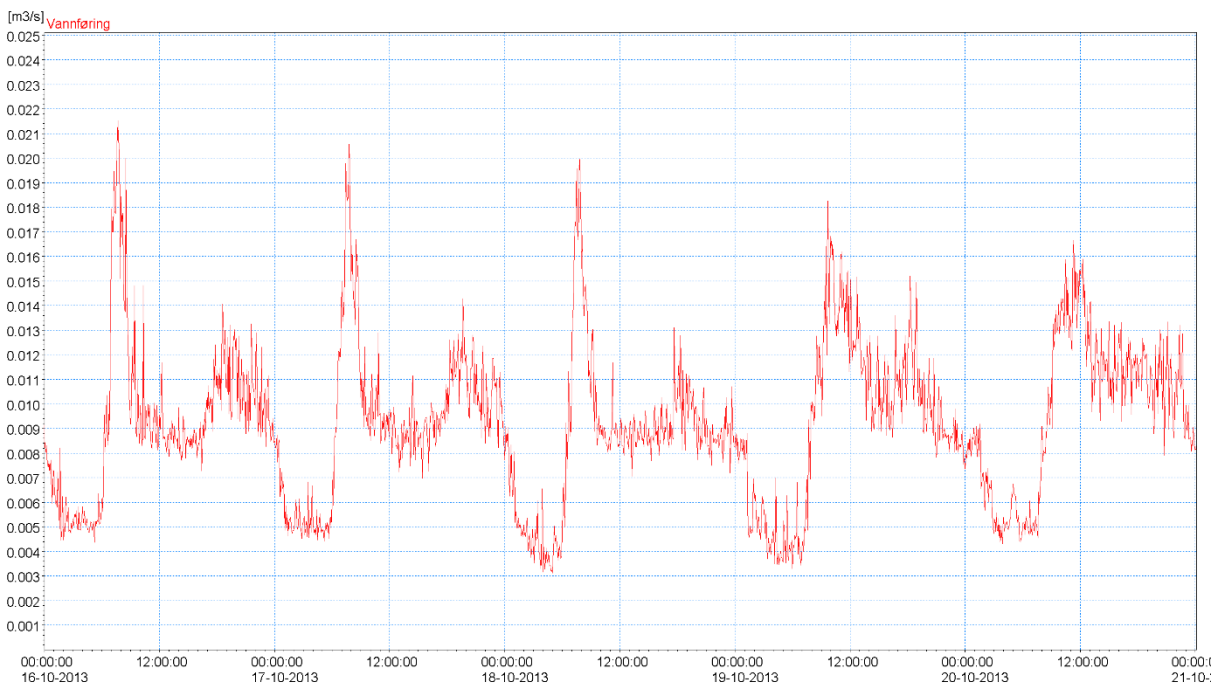
Avløpsledninger i parallell med en overvannsledning som renner ut i et vassdrag kan medføre en fare for utlekking av avløpsvann som kan forringe vassdragets vannkvalitet betraktelig. I slike tilfeller omtales såkalte «risikoledninger». For risikoledninger er det spesielt viktig at det ikke oppstår driftsforstyrrelser, og de bør derfor ha lavere terskel for tiltak enn andre ledninger. Er en vurderingssak, spesielt vanskelig for tilstandsklasse 2 og 3. Det er flere faktorer som vil være medvirkende: Grunnforhold, Grunnvannstand, Temperatur etc. (Nilo et al. 2012)

### 9.6.1. Kontroll av nattvannforbruket

Tørrværsvannføringen, definert som vannføring uten påvirkning av nedbør og avrenning de siste 24 timer i avløpssonene, er vist for en representativ kort periode i Figur 9.6.1. og Figur 9.6.2. Med bakgrunn i tørrværsvannføringen studeres nattvannforbruket. Høyt nattvannforbruk kan være en identifikasjon på mye innlekking av fremmedvann. Dersom nattvannforbruket  $Q_{natt} > 70\%$  av  $Q_{dag}$  antas høy fremmedvannsandel av den totale vannføringen. Dette er ett av flere kriterier som benyttes i Oslo VAV for å bestemme fremmedvannsmengden. Ved lave nattverdier for Tot-P, mindre enn 50 % av Tot-P inn på avløpsrenseanlegget om natten, signaliseres fremmedvannsmengden som betydelig. En forutsetning for å benytte denne metoden er utførelse i et tørrværsdøgn.



Figur 9.6.1. Målt vannføring i tørrværsdøgn for VMAL8\_S2



Figur 9.6.2. Målt vannføring i tørrværsdøgn for VMAL9\_S5

For begge avløpssonene tydes det at nattvannforbruk 50-60 % av dagvannføringen, når toppene unngås.



## **Del IV: Avslutning**



## 10. Sammenlikning av tre metoder for fremmedvannsberegninger

I Tabell 10.1. er det vist en sammenlikning av tre ulike anvendte metoder for beregning av fremmedvannsmengder.

Tabell 10.1. Sammenlikning av momentanmåling, fosfor- og ammoniummetoden for fremmedvannsberegninger

Avløpsso ne	Antall PE	Lengd e km	Momentanmåling			Fosformetoden			Ammoniummetode n		
			Q <sub>f</sub> LPS	Q <sub>f</sub> LPS/k m	Q <sub>f</sub> %	Q <sub>f</sub> LPS	Q <sub>f</sub> LPS/k m	Q <sub>f</sub> %	Q <sub>f</sub> LP S	Q <sub>f</sub> LPS/k m	Q <sub>f</sub> %
VMAL8_S2 _A	1453,0 1	5,93	10,9 6	1,85	79,7 0	10,24	1,73	78,5 8	6,3 9	1,08	69,6 0
VMAL8_S2 _B	1054,1 7	4,67	8,87	1,90	81,4 2	15,98	3,42	88,7 5	7,4 8	1,60	78,7 0
VMAL8_S2 _C	280,09	1,00	0,74	0,74	57,9 6	0,59	0,59	52,1 7	0,3 1	0,31	36,5 0
VMAL8_S2 _D	86	0,38	0,36	0,96	68,8 2	109,9 9	289,44	99,8 5	1,7 2	4,53	91,2 5
VMAL8_S2 _E	757	3,73	7,81	2,09	84,2 9	14,41	3,86	90,8 3	7,3 1	1,96	83,4 0
VMAL8_S2 _F	34,2	0,20	0,13	0,67	67,1 5	0,23	1,15	77,8 3	0,1 1	0,53	61,7 5
VMAL8_S2 _G	679,96	3,32	4,98	1,50	79,2 3	6,65	2,00	83,5 8	0,3 6	0,11	21,5 0
VMAL9_S5 _1	1933,3 2	5,25	17,5 6	3,34	82,5 4	8,37	1,59	69,2 5	6,8 8	1,31	64,9 5
VMAL9_S5 _2	1667,4 5	3,52	8,14	2,31	71,7 5	7,16	2,03	69,0 8	0,6 6	0,19	17,0 0
VMAL9_S5 _3	72	0,64	0,16	0,25	53,8 9	2,27	3,54	94,2 5	0,8 2	1,27	85,5 0
VMAL9_S5 _4	716,98	1,28	1,56	1,22	53,1 5	2,98	2,33	68,4 2	1,2 2	0,95	47,0 0
VMAL9_S5 _5	822,54	1,13	4,99	4,42	75,9 5	28,05	24,82	94,6 7	6,0 2	5,33	79,2 0
VMAL9_S5 _6	49	0,37	0,07	0,18	41,1 6	0,04	0,11	30,4 2	0,1 5	0,39	60,6 5

Tabell 10.2. Pearsons korrelasjonsmatrise

	M	F	A
M	1	-0,14	0,75
F	-0,14	1	0,08
A	0,75	0,08	1

Av Tabell 10.2. ses beste korrelasjon mellom momentanmåling av vannføring og ammoniummetoden. Det er vannføringsverdiene basert på fosfor i VMAL8\_S2\_D som ødelegger litt for sammenhengen med de andre metodene, det observeres negativ korrelasjon.

## **11. Mulige tiltak for fremmedvannsreduksjon**

Arbeid med fremmedvann på avløpsledningsnett er både tid- og ressurskrevende. Ett av målene med denne studien er å kartlegge effekten av fremmedvannsreducerende tiltak for Oslo kommune. Tiltakene vil være betinget naturlige forhold som topografi, grunnforhold og hydrogeologi, i tillegg til geografiske og avløpsledningsnettets egenskaper i de aktuelle undersøkelsesområdene. I dette avsnittet forsøkes det å gi en grov beskrivelse av ulike tiltak som kan ha stor innvirkning på fremmedvannsmengden.

### **11.1. Reduksjon av direkte nedbørbetinget fremmedvann**

Rask nedbøravrenning i forbindelse med nedbør vil kunne ha sterk innvirkning på fremmedvannsmengden. RIF (2010) hevder at overflateavrenningen er en viktig kilde til fremmedvann, og at separering er et tiltak som bør ivektlegges tilstrekkelig prioritet. Torres (2013) er av den oppfatning at separatsystemer også vil ha en betydelig belastning av fremmedvann på lengre sikt, forårsaket utette forhold og feilkoblinger.

Overvann på AF-ledningsnett forårsaker normalt, ved store nedbørshendelser, problemer som kjelleroversvømmelser og forurensningstap i forbindelse med overløpsutslipp, som en følge av hydraulisk overbelastning. Den raske nedbøravrenningen er bare betydelig i et kort tidsrom etter en nedbørshendelse, hvor robustheten til fellessystemet vil settes på prøve i tilfeller med mye nedbør av høye intensiteter. Som et tiltak for å redusere denne fremmedvannskomponenten bør lokal overvannsdisponering (LOD) tas i bruk. LOD har som mål å redusere bidraget fra de tette flatene med å avlaste avløpsledningsnett ved å infiltrere, holde tilbake og sikre trygge flomveier på overflaten ved de store nedbørstilfellene.

### **11.2. Reduksjon av konstant innlekking**

Med bakgrunn i resultatet fra den urbanhydrologiske RDII-modellen er konstant innlekking på avløpsledningsnett den viktigste årsaken til fremmedvann for denne studien. For å redusere denne fremmedvannskomponenten kan mulige tiltak være å tette avløpsledninger og kummer eller utføre dreneringstiltak for å senke grunnvannsnivå i grunnen.

#### **11.2.1. Tette avløpsledninger og kummer**

Gjennom å tette avløpsledninger og kummer er det en mulig risiko for at heving av grunnvannsnivået vil påføre større skader på bygg og konstruksjoner. Økt drenering fra hus og bygninger vil samtidig kunne forårsake fuktproblemer i grunnmuren (Eidsmo 2012). Videre er det mest sannsynlig at rehabilitering/tetting av et ledningsstrekk bare er med på å flytte problemet slik at fremmedvannet lekker inn i andre punkter på avløpsledningsnett. Dette så fremt ikke alle avløpsledninger er tette. Det kan være vanskelig å lokalisere de mest utette avløpsledningene. Tetting av avløpsledninger og kummer vil være et effektivt tiltak ved større punktinnlekkasjer, men har liten effekt på «diffus» innlekking. Av resultatet for denne studien er mye av innlekkingen i de to utvalgte avløpssonene diffus og vanskelig å spore.

Verdien av drenering er situasjonsbetinget. Fellesledninger bør ikke tettes helt grunnet manglende kunnskaper om mange av AF-ledningens funksjoner, som ikke er tilstrekkelig kartlagt. Dersom alle fellesledningene ville vært helt tette er det grunn til å tro at dette ville ha påført omgivelsene på overflaten store skader, ettersom vannet i en situasjon med full metning i bakken, ikke ville ha hatt noen annen vei å gå enn oppover. Spillvannsledninger i separatsystemer kan derimot med fordel være helt tette, da fremmedvannet på den måten vil lekke inn i underliggende overvannsledninger og ledes ut til nærmeste vassdrag. Overvannsledningen vil i et slikt tilfelle fungere som en dreneringsledning for området. Det er antatt at overvannsledningen er bedre egnet til å motta dreneringsvann enn fellesledningen. Et slikt tiltak ville imidlertid forutsatt en meget kostbar omlegging for å øke andelen separatsystemer. Kanskje vil det være mer økonomisk gunstig å anlegge egne dreneringsledninger.

### **11.2.2. Avskjærende drenering**

Anlegge grøfter med en naturlig dreneringsledning i bunn er et tiltak for å bortlede dreneringsvann fra hus og bygninger. Grøfta gjenfylles med grove masser med god gjennomstrømlighet. Tiltaket har mindre påvirkning på grunnvannsnivået (Eidsmo 2012). Dreneringsvannet vil tilføres avskjærende dreneringsledninger som er adskilt fra avløpsledningene i egen grøft. I urbane områder, som Oslo, kan derimot eneste mulige tiltak være å legge dreneringer til avløpsledningsgrøft grunnet plassmangel. Tiltaket krever en del oppgraving, noe som kan være kostbart.

## **11.3. Reduksjon av annen innlekking**

### **11.3.1. Drikkevannslekkasjer**

Fremmedvannsmengdene må alltid ses i sammenheng med drikkevannslekkasjene. Drikkevannslekkasjer utgjør ifølge SSB (2013) minimum 20 % av den totale vannproduksjonen i Oslo. Det er en normal praksis i Norge å legge drikkevannsledningen og avløpsledningen i samme grøft, noe som i flere andre land ikke er tillatt grunnet fare for forurensning av drikkevannet (Ødegaard 2012). Ved å gjøre tiltak og redusere drikkevannslekkasjene vil det ha fremmedvannsreducerende effekt, ettersom utette avløpsledninger normalt drenerer lekkasjer på drikkevannsledningen. Arbeid med reduksjon av drikkevannslekkasjer er derfor ansett som et viktig tiltak for å få ned fremmedvannsmengden.

### **11.3.2. Feilkoblinger og ikke-virksomme separatsystemer**

Feilkoblinger i separatsystemer, mellom overvanns- og spillvannsledningen, forekommer ofte og kan bidra med vesentlige fremmedvannsmengder. Det samme gjelder for lekkasjer på private stikkledninger og i sanitærinstallasjoner. Et tiltak vil være å sørge for tilstrekkelig god opplæring og sertifisering av fagfolk som arbeider med anbringninger på avløpsledningsnett. En kan aldri helgardere seg for menneskelige feil, men det bør iverksettes forebyggende tiltak for at slike feil skjer sjeldnere. En alternativ mulighet kan være å benytte generelle fargekoder på avløpsledningene.



Det er ansett som et mulig fremmedvannsreducerende tiltak å gjøre flere av Oslo kommunes ikke-virksomme separatsystemer virksomme. Dette er igjen kostbart, men en tett spillvannsledning har ingen god funksjon når den munner ut i utette fellesledninger nedstrøms.

### **11.3.3. Frakobling av taknedløp**

Frakobling av taknedløp er av Fylkesmannen i Oslo og Akershus (2012) ansett som et kostnadseffektivt fremmedvannsreducerende tiltak og bør prioriteres i områder som er spesielt utsatt for tilbakeslag av avløpsvann ved nedbør med høy intensitet og hyppige kjelleroversvømmelser. Frakobling av taknedløp er et enkelt gjennomførbart tiltak for abonnenten selv, og som kan være med på å avlaste avløpsledningsnettet ved større nedbørshendelser.

## 12. Konklusjon

Fremmedvannsproblematikken er omfattende og vanskelig håndgripelig. Geografiske, geologiske, hydrogeologiske og avløpsledningsnettets egenskaper er eksempler på ytre faktorer, som i en eller annen grad har en innvirkning på fremmedvannsmengden.

Betydelige mengder av den totale fremmedvannsmengden på avløpsledningsnettene er et resultat av den dårlige tilstanden på avløpsledningsnettene. De ulike fremmedvannsberegningene som er utført i denne studien tilsier 60-75 prosent fremmedvann av total vannføring i de undersøkte avløpssonene, og en spesifikk innlekking tilsvarende 1,25-3,95 liter per sekund og km avløpsledning. Beregningene er basert på vannføringsmålinger og konsentrasjonsprøver i tørrvær. Forårsaket de til dels store usikkerhetene og svakhetene ved metodene, omtalt i resultat- og diskusjonsdelen, er det vanskelig å konkludere med større nøyaktighet. Resultatene i denne studien må derfor ses som et grovt estimat, og er antatt å bare gi en indikasjon på situasjonen i de to respektive utvalgte avløpssonene.

Resultatene fra simuleringene i RDII-modellen viste en gjennomsnittlig fremmedvannsmengde på 66,3 prosent (VMAL8\_S2) og 75,5 prosent (VMAL9\_S5) av total vannføring, og dertil en spesifikk innlekking på henholdsvis 2,30 og 3,90 prosent. Bedømmelsen er betinget subjektive oppfatninger og valg av RDII-innstillinger og kalibreringsperiode. Resultatet må derfor vektlegges usikkerhet, da mange ulike alternative parametersett vil kunne gi visuelt like gode resultater.

Denne studien har påvist stor andel av konstant innlekking og indirekte nedbørbetinget fremmedvann, som er en indikasjon på at avløpsledningsnettene ikke er tilstrekkelig tett. Fornyelsestakten er i de fleste norske kommuner for lav, som nevnt innledningsvis, og dermed dårlige forutsetninger for en rask bedring av situasjonen.

Høy fremmedvannsmengde i store deler av avløpsledningsnettene betyr det at det vil være kostnadskrevende å gjøre tiltak. Kostnadene vil etter all sannsynlighet overskride nytten dersom det skal utføres rehabilitering av avløpsledningsnettene på grunn av høy fremmedvannsmengde alene.

Fylkesmannen i Oslo og Akershus (2012) oppfordret kommunene i et brev datert 11.04.2012 å redusere fremmedvannsmengden i avløpsledningsnettene til å ikke overstige 30 % av total vannføring. Målet virker å være urealistisk med tanke på den betydelige konstante innlekkingen som er observert. Den er også utydelig på hvor mye fremmedvann som faktisk må reduseres. Konsekvensene en slik målsetting, er at det må gjøres innsats i enkelte avløpssoner for å redusere fremmedvann uten noen økonomisk eller teknisk grunn. Konsekvensene av fremmedvann på avløpsledningsnettene er stedsbestemt, enkelte steder på avløpsledningsnettene kan være mer sårbare enn andre. For enkelte kommuner vil selv små mengder fremmedvann utgjøre et problem. Altså kan fremmedvann forårsake store utfordringer i noen avløpsledningsnett, og ingen problemer i andre. Det er derfor lite gunstig å operere med prosent fremmedvann i avløpsledningsnettene. Spesifikk innlekking anses som mer forklarende.

Analysen av avløpsledningsnettets sårbarhet for fremmedvann må tas i betraktning i en vurdering av sannsynlighet for flom, overløpsdrift og skader på avløpsledningsnett. Det forutsetter også at en økonomisk vurdering ligger til grunn. I flere tilfeller der lekkasjesøkingen lokaliserer punktinnelekkasjer kan oftest tiltak være mange ganger billigere å gjennomføre.

Ettersom fremmedvann ikke utgjør hovedårsaken til overbelastning på avløpsrenseanleggene eller er avgjørende for renskapasiteten (Var-teknikk 2012) og egne undersøkelser indikerer diffus innlekking i de fleste ledningsanlegg, er det vanskelig å støtte opp om en rehabilitering av eksisterende avløpsledningsnett med hensyn på fremmedvann. Effekten av eventuelle tiltak i sammenheng med kostnader kan ikke forsvares.

## Litteratur

- Abry, T. (1997). Delprosjekt: Tilførsler I Innlekking på avløpsnettet. *Hovedplan avløp*. Oslo vann- og avløpsverk: Avløp og Miljø, Miljøtilsyn. 80 s.
- Andersen, T. (2011). *Stikkledninger - ansvar og tekniske utforminger*. Hamar: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <http://norskvann.no/component/content/article/68-prosjekter/aktive/prosjekter-avlop/495-stikkledninger-ansvar-og-tekniske-utforminger> (lest 10.12.2013).
- Arnell, V., Strandner, H. & Svensson, G. (1980). *Dagvattnets mengd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd*. Göteborg: Meddelande nr. 48 Chalmers Tekniska Högskola.
- Beer, H. d. (2013). *Personlig meddelelse over telefon og e-post* (12.09.2013).
- Bekkum, I. (2012). *Analyse av klimatilpasningstiltak: en casestudie av overvannsnettet på Bogafjell i Sandnes kommune*. Master. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 179 s.
- Bergström, S. (1976). Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *SMHI Report RHO 7*. Norrköping. 134 s.
- Bernhus, C., Nilssen, O., Mosevoll, G. & Hansen, A. (2007). Dataflyt - Klassifisering av avløpsledninger. *NORVAR-rapport*, 150/2007. Hamar: NORVAR BA. 49 s.
- Bjerkholt, J. T. (2012). *ukjent*. Forelesningsfoiler i THT261, Universitetet for miljø- og biovitenskap: institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Brännlund, I. (2010). *Att söka efter in- och utläckage*. Handbok. Norrköping: Norrköping Vatten AB.
- Desserud, E. (2013). *Rent vann i avløp: estimering av fremmedvann i Muusøya rensedistrikt, med bruk av typeområder og modellering av vannføring*. Master. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 65 s.
- DHI. (2000). MOUSE RDII - User Guide. Hørsholm, Denmark: DHI.
- Eidsmo, T. (2012). Modellering av innlekking og forurensning. *Fagtreff Avløp 9. februar 2012 - Gardermoen*.

- Eivind Koch rørinspeksjon AS. (2013). *Historikk*. Oslo. Tilgjengelig fra: <http://www.eivindkoch.no/historie/> (lest 02.12.2013).
- Fylkesmannen i Oslo og Akershus. (2012). *Fremmedvann i kommunale avløpssystemer*. Miljøvernavdelingen. 8 s.
- Huseiernes landsforbund. (2012). *Årsberetning for Huseiernes landsforbunds avdeling for eiendom (HLE) 2011*. Oslo. Tilgjengelig fra: <http://www.huseierne.no/Global/%C3%85rsberetninger/2011/%C3%85rsberetning%20for%20Huseiernes%20Landsforbunds%20avdeling%20for%20eiendom%20HLE%202011.pdf> (lest 20.11.2013).
- Hval, J. P. & Køste, A. (2011). *Modellering av avløpsnettverk med hensyn på klimaendringer i Fredrikstad kommune*. Master. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 135 s.
- Johansen, T. A. (2001). *Under byens gater: Oslos vann- og avløpshistorie*. Oslo: Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. 263 s.
- Krog, B.-R. & Fiskum, L.-E. (2011). *Sanitærinstallasjoner og vannskadesikkerhet: bruk av lekkasjestoppere*, b. 75. Oslo: SINTEF byggforsk. 36 s.
- Lien, O. (2012). Tilstandsvurdering av kommunale vann- og avløpstjenester. *Bedre-VA resultater 2012*. Hamar: Norsk Vann BA. 24 s.
- Lindholm, O. G. & Moen, S. E. (2006). Prognoser for rekruttering till VA-bransjen. *VANN*, nr. 3.
- Lindholm, O. G. (2012). *Om matematiske modeller for beregning av urbane avløpssystemer*. Forelesningsfoiler THT300, Universitetet for miljø- og biovitenskap: institutt for matematiske realfag og teknologi, s. 21.
- Lindholm, O. G., Bjerkholt, J. T. & Lien, O. (2012a). Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett. *VANN*, 1 (47): 39-48.
- Lindholm, O. G., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012b). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. *Norsk Vann Rapport*, 175/2012. Hamar: Norsk Vann BA. 133 s.
- Lundblad, U. & Backö, J. (2012). Undersøkningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvatten, 2012-13: *Svenskt Vatten AB*. 56 s.

- Mays, L. (2001). *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. McGraw Hill.
- Midtsundstad, C. (2006). *Drift av ADS-målestasjoner*. Metoder og rutiner i målefunksjonen, Q-04. Oslo: Vann- og avløpsetaten.
- Nedland, K. T. (2012). Fremmedvannets betydning for investeringskostnadene. *Fagtreff Avløp 9. februar 2012 - Gardermoen*.
- NGU. (2013). *Grunnvann i Norge: Vann og kulturminner på Forskningstorget i Oslo*. Oslo: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: [http://www.grunnvann.no/nyhet\\_03.10.2013\\_forskningstorget.php](http://www.grunnvann.no/nyhet_03.10.2013_forskningstorget.php) (lest 20.11.2013).
- Nilo, S., Christoffersen, B., Skjelanger, R. & Johannessen, L. H. (2012). *Vurdering av rørinspeksjoner på avløpsledninger i Oslo*. Oslo: Oslo kommune Vann- og avløpsetaten. 39 s. Upublisert manuskript.
- Norsk Vann. (2013a). *Norsk Vann mener: Klimatilpasning*. Hamar: Norsk Vann BA. Tilgjengelig fra: <http://norskvann.no/images/pdf/Klimatilpasning.pdf> (lest 16.11.2013).
- Norsk Vann. (2013b). *Norsk Vann mener: Vannforvaltning*. Hamar: Norsk Vann BA. Tilgjengelig fra: <http://norskvann.no/images/pdf/Vannforvaltning.pdf> (lest 16.11.2013).
- Norsk Vann. (2013c). *Pressemelding: Vannbransjen samles i Bergen*. Hamar: Terje Berg. Tilgjengelig fra: <http://www.norskvann.no/meninger/presse/643-pressemelding-vannbransjen-samles-i-bergen> (lest 31.08.2013).
- NVE. (2009). *Grunn- og markvann*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Grunn-og-markvann/> (lest 10.12.2013).
- Olsen, M. & Torres, M. F. (2013). Delplan 7: Fremmedvann. *Hovedplan avløp og miljø*. Oslo: Vann- og avløpsetaten.
- Oslo Elveforum. (2013). *Kart over de ti elvene*. Tilgjengelig fra: [http://www.osloelveforum.no/htdocs/joomla15/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4&Itemid=43](http://www.osloelveforum.no/htdocs/joomla15/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=43) (lest 17.11.2013).
- Oslo kommune. (2013). *Befolkningsframskrivningen 2014-2030*: Oslo kommune Utviklings- og kompetanseetaten. Tilgjengelig fra: <http://www.utviklings-og->

- [kompetanseetaten.oslo.kommune.no/oslostatistikken/befolkningsfremskrivninger/](http://kompetanseetaten.oslo.kommune.no/oslostatistikken/befolkningsfremskrivninger/)  
(lest 25.11.2013).
- Oslo VAV. (2012a). *Ny undersøkelse om hagevanning*. Oslo: Oslo kommune Vann- og avløpsetaten. Tilgjengelig fra: <http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/article227237-11208.html> (lest 23.11.2013).
- Oslo VAV. (2012b). *Årsberetning for 2012*. Oslo: Oslo kommune Vann- og avløpsetaten. Tilgjengelig fra: [http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20\(VAV\)/Internett%20\(VAV\)/Dokumenter/%C3%85rsberetninger/%C3%85rsberetning\\_VAV2012.pdf](http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20(VAV)/Internett%20(VAV)/Dokumenter/%C3%85rsberetninger/%C3%85rsberetning_VAV2012.pdf) (lest 10.12.2013).
- RIF. (2010). *State of Nations*. Oslo: Rådgivende ingeniørers forening.
- Rosim AS. (2012). *RDII Kalibreringsveileder*: Oslo kommune. Upublisert manuskript.
- Rørinspeksjon Norge. (2013). *Om RIN: Historikk*. Tilgjengelig fra: <http://www.rin-norge.no/historikk/> (lest 02.12.2013).
- SSB. (2013). *Kommunalt avløp - KOSTRA*. Oslo: Statistisk Sentralbyrå. Tilgjengelig fra: [http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default\\_FR.asp?PXSid=0&nvl=true&Language=0&tilside=selecttable/hovedtabellHjem.asp&KortnavnWeb=var\\_kostr](http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default_FR.asp?PXSid=0&nvl=true&Language=0&tilside=selecttable/hovedtabellHjem.asp&KortnavnWeb=var_kostr) (lest 26.10.2013).
- Stavanger kommune. (2013). *Spørsmål og svar om overtakelse av stikkledninger* [Foto]. Tilgjengelig fra: <http://www.stavanger.kommune.no/tilbud-tjenester-og-skjema/vann-og-avlop/stavanger-kommune-overtarbrprivate-stikkledninger/sporsmal-og-svar-om-stikkledninger/> (lest 10.12.2013).
- Sælthun, N. R. (2002). *Hydrologiske modeller*.
- Torres, M. F. (2013). *Fremmedvann i Oslo kommune: Evaluering av fremmedvannets volum, kilder og sammenheng med målbare egenskaper til avløpsnett*. Master. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 123 s.
- USEPA. (2008). *Review of Sewer Design Criteria and RDII Prediction Methods*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory.
- Vråle, L. (1993). *Konsekvenser av inntak av fremmedvann i avløpsledninger*. Oslo: Statens forurensningstilsyn. 58 s.

Ødegaard, H. (red.). (2012). *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann BA. 704 s.

Øyen, E. (2002a). *Hastighet-areal metoden*. Metoder og rutiner i målefunksjonen, Q-01. Oslo: Vann- og avløpsetaten.

Øyen, E. (2002b). *Måling av nedbør med mobile nedbørsmålere*. Metoder og rutiner i målefunksjonen, M-03. Oslo: Vann- og avløpsetaten.

Øyen, E. (2002c). *Oppsamlingsmetoden*. Metoder og rutiner i målefunksjonen, Q-02. Oslo: Vann- og avløpsetaten.



## Vedlegg A

# SPØRREUNDERSØKELSE

---

## Fremmedvann i kommunale avløpssystemer

Jeg er en student i vann- og miljøteknikk ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) som for tiden gjennomfører avsluttende masteroppgave på fremmedvann. Min oppgave består i å evaluere undersøkelsesmetoder for kartlegging av årsaker og effektive tiltak for å redusere fremmedvann i Oslo kommune, og fokuserer på forholdet mellom fremmedvannsmengder og avløpfeltens egenskaper. Dette innebærer å utforske lokale forhold og feltparametre som topografi, grunnforhold, fordeling av overvann, drensvann, grunnvannsnivå, taknedløp, bekkekryssinger etc. Min hovedveileder ved UMB er Prof. Harsha Ratnaweera.

Foreløpig problemstilling: Hvordan kan etablerte undersøkelser som måle- og inspeksjonsteknologi, feltundersøkelser og simuleringer være med på å avdekke fremmedvannskilder i aldrende avløpsnett og benyttes i planlegging for fremmedvannsreducerende tiltak?

Dere er invitert til å ta del i denne studien som en innledning til oppgavens faglige tema. Målet med denne undersøkelsen er å kartlegge status og erfaringer med fremmedvann i Norge. Resultatene vil bli presentert i min masteroppgave.

Jeg håper dere har anledning til å delta og svare på fire konkrete spørsmål – svar så utfyllende som mulig på de spørsmål som er aktuelle!

Vennligst ta kontakt hvis dere ønsker mer informasjon om undersøkelsen.

Christopher Gehrken Strauman  
Student, Institutt for matematiske realfag og teknologi  
Universitetet for miljø- og biovitenskap  
E-post: christopher.strauman@student.umb.no

---

### GENERELLE OPPLYSNINGER

Kommune/virksomhet: \_\_\_\_\_

Navn: \_\_\_\_\_

Stilling: \_\_\_\_\_

### FREMMEVANN

- I. Hva motiverer dere til å arbeide for å redusere fremmedvannsmengden?
- II. Hva gjør dere for å redusere fremmedvannsmengden?
- III. Hvilke erfaringer har dere av fremmedvannsreducerende tiltak?
- IV. Andre kommentarer

## Vedlegg B

Oslo, 21.09.2013

To whom it may concern,

I'm a student of technology – Master in Water and Environmental Engineering at Norwegian University of Life Sciences conducting this research as a part of my final Master thesis. The theme of my thesis is Infiltration and inflow (I/I) in Oslo Municipality. My research investigates survey methods for identifying causes and effective measures to reduce I/I in Oslo, focusing on the relationship between I/I and drainage field's properties. This means exploring local conditions and field parameters such as topography, soil conditions, the distribution of surface water, drainage water, groundwater level, roof drainage pipes, stream crossings, etc. My supervisor for the project is Prof. Harsha Ratnaweera.

Project Title: Evaluation of diagnostic methods for identifying the causes and effective measures to reduce Infiltration and Inflow in Oslo municipality.

Following the recommendation of Prof. Oddvar Lindholm I contact several water and sewerage companies/industries to clarify the status and experience with I/I in foreign countries.

You are invited to take part in this research study. I hope you have the opportunity to participate and make an effort to answer me. The results will be presented in the introduction of my thesis.

Please ask if there is anything that is not clear, or if you would like more information.

Thank you in advance.

Christopher Gehrken Strauman  
Student, Department of Mathematical Sciences and Technology  
Norwegian University of Life Sciences  
E-mail: christopher.strauman@student.umb.no

- 
- I. The definition of infiltration and inflow is a somewhat vague term in the water and sewerage industry in Norway. How is infiltration and inflow defined in your country?
  - II. Please tell me about the scope of the inflow and infiltration problem in your country.
  - III. What motivates you to work to reduce the amount of infiltration and inflow? Why is inflow and infiltration a problem for you?
  - IV. What are you doing to reduce the amount of infiltration and inflow?
  - V. What experience do you have of infiltration and inflow reduction measures?
  - VI. Other comments

## Vedlegg C

### E-post datert 26. november 2013 fra Arnhild Helene Krogh:

Hei!

Her kommer mine svar. For mer utfyllende svar - se tekst i ny hovedplan avløp og vannmiljø om dette.

1. Hva motiverer dere til å arbeide for å redusere fremmedvannsmengden? Andelen fremmedvann er høy i Oslo. Det skaper problemer med høy spissbelastning på renseanleggene ved nedbør. Om fremmedvannsmengden går ned vil vi også frigjøre kapasitet i ledningsnett slik at mindre vann går i overløp eller at vi unngår oppstuvning og kjelleroversvømmelser. Vannet som transporteres til renseanleggene pumpes og behandles med kjemikalier - vi vil også få en gevinst her med reduserte fremmedvannsmengder.

II. Hva gjør dere for å redusere fremmedvannsmengden? Vi har gjennomført en større undersøkelse på ledningsnett for å kartlegge fremmedvannsandelen i ulike avløpssoner. I vår nye hovedplan avløp og vannmiljø er det satt mål om redusert fremmedvannsmengde. Dette er et langsiktig arbeid og vil kreve innsats over tid. Det er også viktig her at vi ser på den private delen av ledningsnett.

III. Hvilke erfaringer har dere av fremmedvannsreduserende tiltak? Erfaringen er at dette er vanskelig å få til i praksis. Det krevet at vi ikke bare tetter ledninger, men også tenker på kummer og private stikkledninger. Siden undersøkelsen viser at det er høy fremmedvannsmengde i store deler av nettet betyr det et det vil være kostnadskrevende å gjøre noe med dette. Sannsynligvis vil kostnadene langt overskride nytten om vi bare skal rehabilitere ledningsnett pga. høy fremmedvannsmengde.

IV. Andre kommentarer

Mvh  
Arnhild

## Vedlegg D

**E-post datert 28. oktober 2013 fra Bjørn Zimmer Jacobsen:**

Hei,

Dette høres ut som en meget interessant og nyttig oppgave. Gratulerer med godt valg, og lykke til med masteroppgaven!

Svar på spørsmålene dine:

I.

Reduserte utgifter til rensing, redusert energiforbruk (pumper), sikre kapasitet til det ledningsnett er bygget for, redusere faren for overløpsdrift etc. samt økt renseseffekt hos IVAR som renser avløpsvannet i regionen.

II.

Tradisjonelt har vi i Stavanger jobbet mer med separering enn fremmedvannsreduksjon. Systematisk rørinspeksjon og vannføringsmåling ifm. modellering er benyttet til å finne innlekking av fremmedvann (inkl. feilkoblinger). Driftsdata for stasjonene er viktige for å finne fremmedvann, f.eks. tidevann som påvirker pumpene.

I hovedplan for vannforsyning, vannmiljø og avløp (gjeldende fra 1.1.2011) er vann på avveie trukket fram som en av hovedutfordringene vi står ovenfor (sammen med rekruttering). Som et tiltak skal det lages en egen temaplan for separering og fremmedvannsreduksjon som skal slå fast hvordan vi skal jobbe systematisk med denne problematikken i årene som kommer. Så langt har andre tema fra hovedplanen hatt større fokus (f.eks. lekkasje fra vannledningsnett), men i 2014 er tanken at denne temaplanen skal utarbeides og fremmedvann blir følgelig løftet høyt opp på dagsorden.

III.

Ledningsnettfornyelse i sjønære områder der vi ut i fra driftskontrollanlegget ser at sjøen kommer inn synes effektivt. I tillegg har tiltak på stasjoner der høy sjøvannstand kommer inn vært fokusert på. Vi har imidlertid ikke pr nå god dokumentasjon på effektene.

IV.

Det er etter min vurdering viktig å skille mellom fremmedvann og overvann i fellessystemet i en slik oppgave. Selv om overvann i fellessystemet har mye til felles med fremmedvann særlig når det kommer til renselanlegget, er det to ulike forhold. Overvannet er i fellessystemet planlagt å gå der og er ikke "fremmed".

Som sagt, lykke til med oppgaven. Håper at resultatet tilgjengeliggjøres. Den kan være nyttig for oss ifm. det arbeidet vi skal i gang med til neste år.

Med hilsen

Bjørn Zimmer Jacobsen

# Vedlegg E

## E-post datert 28. oktober 2013 fra Marit Aase:

Hei og takk for invitasjonen.

Vedlagt følger svar fra oss her i Bergen kommune, ved Vann- og avløpsetaten.

I. Hva motiverer dere til å arbeide for å redusere fremmedvannsmengden?

- Mål om reduksjon av uønskede hendelser med utslipp til ytre miljø, dvs reduksjon av overløpsdrift
- Vannforskriftens mål om god økologisk og kjemisk kvalitet i vannforekomstene
- Sikre tilstrekkelig kapasitet på avløpsrensaneanleggene
- Sikre kontroll på kvalitet på avløpsvannet som føres til høygradig rensaneanlegg for å unngå negativ påvirkning på rensesprosessen
- Øke restkapasiteten på avløpsnettet for å sikre tilstrekkelig kapasitet på ledningsnettet i fremtiden når vi tar i betraktning prognoser for klimaendringer og økt befolkningstetthet

II. Hva gjør dere for å redusere fremmedvannsmengden?

- Separerer (Bergen kommunen har i stor grad fellessystem). I alle prosjekt som gjennomføres vurderes behovet og mulighet for separering, utkobling av overløp, gjenåpning av lukkede bekker/elver, øke dimensjon på overvannsnettet, flomveier
- Fornye lavtliggende avløpsnett, som er plassert under flomål, med ledningsnett uten åpne kummer samt å bygge pumpestasjon for å hindre tilbakeslag ved høy sjøvannsstand
- Krav om lokal overvannshåndtering og fordrøyning lokalt. Det er medtatt krav i kommuneplanens arealdel at det i alle reguleringsplaner skal utarbeides VA-rammeplan som sikrer tilstrekkelig med areal til til VA-system og overvannshåndtering, samt sikrer flomveier og at flomveiene ikke avlaster vann til avløpsnettet.
- Rehabiliterer eksisterende nett slik at inn- og utlekking ikke finner sted
- Sporing av feilkoblinger

III. Hvilke erfaringer har dere av fremmedvannsreducerende tiltak?

- Har sikret tilstrekkelig robust avløpsnett som reduserer faren for uønskede hendelser i de områdene der separering er utført
- Viktig å evaluere tiltak for å se om ønsket effekt av tiltak er oppnådd. Metode for kumrehabilitering må for eksempel vurderes i hvert enkelt tilfelle og der det er utvendig vanntrykk må utførelsesmetoden være tilpasset dette
- Reduksjon av overløpsdriften
- Redusert mengde sjøvann på nettet

IV. Andre kommentarer

- Det mangler pr i dag en instans som har ansvar for overvann generelt. Kommunen har ansvar for vann ført til kommunalt nett. Når overvann og grunnvann medfører uakseptable hendelser hos den enkelte grunneier blir det ofte arbeidskrevende sak og overvannet nå enkelte ganger føres til avløppssystemet via nytt tilkoblingspunkt for å hindre uakseptable følgeskader ved at det ikke føres ut av området
- Historisk har det ikke vært ulovlig å føre grunnvann til avløpsnettet for å sikre tørre bygg. I enkelte områder medfører slik justering konsekvenser for området og da især i områder som er av kulturhistorisk interesse. Utførte tiltak er ikke reversible og det er svært utfordrende å finne løsninger som ikke er mer til skade enn til gagn mht å fjerne dette vannet fra avløpsnettet og tilbakeføre det til grunnen.

Dersom det er spørsmål til ovennevnte eller det er andre forhold som ønskes vurdert kan undertegnede kontaktes. Lykke til med prosjektet.

Med vennlig hilsen  
Marit Aase

## Vedlegg F

**E-post datert 28. oktober 2013 fra Jean-Pierre Silan:**

Dear Christopher,

Please find below answer to your questions.

I answer from Wallonia (South part of Belgium). Walloon government is competent for water matters in Wallonia. In Belgium, all legislations and regulations on water are regional matters. This means that my answer is not true for the whole Belgium territory (Flandres and Brussels region are not covered by my answer).

I. The definition of infiltration and inflow is a somewhat vague term in the water and sewerage industry in Norway. How is infiltration and inflow defined in your country?

In Wallonia, there is no legal definition of what I/I is. We used often the terms 'eaux claires' (clear water) or 'eaux parasites' (parasite water) to describe this phenomenon. Most of our sewer systems are combined. So, all water are collected : waste water, rainwater of course but often small springs or brooks, groundwater through unsealed pipes (built as such or simply ageing), etc.

As builders of new sewers, we are committed (by law) to avoid all intrusions of such parasite waters in the new pipes.

II. Please tell me about the scope of the inflow and infiltration problem in your country.

That depends of a lot of parameters: age of the drainage system, level of the aquifer (with seasonal variations), ...

In some WWTPs, there is no dilution and in some others, it can be 200% or more.

III. What motivates you to work to reduce the amount of infiltration and inflow? Why is inflow and infiltration a problem for you?

1) I/I can perturbate some treatment systems (most of our WWTPs are activated sludge process based)

2) I/I can represent amount of water to be collected and pumped (meaning electricity consumption and extra cost)

3) I/I is also source of quicker degradation of pipes and seals.

IV. What are you doing to reduce the amount of infiltration and inflow?

1) to make a study of the importance of dilution by taking samples in summer and samples in winter in different places in the sewer network.

2) to evaluate if I/I is a problem or not. Is it better to prevent I/I or to have a waste water treatment more adapted to dilution.

3) based of this study, if there is a need for actions, to search of the main points of introduction of clear water (is it diffuse or point sources?)

4) to solve the problem e.g. by sealing the old sewers or to give another way to the spring or brooks, etc.

It is also important to take care about groundwater. In some cases, if sewers get better sealed, the aquifer raises and some dry cellars are reached by this new level of groundwater and get wet (not everybody appreciate).

V. What experience do you have of infiltration and inflow reduction measures?

See IV. We did such a work on the city of Liege where we thought first I/I was a diffuse problem very difficult to solve. After 2 years of analysis in the sewer networks, it appeared that there were some small spots of diffuse dilution but the most important sources were local and can be "easily" treated. Looking for cost, we invested more or less 3 millions of euro to reduce (not to delete completely) dilution (in regard of 150 millions of euro for collection and treatment system).

It was an interesting study (in French) but it was a very local study that can not

be transposed as such in another case.

VI. Other comments

If your work is written in English, I will be very interested to read it.

I hope that my answer can help you and if something remains unclear, don't hesitate to ask.

PS: my best wishes to my friend Arne.

Jean-Pierre Silan  
Ir Directeur

## **Vedlegg G**

**E-post datert 20. november 2013 fra Tuija Laakso:**

Dear Christopher (and Mika),

I'm replying to your questions on behalf of prof. Riku Vahala.  
We have one ongoing project which aims at quantifying I/I. I would be very interested in hearing the results of your work.

Mika, can you please answer to at least questions II., IV. and V (and cc those to me)?

I. The definition of infiltration and inflow is a somewhat vague term in the water and sewerage industry in Norway. How is infiltration and inflow defined in your country?

There is one term used in Finnish language which covers both inflow and infiltration. It can be described as "extra water". It covers all water which ends up in the (separate) sewers regardless of whether its source is rainfall, groundwater, surface waters or some other.

II. Please tell me about the scope of the inflow and infiltration problem in your country.

I/I can be considered an extensive problem in Finland. The annual quantity varies based on the rainfall each year and also depending on the utility. The level of inflow and infiltration can be estimated to be between 20-60% (Mika, do you have more exact numbers on this?)

III. What motivates you to work to reduce the amount of infiltration and inflow? Why is inflow and infiltration a problem for you?

I/I causes problems such as extra electricity needed for pumping and wastewater treatment, extra treatment capacity needed at the treatment plant, sewer overflows and process bypasses.

IV. What are you doing to reduce the amount of infiltration and inflow?

This depends on the utility. Usually renovations are expected to reduce the amount of I/I. As far as I know there is currently no national project aiming at I/I reduction.

Kind regards,  
Tuija Laakso

## Vedlegg H

Kort sammendrag av rapportene for rørinspeksjon i VMAL8\_S2. Tilstandsvurderingene er utført av Oslo VAV Funksjon tiltak avløp ved Mathilde Stoskopf i 2008-2010.

SID	Gatekode	Dim	År	Lengde	Tilstand
133638	Stjernevn.	230	1949	76,65	2
133640	Stjernevn.	230	1949	64,72	2
133646	Melkevn.	230	1950	65,9	2
133648	Melkevn.	300	1950	56,66	2
133653	Trosterudvn.	230	1950	58,68	3
133656	Trosterudvn.	230	1951	11,78	2
133659	Trosterudvn.	230	1951	22,32	1
133661	Gråkamvn.	230		53	2
133663	Gråkamvn.	230	1918	54,84	2
133690	Trosterudvn.	230	1950	37,96	2
133702	Trosterudvn.	230	1950	43,3	2
133704	Trosterudvn.	450	1950	15,32	1
133705	Trosterudvn.	230	1950	46,12	2
134099	Trosterudvn.	230	1950	79,91	2
134100	Trosterudvn.	230	1950	55,14	2
134112	Trosterudvn.	230	1928	37,06	2
134113	Trosterudvn.	230	1950	31,04	3
134114	Trudvangvn.	230	1950	64,24	2
134137	Trosterudvn.	230	1950	60,94	2
134158	Melkevn.	230	1950	84,87	2
134167	Melkevn.	230	1950	93,07	2
134288	Melkevn.	230	1950	68,24	2
134386	Risbekkvn.	230	1934	45,48	2
134387	Risbekkvn.	230	1962	48,76	2
134416	Trosterudvn.	230	1950	50,84	1
134869	Gråkamvn.	230	1918	60,01	3
134879	Trosterudvn.	230	1951	59,72	2
134884	Risbekkvn.	230	1934	55,78	2
134985	Melkevn.	230	1950	91,38	2
134989	Melkevn.	230		60,72	4
135185	Stjernevn.	230	1949	51,26	2
135262	Stjernevn.	230	1949	60,29	2
135270	Melkevn.	230	1950	54,53	2
135282	Trosterudvn.	230	1950	83,86	2
148149	Stjernevn.	230	1949	50,41	2
148151	Stjernevn.	230	1949	24,03	2
148156	Stjernevn.	230	1959	16,03	1
148173	Stjernevn.	150	1949	33,86	4
148174	Stjernevn.	230	1949	63,5	2
148184	Melkevn.	230	1959	48,81	3
148185	Melkevn.	230	1959	46,15	3
148186	Melkevn.	230	1959	27,7	2
148194	Melkevn.	230	1959	62,4	2
148197	Melkevn.	230	1959	77,89	31
148199	Melkevn.	230	1959	45,12	2
148204	Melkevn.	230	1959	38,9	2
148205	Melkevn.	230	1959	17,61	2
148209	Melkevn.	230	1959	22,49	2
148602	Melkevn.	230	1959	19,62	2
148603	Melkevn.	230	1959	29,36	2
155630	Trosterudvn.	300	1918	49,32	31
155631	Trosterudvn.	300	1918	58,14	4
156767	Slettenvn.	230	1918	30,87	2

156773	Jegervn.	230	1918	53,44	2
156774	Jegervn.	230	1918	51,62	4
156775	Jegervn.	230	1918	39,19	2
156776	Jegervn.	230	1918	45,09	41
156777	Jegervn.	230	1918	47,99	31
156827	Risbekkvn.	230	1963	34,83	2
156828	Risbekkvn.	230	1934	52,77	2
156829	Risbekkvn.	230	1963	13,57	31
156830	Risbekkvn.	230	1963	31,06	2
156831	Trosterudvn.	230	1951	70,56	2
156832	Trosterudvn.	230	1951	30,21	2
156833	Trosterudvn.	230	1951	70,44	2
156835	Trosterudvn.	230	1951	76,5	2
156839	Jegervn.	230	1918	50,54	2
156840	Jegervn.	230	1918	50,82	2
156853	Brantenborgvn.	300	1918	44,68	2
156854	Brantenborgvn.	300	1918	44,87	2
156857	Brantenborgvn.	300	1918	50,72	2
156862	Trosterudvn.	200	1951	22,84	1
156866	Trosterudvn.	200	1951	42,32	1
156867	Trosterudvn.	200	1972	52,77	1
156868	Trosterudvn.	200	1972	56,16	1
156880	Brantenborgvn.	200	1972	8,2	1
156882	Brantenborgvn.	300	1918	67,57	2
156884	Trosterudvn.	300	1918	46,96	2
156894	Trosterudvn.	300	1918	54,06	2
157102	Jegervn.	230	1918	34,1	2
157103	Jegervn.	230	1918	17,62	2
157224	Trosterudvn.	230	1951	69,19	3
157265	Trosterudvn.	300	1918	53,95	3
158180	Ekornvn.	200	1970	45,14	2
158186	Jegervn.	200	1971	2,96	2
165573	Stjernevn.	230	1949	17,51	2
166521	Melkevn.	230		87,59	2
166524	Stjernevn.	230	1949	107,79	3
166525	Stjernevn.	230	1949	44,06	2
166528	Stjernevn.	230	1949	26,1	2
166529	Stjernevn.	230	1949	33,51	3
166532	Stjernevn.	230	1949	14,06	2
166533	Stjernevn.	230	1949	41,38	2
166547	Planetvn.	230	1949	49,97	2
166548	Planetvn.	230	1949	38,5	2
167671	Melkevn.	230		48,75	2
167672	Melkevn.	230	1950	63,22	2
167674	Melkevn.	230	1950	76,09	2
169549	Stjernevn.	230	1949	60	41
191558	Tennisvn.	200	1970	49,35	2
191562	Ekornvn.	200	1970	24,61	2
278511	Heyerdahls vei	200	1991	31,07	1
278512	Heyerdahls vei	200	1991	19,51	1



## Vedlegg I

Kort sammendrag av rapportene for rørinspeksjon i VMAL9\_S5. Tilstandsvurderingene er utført av Oslo VAV Funksjon tiltak avløp ved Mathilde Stoskopf i 2008-2010.

SID	Gatekode	Dim	År	Lengde	Tilstand
159091	John C. Allé	230		35,56	2
159092	John C. Allé	230	1904	26,41	2
159095	John C. Allé	230		43,65	2
159096	Gäbleins Vei	230	2000	102,36	1
159325	John C. Allé	230	1904	76,95	4
212741	Gäbleins Vei	230	2000	74,83	1
212742	Bergsalléen	230	2000	50,65	1
212743	Bergsalléen	230	2000	76,85	1
212744	Bergsalléen	230	2000	73,77	2
212745	Langlia	230	1927	45,19	2
212974	Trollsvingen	230	1930	60,96	2
213122	Eventyrvn.	230	1928	17	2
218757	Trollsvingen	200		14,43	2
224300	Sognsvn.	230	1996	71,61	1
224304	Tyrihansvn.	230	1930	31,92	2
249999	Sognsvn.	230	1964	62,14	2
250005	Sognsvn.	230	1964	60,79	2
250008	Sognsvn.	230	1964	12,44	1
250015	Sognsvn.	230	1921	20,09	2
250016	Vestgrensa	230	1921	59,42	3
250021	Christ. H. vei	230	1928	81,02	3
250176	Vestgrensa	230	1921	47,97	1
250195	Sognsvn.	230	1996	63,02	3
250196	Sognsvn.	230	1996	71,06	3
250197	Askeladdvn.	230	1921	40,93	2
250203	Sognsvn.	230	1996	83,07	1
250205	Sognsvn.	200	1996	83,83	1
250666	Sognsvn.	230	1996	74,29	1
250692	Sognsvn.	230	1964	42,9	2
250698	John C. Allé	230	1904	63,43	2
250699	John C. Allé	230	1904	53,64	2
250700	John C. Allé	230		6,99	2
250701	John C. Allé	300	1904	6,36	0
250702	John C. Allé	300	1904	25,11	4
250703	John C. Allé	300	1936	19,61	0
250709	Sognsvn.	300		64,03	4
251114	Eventyrvn.	230	1921	62,36	2
251121	Askeladdvn.	230	1921	64,08	2
251173	Sognsvn.	230	1996	63,94	1
251747	Sognsvn.	300	1964	47,08	2
251752	Sognsvn.	300		1,6	2
251753	Sognsvn.	300	1964	6,35	2
251757	Prestegårdvn.	300	1964	22,81	2
251771	Sognsvn.	300		8,41	4

252024	Hasselhaugvn	230	1919	81,54	3
252029	Christ. H. vei	230	2000	81,44	2
252062	Tyrihansvn.	150	2000	45,96	1
252063	Tyrihansvn.	150	1934	42,32	1
252141	Sognsvn.	230		3,61	2
260465	John C. Allé	230	1964	7,57	2
260478	John C. Allé	230		5,22	1
260505	Vestgrensa	230	1921	47,02	3
260506	Vestgrensa	230	1921	71,21	3
260510	Sognsvn.	300	1921	10,51	0
265158	Prestegårdvn.	450		4,93	2
265530	Prestegårdvn.	450	1936	78,72	2
265531	Prestegårdvn.	450		37,97	2
265546	Prestegårdvn.	300	1999	30,55	1
265548	Prestegårdvn.	450		61,57	2
265554	Prestegårdvn.	230	1997	6	0
265569	Nils Tollers v.	230	1997	54,24	1
265573	Nils Tollers v.	230	1997	30,69	1
265609	Prestegårdvn.	230	1930	52,1	4
265631	Prestegårdvn.	450		41,21	3
265633	Prestegårdvn.	300		42,73	3
265638	Prestegårdvn.	450		82	1
265640	Prestegårdvn.	300		35,22	3
265642	Prestegårdvn.	300		37,75	3
265647	Prestegårdvn.	300		68,33	2
265651	Hasselhaugvn	230	2000	51,55	2
265660	Prestegårdvn.	300		9,62	1
265661	Prestegårdvn.	300		11,22	0
265662	Hasselhaugvn	230	1937	27,51	3
265668	Hasselhaugvn	230	1919	44,79	3
266030	Hasselhaugvn	230	1937	51,5	2
266306	Nils Tollers v.	230	1997	39,29	3
294624	Hasselhaugvn	200	1989	26,9	1
322648	Christ. H. vei	230	2000	65,09	1
322653	Christ. H. vei	250	1999	11,12	1
329196	John C. Allé	230		74,3	2
330117	John C. Allé	230		54,12	3
334236	Vestgrensa	230	1921	66,08	1
336649	Prestegårdvn.	300		33,79	1
341249	Sognsvn.	300	1964	20,87	2
358098	Sognsvn.	230		1,87	1
358735	Prestegårdvn.	200	2004	11,57	1
358737	Prestegårdvn.	200	2004	15,29	1
358773	Sognsvn.	300	1964	26,89	2