

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp

Måling og analyse av fremmedvannmengder og tilføringsgrad i Vestlifeltet i Oslo.

Measurement and Analysis of Inflow and
Infiltration Volumes and Sewage Exfiltration in
the Area of Vestli in Oslo.

Ida Johanne Hannasvik Gammelsæter

Forord

Denne mastergradsoppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknikk, i samarbeid med Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune, høsten 2014.

Hovedveileder har vært professor Oddvar Lindholm ved seksjon for bygg- og miljøteknikk. Biveileder har vært Kari A. Briseid Thingnes, seksjonsleder for avløpstransport (Oslo kommune, VAV).

Fremmedvann er et interessant og svært aktuelt tema i dagens VA-Norge, med klimaendringer som gir mer nedbør og et VA-nett som stadig forfaller. Ønsket om å tilegne meg mer kunnskap innenfor dette viktige temaet var min motivasjon for å skrive denne masteroppgaven.

Takk til Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune som har gjort denne oppgava mulig for meg. Takk til Thomas Martinsen og Alexander Pham for hjelp med installasjon av vannføringsmålere og prøvetagningsutstyr og for å ha gitt meg tilgang til de dataene jeg trengte. Takk til Johan Martin Lund for hjelp med drikkevannslekkasjer og lekkasjesøking. Takk til Erik Glørsen for hjelp med ArcGIS og rørinspeksjonsdata. Takk til Kristin Tyldum Kjølglum for bestilling av analyse av avløpsprøvene. Takk til Bjørn Christoffersen for hjelp med Gemini VA og nyttige innspill rundt fremmedvannproblematikken.

Takk til Jessica Gunnarson ved Bekkelaget renseanlegg for innløpsmengder og – konsentrasjoner.

Takk til Eydis Dalen ved NVE for tilgang til vannføringsdata og nedbørsmålinger fra urbanstasjonen på Vestli.

Takk til mine veiledere, Oddvar Lindholm og Kari A. Briseid Thingnes, for konstruktive tilbakemeldinger og gode svar på oppgaven. Ekstra takk til Kari for å åpne dørene til VAV for meg.

Til slutt en stor takk til Vincent Eekhout og Catarina Lobato for å være «barnepasserne» mine i VAV, for hyggelig selskap i lunsjpausene, for å kjøre meg rundt på kryss og tvers i Oslo og for å ta meg med til Byens beste pølser!

Ås, 10.12.2014

Ida Johanne Hannasvik Gammelsæter

Sammendrag

Fremmedvann inn på avløpssystemene er et av de største problemene VA-Norge står ovenfor i dag (Vråle 2011). Fremmedvann tar opp kapasitet i avløpsrørene og pumpestasjonene, fører med seg forurensing ut via overløp og nødoverløp, øker overflatebelastningen på renseanleggene, gir dårligere renseseffekt og fører til økte drift og investeringskostnader (Lindholm 2011). Selv om 55% av avløpssystemene er fellessystemer, opplever Oslo i tillegg store mengder fremmedvann fra separatsystemene sine. Oslo har 58% fremmedvann inn på avløpsnettet. Dette gir en spesifikk innlekking på 1,54 l/s*km (Oslo kommune 2013a).

Målet med denne oppgaven var å undersøke fremmedvannsandelen i avløpsvannet og finne ut av spillvannstapet og tilføringsgraden til nettet. Vestli-feltet, et boligområde utbygd på 60- og 70-tallet, ble valgt som forsøksområde. Avløpssystemet i Vestli-feltet er separatsystem. For å finne fremmedvannsandelen ble det brukt vannførings-, temperatur- og nedbørsmålinger sammen med døgnblandprøver som ble analysert for tot-P. Målinger og prøver ble tatt fra tre kummer som drenerer hvert sitt område av Vestli-feltet. Det ble også foretatt stikkprøver og –målinger i tre overvannsnett for å finne spillvannstapet til overvannet. I tillegg ble TV-inspeksjon av spillvannsrørene brukt til vurdering av rørenes tilstand.

Resultatene viste store fremmedvannmengder, både fra direkte innlekking under nedbørsepisoder og konstant infiltrasjon fra grunnvann og utlekket drikkevann. For hele feltet var fremmedvannsandelen på 47% og tilføringsgraden på 94%. Utlekket drikkevann ble antatt å sørge for en spesifikk innlekking på 0,3 l/s*km, den nedbørspåvirkete innlekkingen for 1,5 l/s*km og annen infiltrasjon (grunnvann) for 0,2 l/s*km. Til sammen ble den spesifikke innlekkingen på 2 l/s*km, noe som er over den gjennomsnittlige innlekkingen for hele Oslo. Spillvannstapet til overvannsnettet var forsvinnende lite med kun 1-2% utlekket spillvann til overvannet.

Avløpssystem lagt etter andre verdenskrig frem til 80-tallet er i dårlig forfatning og har mye fremmedvann til tross for at de oftest er lagt som separatsystem. Det er den konstante infiltrasjonen fra utlekket drikkevann og grunnvann som gir de store fremmedvannvolumene gjennom året inn til renseanleggene. Nedbørpåvirket innlekking sørger for økte overløp fra fellessystemene og nødoverløp fra pumpestasjoner og gir dermed den største miljømessige belastningen. Tiltak som å tette drikkevannslekkasjer, drenere grøfta for høyt grunnvann, strømpekjøre eller bruke andre no-dig-metoder på lekke avløpsledninger eller å separere fellessystemer er alle gode tiltak for å redusere fremmedvanninntak.

Abstract

Infiltration and inflow (I/I) into public sewer lines is the biggest problem for the water and wastewater treatment in Norway nowadays (Vråle 2011). I/I reduces the capacity of the sewer pipes and pump stations, leads to pollution from sanitary sewer overflow (SSO) and overflow from pump stations, increases the surface load on the wastewater treatment plants, decreases the effect of the wastewater treatment and increases the operating expenses and costs of investments (Lindholm 2011). Even though 55% of the sewer systems are combined systems, the municipality of Oslo gets a lot of its I/I-volume from the separate collection systems. Oslo has a share of 58% I/I-water in its sewage flows. This gives an I/I-rate of 1,54 l/s*km (Oslo kommune 2013a).

The Vestli-area is a residential area built in the 60's and 70's. Both the soil condition and the material used in the pipes are of a poor quality and is not suited. The sewer collection system is constructed as a separate system. The purpose of this thesis was to estimate the volume of I/I and also to quantify the sewer exfiltration. Measurements of volume rate, temperature and precipitation in addition to hourly samples analyzed for tot-P was used to find the I/I-volume. The measurements and samples were taken from three manholes that collected wastewater from three areas in the Vestli-area. Also samples and volume rate measurements from three storm water collection systems was used to find the sewer exfiltration. In addition CCTV-inspection was used to determine the state of condition of the pipes.

The results showed a large volume of I/I, both from the rainfall derived I/I (RDII) and from the constantly infiltration of groundwater and from leaking drinking water pipes. For the entire area the I/I-volume was 47% of the entire sewage flow and the sanitary sewer flow was 94%. Water from leaking drinking water pipes gave an I/I-rate of 0,3 l/s*km, the RDII gave 1,5 l/s*km and groundwater infiltration gave a rate of 0,2 l/s*km. Altogether the I/I-rate was 2 l/s*km, more than the average I/I-rate of Oslo. The sewer exfiltration rate was small, only 1-2% sewer loss was measured in the storm water collection system.

Sewer collection system constructed after the Second World War and up to the 80's is in a bad condition and has a big I/I-rate even though they are constructed as separate systems. It is the constant infiltration of leaking drinking water and groundwater that gives the large annually volumes of additional flow to the wastewater treatment plants. RDII increases the SSO's from the combined sewers and the overflows from the pumping stations and therefore gives the biggest environmental pollution load. Reducing the drinking water leaking, draining the ditch to prevent groundwater infiltration, sewer rehabilitation with no-dig methods and separation of combined sewer collection systems are all good actions to prevent I/I to the sewer systems.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	III
Sammendrag.....	IV
Abstract.....	V
Innholdsfortegnelse.....	VI
Figurliste.....	X
Formelliste.....	XII
Tabelliste.....	XIII
Forkortelser.....	XIV
1 Innledning.....	1
1.1 Historikk.....	2
1.1.1 Avløpsnett i Oslo.....	2
1.1.2 Avløpsrensing i Norge.....	3
1.2 Noen sentrale faguttrykk.....	3
1.2.1 Ulike avløpssystem.....	3
1.2.2 Ulike typer avløpsvann.....	5
1.2.3 Fremmedvann.....	6
1.2.4 Tilføringsgrad.....	7
1.3 Hovedplan for avløp og vannmiljø, Oslo kommune.....	7
1.3.1 Dagens tilstand.....	7
1.3.2 Tilføringsgrad.....	9
1.3.3 Delmål og tiltak 2000-2015.....	9
1.3.4 Delmål og tiltak 2013-2030.....	9
1.4 Tidligere studier.....	9
1.4.1 Norge og Norden.....	9
1.4.2 Europa.....	10
1.4.3 USA.....	11
1.5 Målet for oppgaven.....	11
2 Metode.....	12
2.1 Analyseområdet Vestli og Tokeruddalen.....	12
2.1.1 Grunnforhold.....	12
2.1.2 Anleggsarbeider.....	13
2.1.3 Avløpssystem.....	13
2.1.4 Prosent tette flater.....	15
2.1.5 Tokerudbekken.....	16

2.2	Målinger i spillvannet	16
2.2.1	Vannføring	16
2.2.2	Temperatur	17
2.3	Nedbørsmålinger	17
2.4	Metode for å finne tilføringsgrad	19
2.4.1	Manuelle vannhastighets- og vannføringsmålinger	21
2.5	Prøver og prøvetakning	22
2.5.1	Fortynningsgrad	22
2.5.2	Prøvetakingsutstyret	23
2.5.3	Døgnblandprøver	24
2.5.4	Ukeblandprøver	24
2.5.5	Stikkprøver	24
2.5.6	Analyser av tot-P	24
2.6	Rørinspeksjon	25
2.7	Drikkevannsl lekkasjer	25
2.7.1	Lekkasjesøking	25
2.7.2	Beregning av lekkasje prosent for en trykksone	25
3	Resultater	27
3.1	Forundersøkelser	27
3.1.1	Befolkningssammensetning for spillvannssystemet	27
3.1.2	Befolkningssammensetning for overvannssystemet	27
3.2	Prøvetakning med fosforanalyser	27
3.2.1	Døgnblandprøver	27
3.2.2	Ukeblandprøve	33
3.2.3	Fosforkonsentrasjon og nedbørsintensitet	34
3.2.4	Stikkprøve av overvann	35
3.3	Målinger	35
3.3.1	Vannføring	35
3.3.2	Temperatur og nedbørsmengde	36
3.4	Beregninger	38
3.4.1	Tilføringsgrad, andel fremmedvann og spesifikk fremmedvannmengde	38
3.4.2	Direkte nedbørspåvirket innlekking	42
3.4.3	Vannføring plottet mot fosforkonsentrasjonen	44
3.4.4	Fremmedvann fra drikkevannsl lekkasjer	46
3.5	TV-inspeksjoner	47
3.5.1	Tidligere inspeksjoner	47

3.5.2	Rørinspeksjon foretatt i høst.....	47
4	Diskusjon.....	49
4.1	Sammendrag av resultater	49
4.1.1	Fremmedvann og tilføringsgrad i spillvannsnettet	49
4.1.2	Tilføringsgrad fra prøver i overvannsnettet.....	50
4.2	Mulige feilkilder	50
4.2.1	Døgnblandprøver kontra ukeblandprøver	50
4.2.2	Fosforkonsentrasjoner	51
4.2.3	Årlige variasjoner	51
4.2.4	Spesifikke tall.....	52
4.2.5	Tilføringsgrad.....	52
4.2.6	Vannføringsberegninger.....	53
4.3	Er fremmedvann et problem eller ikke?	53
4.3.1	Nedbørsrelatert fremmedvann	53
4.3.2	Konstante bidrag.....	54
4.3.3	Tilføringsgrad.....	54
4.4	Kilder til fremmedvann	54
4.4.1	Dårlige grunnforhold og hastig anleggsarbeid.....	54
4.4.2	Private stikkledninger.....	55
4.4.3	Konstante bidrag.....	55
4.4.4	Feilkoblinger.....	55
4.5	Eventuelle tiltak.....	55
4.5.1	Rørrehabilitering	55
4.5.2	Lokal overvannsdiskonering (LOD)	56
4.5.3	Senkning av grunnvannstand	56
4.5.4	Separering av avløpssystem	56
4.5.5	Retting av feilkoblinger	56
4.5.6	Tetting av drikkevannsløkkasjer	57
5	Konklusjon.....	58
5.1	Forslag til videre studier	58
5.1.1	Grunnvannsinfiltrasjon	58
5.1.2	Utvasking av fyllmasser	58
6	Kilder.....	59
7	Vedlegg.....	61
	Vedlegg A Resultater fra prøvetakning	61
	Vedlegg B Grafer fra målinger	69

Vedlegg C Rapporter fra TV-inspeksjoner	73
Vedlegg D Kart i A1 over Vestlifeltet.....	74

Figurliste

Figur 1: Aldersfordelingen til avløpsnett (Oslo kommune 2013b).....	3
Figur 2: Systemoversikt Oslo kommune (Oslo kommune 2013b).	5
Figur 3: Avløpsvannets sammensetning (Torres 2013).	6
Figur 4: Oversikt vannproduksjon, lekkasje, fremmedvann, spillvannstap og rensing (Godt Vann Drammensregionen 2009).....	7
Figur 5: Sonevis kartpresentasjon av andel fremmedvann	8
Figur 6: Sonevis kartpresentasjon av spesifikk innlekking.....	8
Figur 7: Løsmassekart Vestli/ Tokerud (NGU 2014). Det grå området viser hvor det er tilkjørt fyllmasser, det blå er havavsetninger og det lyse er tynt humus- eller torvdekke.	12
Figur 8: Delfelt som drenerer til SID 274119	13
Figur 9: Delfelt som drenerer til SID 274193	13
Figur 10: Delfelt som drenerer til SID 274304	14
Figur 11: FlowShark Triton (ADS Environmental Services 2014).	16
Figur 12: PCM 4 (NIVUS GmbH 2014).....	16
Figur 13: Prinsippskisse av måler og sensorer (Målegruppa avløp 2014).	17
Figur 14: Casella nedbørsmåler og vippekarfunksjon (Målegruppe avløp 2014).	18
Figur 15: Nedbørsmålere plassert på Vestli T og Vestli urbanstasjon.....	19
Figur 16: Kummer for overvannsprøver og -målinger.....	20
Figur 17: Nivus mengdemåler PVM PD.....	21
Figur 18: Firepunktsmetoden for måling av vannhastighet (Øyen 2002).....	21
Figur 19: Isco prøvetaker med karusell med 24 a 500ml flasker (Teledyne Isco 2014).....	23
Figur 20: Bilde fra installasjon av prøvetaker og måler i kum 274119.	24
Figur 21: Prøvetaker og måleutstyr ferdig installert i kum 274119	24
Figur 22: Kamerarobot benyttet til TV-inspeksjon av rørledninger (Robosnap 2014).....	25
Figur 23: Kamerarobot benyttet til TV-inspeksjon av rørledninger (Align Survey cc. 2014).....	25
Figur 24: Diagram fosforkonsentrasjon 22.09.2014	28
Figur 25: Diagram fosforkonsentrasjon 29.09.2014	29
Figur 26: Diagram fosforkonsentrasjon 06.10.2014	29
Figur 27: Diagram fosforkonsentrasjon 15.10.2014	30
Figur 28: Diagram fosforkonsentrasjon 20.10.2014	31
Figur 29: Diagram fosforkonsentrasjon 27.10.2014	31
Figur 30: Diagram fosforkonsentrasjon 29.10.2014	32
Figur 31: Diagram fosforkonsentrasjon 03.11.2014	33
Figur 32: Diagram fosforkonsentrasjon ukeblandprøve 07.10.2014-14.10.2014	34
Figur 33: Fosforkonsentrasjon avhengig av nedbørsintensitet	34
Figur 34: Vannføringene i målekummene for september og oktober.....	36
Figur 35: Vannføring, temperatur og nedbørsintensitet for SID 274119.....	37
Figur 36: Vannføring, temperatur og nedbørsintensitet for SID 274193.....	37
Figur 37: Vannføring, temperatur og nedbørsintensitet for SID 274304.....	38
Figur 38: Graf direkte innlekking for nedbørshendelse 22.10.2014-25.09.2014.....	42
Figur 39: Direkte innlekking fra nedbørshendelse 22.10.2014-25.10.2014	43
Figur 40: Direkte innlekking fra nedbørshendelse 22.10.2014-24.10.2014	44
Figur 41: Fosforkonsentrasjon og vannføring for kum 274119 fra døgnblandprøver	45
Figur 42: Fosforkonsentrasjon og vannføring for kum 274193 fra døgnblandprøver	45
Figur 43: Fosforkonsentrasjon og vannføring for 274304 fra døgnblandprøver	46
Figur 44: TV-inspeksjon i Tokeruddalen, 2011	47
Figur 45: Resultater fra TV-kjøring, Vestlisvingen, 13.11.2014	48

Figur 46: Vannføringskurver for de tre målekummene	69
Figur 47: Vannførings- og temperaturmålinger for spillvannet i kum 274119 plottet sammen med nedbørsmengde	70
Figur 48: Vannførings- og temperaturmålinger for spillvannet i kum 274193 plottet sammen med nedbørsmengde	71
Figur 49: Vannførings- og temperaturmålinger for spillvannet i kum 274302(274304) plottet sammen med nedbørsmengde	72

Formelliste

Formel 1: Kontinuitetsligningen	17
Formel 2: Beregnet tilførringsgrad for spillvannsledningen	20
Formel 3: Målt tilførringsgrad for overvannsledningen	21
Formel 4: Firepunktsmetoden for beregning av vannhastighet (Øyen 2002)	21
Formel 5: Formel for beregning for fremmedvannsandel	23
Formel 6: Andel utlekket drikkevann til avløp	26

Tabelliste

Tabell 1: Egenskaper for avløpssystemet, Vestli/Tokerud	15
Tabell 2: Verdier for valgte parametere essensielle for denne undersøkelsen.....	22
Tabell 3: Vannforbruk og lekkasjeprosent for drikkevann i Oslo (Lund 2014).	26
Tabell 4: Antall bosatte, tilreisende og personekvivalenter for tre delfelt.....	27
Tabell 5: Befolkningssammensetning og personekvivalenter for delfeltene OV	27
Tabell 6: Fosforkonsentrasjon fra stikkprøver og tilføringsgrad for overvann.....	35
Tabell 7: P-tot, Q, PE og fremmedvannsandel fra døgnblandprøve 22.09.2014	39
Tabell 8: P-tot, Q, PE og fremmedvann fra døgnblandprøve 29.09.2014	39
Tabell 9: P-tot, Q, PE og fremmedvannsandel fra døgnblandprøve 06.10.2014	39
Tabell 10: Tot-P, Q, PE og fremmedvannsandel fra ukeblandprøve 14.10.2014	40
Tabell 11: Tot-P, Q, PE, fremmedvannsandel, spesifikk innlekking og tilføringsgrad fra døgnblandprøve 15.10.2014.....	40
Tabell 12: Tot-P, Q, PE og fremmedvann fra døgnblandprøve 20.10.2014	40
Tabell 13: Tot-P, Q, PE og fremmedvann fra døgnblandprøve 27.10.2014	41
Tabell 14: Tot-P, Q, PE og andel fremmedvann fra døgnblandprøve 29.10.2014	41
Tabell 15: Tot- P, Q, PE og andel fremmedvann fra døgnblandprøve 03.11.2014	42
Tabell 16: Maksimal spesifikk innlekking på de tre delfeltene	44
Tabell 17: Spesifikt vannforbruk, lekkasjevann og hvor mye som lekker inn i spillvannsnettet som fremmedvann.	46
Tabell 18: Sammen drag av mengde fremmedvann og kilder og tilføringsgrad.	49
Tabell 19: Beregnet tilføringsgrad fra prøvetakning i overvannsnettet	50
Tabell 20: Timesdata Tot-P, Q og mengde P, 22.09.2014.....	61
Tabell 21: Timesdata Tot-P, Q og mengde P, 29.09.2014.....	62
Tabell 22: Timesdata tot-P, Q og mengde P, 06.10.2014	63
Tabell 23: Døgn data for tot-P, Q og mengde P, 07.10.2014-14.10.2014	63
Tabell 24: Døgn data tot-P, Q og mengde P, 15.10.2014	64
Tabell 25: Timedata P-tot, Q, P-mengde, 20.10.2014	65
Tabell 26: Timedata for tot-P, Q og P-mengde, 27.10.2014.....	66
Tabell 27: Timedata for tot-P, Q og P-mengde, 29.10.2014.....	67
Tabell 28: Timesdata for tot-P, Q og mengde-P, 03.11.2014	68

Forkortelser

VAV	Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune
Tot-P	Total fosforkonsentrasjon
I/I	Inflow and infiltration
SSO	Sanitary sewer overflow
RDII	Rainfall derived inflow and infiltration
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
p	Fysiske personer
pe	Personenheter
PE	Personekvivalenter
OV	Overvann
LOD	Lokal overvannsdiskonering
COD	Chemical-biological oxygen demand
TSS	Total suspended solids
ha	Hektar
SID	System Identification number
C	Konsentrasjon
V	Hastighet
Q	Vannføring
BEVAS	Bekklaget Vann AS
BEAS	Bekklaget renseanlegg
SR	Sprukket rør
FS	Skjøtforskyvning
RØ	Røtter

1 Innledning

I Norge er kvaliteten på vann- og avløpsrør en utfordring og mange kommuner sliter med å fornye gamle og lekkende rør. Etterslepet på fornyelse blir større og større. Ønsket levetid på rørene som blir lagt nå til dags skal være hundre år. Selv om mange av rørsystemene i Norge er under hundre år er de i mange tilfeller laget av dårlig egnede materialer, uten pakninger i skjøtene og med dårlig grunnarbeid, noe som fører til lekkende og dårlige rør. Dette gjelder særlig for rørene som er lagt etter andre verdenskrig. Rør fra før andre verdenskrig er gjerne av en bedre kvalitet som gjør at de holder lengre enn de yngre rørene. I Oslo er det eksempler på gamle kulverter som ble murt opp på 1800-tallet, som fortsatt fungerer og rør som ble lagt på 70-tallet, som er dårlige allerede etter 40 år. Systemer som ble lagt fra 80-tallet og oppover er forventet å være av en bedre kvalitet med lengre levetid (Oslo kommune 2013b).

Fremmedvann kan defineres som alt vann i avløpssystemet som ikke er sanitært spillvann. Kildene til fremmedvann er så mangt; drikkevann, grunnvann, regnvann, drens vann og annet overvann. Felles er at dette er vann som er relativt rent og som derfor ikke trenger rensing i like stor grad som spillvannet.

Fremmedvannet tar opp kapasitet i spillvannssystemet, som i rør, kummer og pumpestasjoner, og fører til hyppigere innslag av overløp fra avløpsnett til resipient. Til syvende og sist, når fremmedvannet kommer til rensanlegget fører fremmedvannmengden til at den hydrauliske overflatebelastningen øker og vannet får ikke den nødvendige oppholdstiden som behøves for å oppnå ønsket renseseffekt av avløpsvannet. På denne måten drar fremmedvannet med seg forurensinger også ut av rensanleggene (Lindholm & Bjerkholt 2011).

I et anlegg hvor fremmedvann finner veien inn på spillvannsnett er det sannsynlig at spillvann lekker ut. Andel som ikke lekker ut kalles tilføringsgrad og sier hvor stor andel av tilførte personequivaler som ikke lekker ut av systemet.

I forurensingsloven heter det seg at for avløpsnett skal det dimensjoneres, bygges, drives og vedlikeholdes ut ifra avløpsvannets mengde og egenskaper slik at lekkasjer og forurensinger fra overløp unngås (Miljødepartementet 2005).

«§ 14-5. Avløpsnett

Avløpsnett skal, uten at det medfører uforholdsmessig store kostnader, dimensjoneres, bygges, drives og vedlikeholdes med utgangspunkt i den beste tilgjengelige teknologi og fagkunnskap, særlig med hensyn til

- a) avløpsvannets mengde og egenskaper,*
- b) forebygging av lekkasjer og*
- c) begrensnig av forurensning av resipienten som følge av overløp.*

Den ansvarlige skal legge til grunn anerkjente metoder som beslutningsgrunnlag for rehabilitering av avløpsnett.

Den ansvarlige skal ha en oversikt over alle overløp på avløpsnett. Oversikten skal også inkludere eventuelle lekkasjer av betydning.

Den ansvarlige skal fra 31. desember 2008 registrere eller beregne driftstid for utslipp fra overløp.»

Norsk vann anbefaler at ved nybygg skal avløpsrør dimensjoneres for ikke mindre enn 0,2 l/s*km, eller 100 l/p*d, infiltrasjonsvann dersom det ikke finnes målinger som viser at infiltrasjonen er mindre. De sier også at gjennomsnittlig infiltrasjonsvannmengde i Norge ligger på 0,3-0,4 l/s*km (Lindholm, O. et al. 2012).

I sin artikkel i VANN skriver Lasse Vråle at fremmedvann på avløpssystemene muligens er det største problemet VA-Norge står ovenfor i dag. Før var det et problem med lav tilkobling til det kommunale avløpsnett, mens nå er situasjonen en helt annen med økende nedbør og dermed økende innlekkasje av fremmedvann (Vråle 2011).

Det skal nevnes at fremmedvann har noen positive sider også. Inntrengning av sjøvann i avløpsledningen har vist å gi positiv innvirkning ved kjemisk felling på renseanleggene dersom det benyttes kalk- eller jernklorid som fellingsmiddel. Dette på grunn av sjøvannets høye innhold av magnesium som virker som en hjelpekoagulant på fellingen av spesielt fosfor. Dessverre har sjøvannet også en tendens til å gi et svært stort slamvolum som kan føre til slamflukt, i tillegg til at det opptar kapasitet i sedimenteringsbassengene ved at det legger seg på bunnen som følge av en større tyngdetetthet enn vanlig avløpsvann (Vråle 1988).

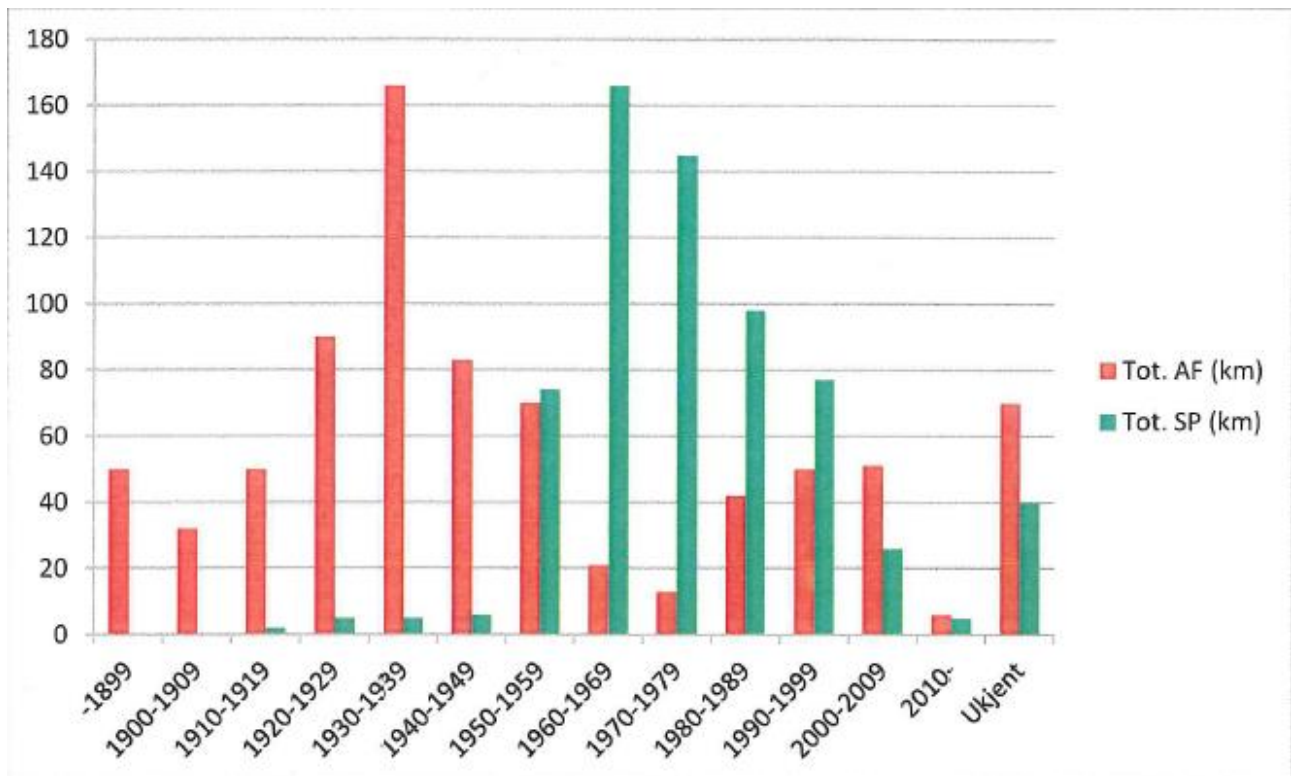
1.1 Historikk

1.1.1 Avløpsnett i Oslo

På 1800-tallet ble avløpssystemene i Oslo bygget etter fellesavløpsprinsippet men fra 1920-tallet ble det lagt separatsystem i sentrale deler av byen for hindre store avløpsmengder til de eksisterende renseanleggene. Dette ble sett på som den beste løsningen i etterkrigstiden og de nye boligstrøkene i drabantbyene rundt Oslo som vokste frem på 50-tallet, ble lagt med separat avløpssystem. Det ble i tillegg arbeidet med omlegging av gammelt fellessystem til separatsystem (Johansen 2001).

I løpet av 70-tallet gikk man igjen bort i fra at separatsystem skulle legges og åpnet for individuell vurdering av hvert enkelt tilfelle hvor det egnet seg å legge felles- eller separatsystem. Dette var et resultat av at mye av overvannet var sterkt forurenset og trengte rensing på lik linje med spillvannet, i tillegg til at man opplevde at noe av spillvannet lekket ut av spillvannsledningen og ned i overvannsledningen, som ligger nederst i grøfta. En rapport fra arbeidet med saneringsplanen i 1989, viste at lekkasjer fra separate spillvannsledninger til overvannsledninger lagt i 50- og 60-årene ga et nesten like stort forurensningsbidrag som overløpene fra de store tunellene i fellessystemene. I november i 1989 ble saneringsplanen for Oslo vedtatt for å minske forurensingen av fjord og vassdrag (Johansen 2001).

På 90-tallet ble det også igangsatt arbeider for å spore opp og tette drikkevannslekkasjer. Det hadde visst seg at en stor del av dette lekkasjevannet havnet i avløpsnett og skapte store avløpsmengder inn på renseanleggene (Johansen 2001). I figur 1 under vises fordelingen av alder på fellesavløp- og spillvannsystemene i Oslo kommune.



Figur 1: Aldersfordelingen til avløpsnett (Oslo kommune 2013b).

1.1.2 Avløpsrensing i Norge

I 1970 ble vannforurensingsloven vedtatt, ti år etter at utarbeidelsen startet. Dette satte fart i utbyggingen av renseanlegg i Norge og fikk stor betydning for utviklingen på avløpsområdet. Det ble blant annet satt i gang arbeid med å kartlegge og kvalifisere tilstanden til det eksisterende avløpsnett. Det ble oppdaget at ødelagte kloakkledninger førte til at kloakk forsvant før det nådde renseanleggene og at overvann lekket inn og førte til driftsforstyrrelser i renseprosessene (Johansen & Kollhøj 2004).

1.2 Noen sentrale faguttrykk

Her følger en oversikt over sentrale faguttrykk brukt i denne oppgava, med forklaring.

1.2.1 Ulike avløpssystem

Avløpssystem bygges i dag ut ifra to forskjellige prinsipper. I et fellessystem føres spillvann (fra husholdninger, institusjoner og industri) sammen med overvann (regnvann som renner av på overflaten, drens vann, takvann o.l.) i en og samme ledning til renseanlegget. Når spillvann og overvann går sammen kalles det for avløpsvann. I et separatsystem går spillvannet og overvannet til separate rørsystem. Spillvannssystemet blir ledet til renseanlegg mens overvannet ut i nærmeste resipient, oftest uten noen form for rensing.

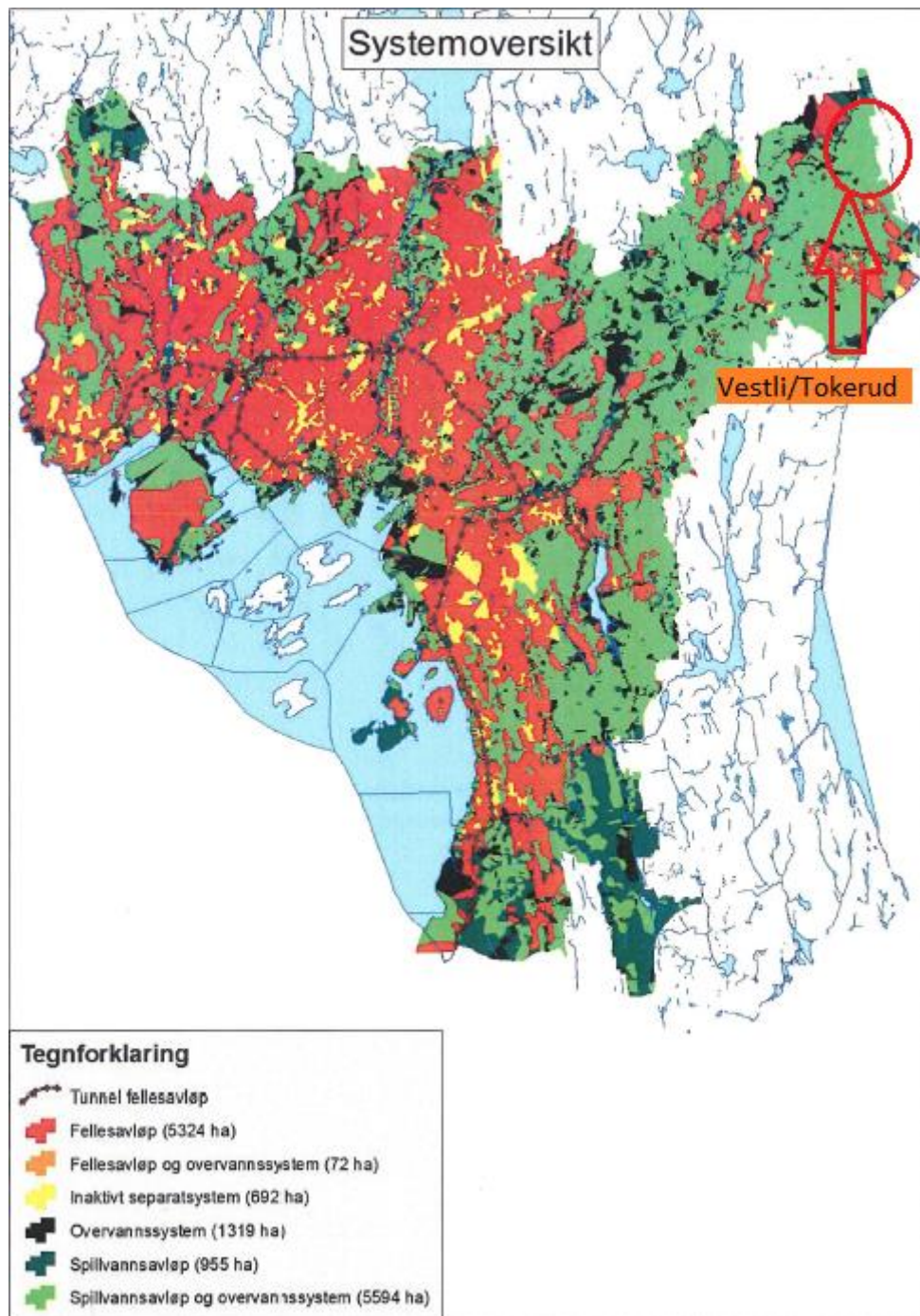
Fellesavløpssystem er det originale systemet som ble bygget da VA-teknikken var i den spede begynnelse og har vært gjeldende helt opp til nå. Prinsippet er at alt avløpsvann går på samme avløpsledning. Dette omfatter sanitært spillvann fra husholdninger, bedrifter og institusjoner, industriavløpsvann og overvann fra gatesluk, taknedløp, drensledninger og bekkelukninger.

Et separatsystem er bygget opp på prinsippet om å separere sanitært spillvann og overvann. Spillvannet går ned på spillvannssystemet fra private stikkledninger og blir ledet videre til et

renseanlegg for avløpsvann. Overvannet går ned på overvannsnettet gjennom gatesluk, taknedløp eller drensledninger og blir som oftest ledet til nærmeste resipient (bekk, elv, vann eller fjord). Overvann trenger som oftest ikke å renses da det er forholdsvis rent sammenlignet med spillvann. Unntaket er overvann fra tett trafikkerte overflater og lignende.

Fordelen, i teorien, med et separatsystem er at det kommer mest mulig konsentrert spillvann inn på renseanlegget, noe som gjør det mer økonomisk å rense det; det trengs mindre kjemikalier og volum. For et fellessystem vil det komme store mengder fortynnet avløpsvann inn på renseanleggene under regnvær, noe som legger beslag på kapasiteten og det trengs mer kjemikalier for å rense vannet. I tillegg legger dette tilleggsvannet (fremmedvann) også beslag på kapasiteten i rørene, noe som fører til overløpsutslipp, og økte kostnader til pumping av vannet.

Separatsystemene ble gjeldende allerede fra 1920-tallet men likevel er mye av eksisterende avløpssystem fellesavløp. Dette på grunn av at man utvider systemene utover og dermed kobles nye separatsystem til eksisterende fellessystem. Slik har det seg at mange separatsystemer er inaktive. En oversikt over felles- og separatsystem kan ses i figur 2 under. Aktuelt område undersøkt i denne oppgaven er ringet rundt.



Figur 2: Systemoversikt Oslo kommune (Oslo kommune 2013b).

1.2.2 Ulike typer avløpsvann

Avløpsvann er i denne oppgaven brukt til å omfatte alt vann fra forbrukere som er husholdninger, bedrifter, industri og institusjoner. I et fellesavløpssystem vil også regnvann og overflatevann være en del av avløpsvannet.

Spillvann er her utelukkende kun sanitært spillvann fra husholdninger, bedrifter og institusjoner eksklusive spillvann fra industri. Spillvann vil kunne omfatte industriavløpsvann andre plasser men siden det i denne oppgaven er valgt å se på et rent boligområde, utelukkes industriavløpsvann fra spillvannet.

Overvann er vann fra overflaten, oftest forårsaket av regnvann, smeltevann fra snø og is eller vann fra bekker eller elver, som renner av og ned i gatesluk, renner, kanaler og overvannssystemer eller

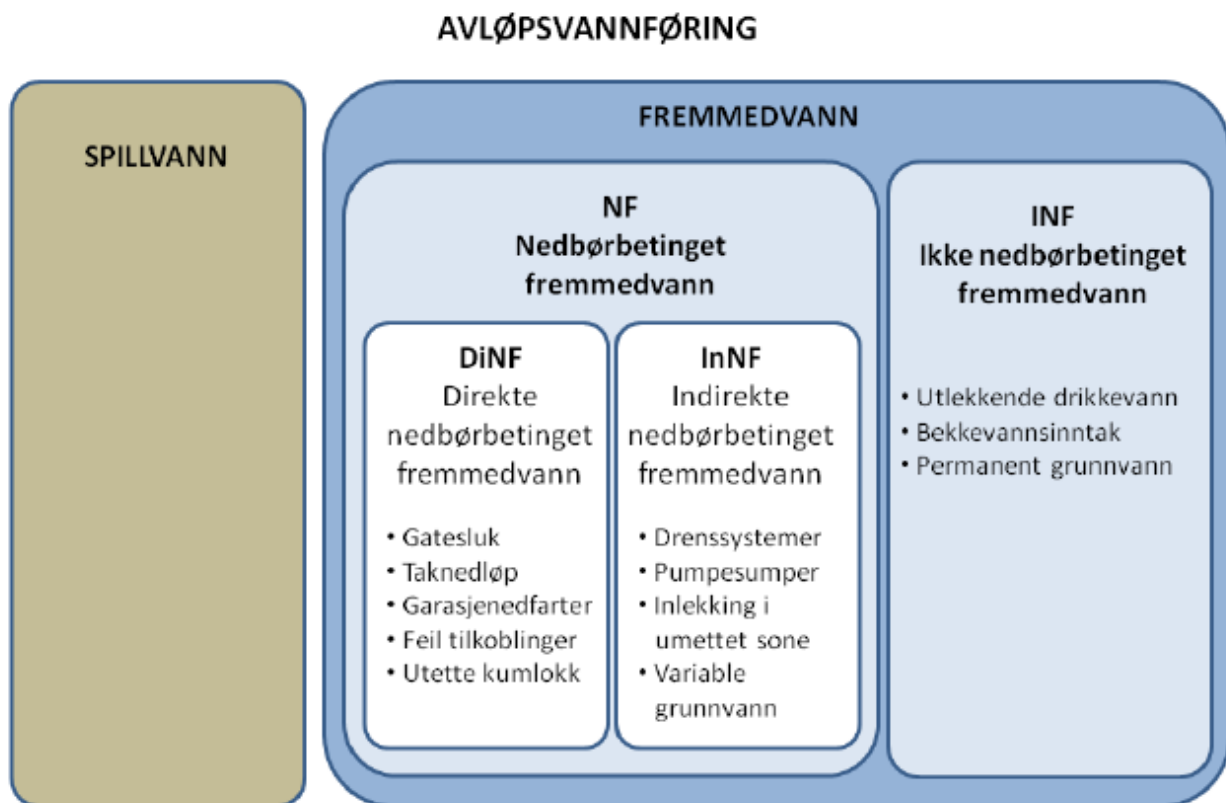
som perkolerer ned i grunnen der det ikke er faste dekker.

1.2.3 Fremmedvann

Fremmedvann kan defineres som alt annet enn sanitært spillvann, spillvann fra bedrifter og institusjoner eller industrispillvann som befinner seg i spillvannsnett. Dette være seg infiltrasjonsvann fra grunnvann, utlekket drikkevann eller sjøvann eller innlekket vann fra feilkoblinger, gatesluk, drensledninger og takvann. I et fellesavløpssystem hvor spillvann og overvann går i samme ledning (avløpsvann) vil overvann fra gatesluk, drensledninger og taknedløp være lagt til avløpsledningen med intensjon. Likevel vil dette være fremmedvann i denne sammenheng.

Fremmedvann kan deles i to deler; infiltrasjonsvann og innlekkingsvann. Infiltrasjonsvann er det vann som lekker inn i ledningen gjennom utette rørskjøter og kumringer, brister og sprekker i ledning eller kum. Dette vannet kan enten være grunnvann, utlekket drikkevann, regnvann som perkolerer ned i grøfta eller sjøvann i de områder som ligger nede ved havnivå. Innlekkingsvann er det vann som strømmer inn i ledningen gjennom feilkoblinger, gatesluk, drensledninger, taknedløp og fra utette kumløkk ned i avløpsrenna.

Innlekkingen og infiltrasjonen kan også deles inn etter om de er nedbørbetingete eller ikke, som vist under i figur 3.



Figur 3: Avløpsvannets sammensetning (Torres 2013).

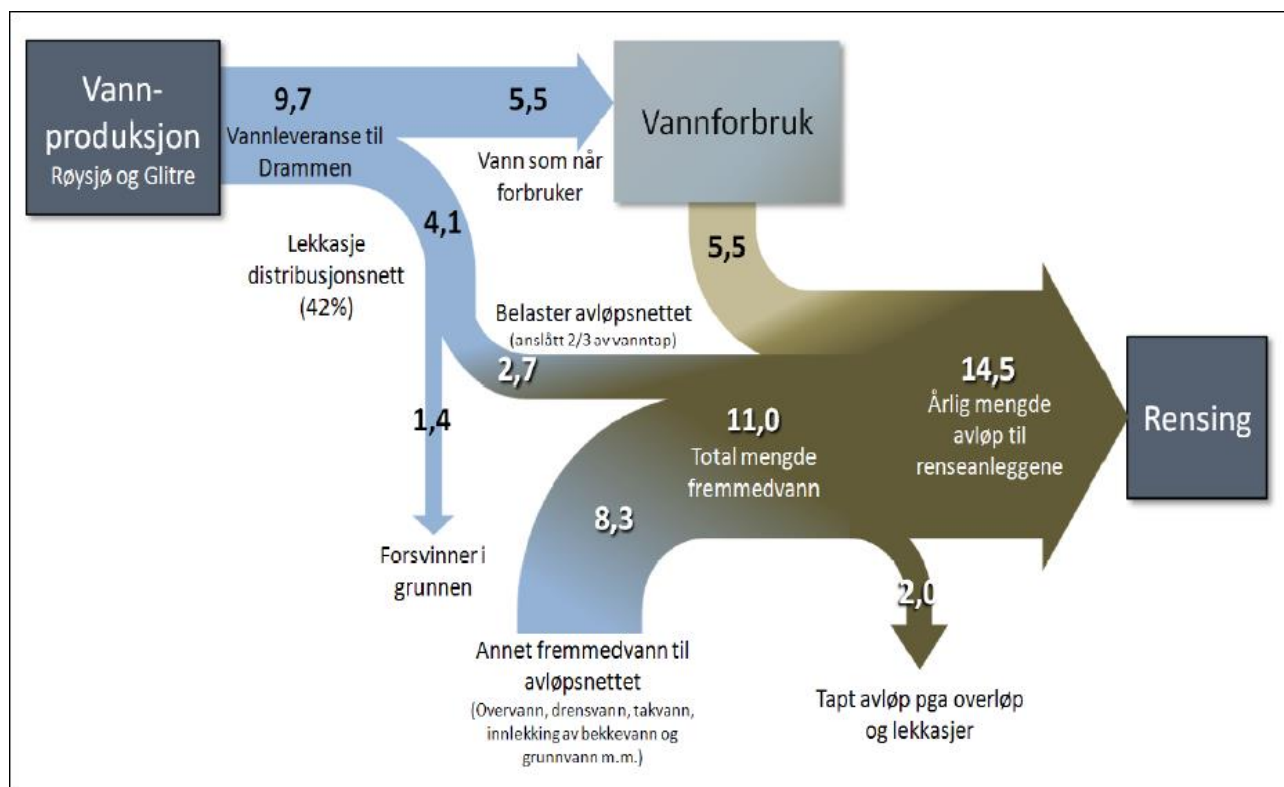
Fremmedvann tar beslag i kapasitet både i avløpsnett og på avløpsrenseanleggene og minker effekten av avløpsrensingen ved å føre til høyere overflatebelastning enn renseanleggene er dimensjonert for. I tillegg må det doseres mer kjemikalier. På avløpsnett vil fremmedvann ta opp kapasitet i transportsystemet og føre til økte overløp, større kostnader til pumping og mer

nødoverløp fra pumpestasjoner.

1.2.4 Tilføringsgrad

Tilføringsgrad sier noe om hvor mye av spillvannet som lekker ut av spillvannsledningen. På mange måter kan dette sies å være det motsatte av fremmedvann. I Norge ligger overvannsledningen nederst i grøfta i et separatsystem og utlekket spillvann havner her eller perkolerer videre ned i grunnen. Det er vanlig å ha en tilføringsgrad på 90 % og vil si at 90 % av avløpsvannet kommer frem til rensenanlegget. Resterende 10 % går tapt på veien, enten ved at det lekker ut til overvannsledningen og slippes direkte ut i en resipient eller ved at det forsvinner ut av overløp på fellessystem og nødoverløp i pumpestasjoner (Lindholm 2014).

I figur 4 laget av Godt Vann Drammensregionen, vises andeler av fremmedvann fra drikkevannsløst, regnvann, grunnvann og spillvannstapet.



Figur 4: Oversikt vannproduksjon, lekkasje, fremmedvann, spillvannstap og rensing (Godt Vann Drammensregionen 2009)

1.3 Hovedplan for avløp og vannmiljø, Oslo kommune

Til grunn for denne oppgaven ligger Oslo kommunes hovedplan for avløp og vannmiljø. I sitt arbeid for å sikre riktig behandling og rensing av avløpsvann og overvann, arbeider Oslo kommune etter en hovedplan som blir revidert hvert fjerde år. Hver hovedplan spenner over en femtenårsperiode og inneholder tiltak og delmål for å forbedre avløpshåndteringen og vannmiljøet for kommunen sine innbyggere.

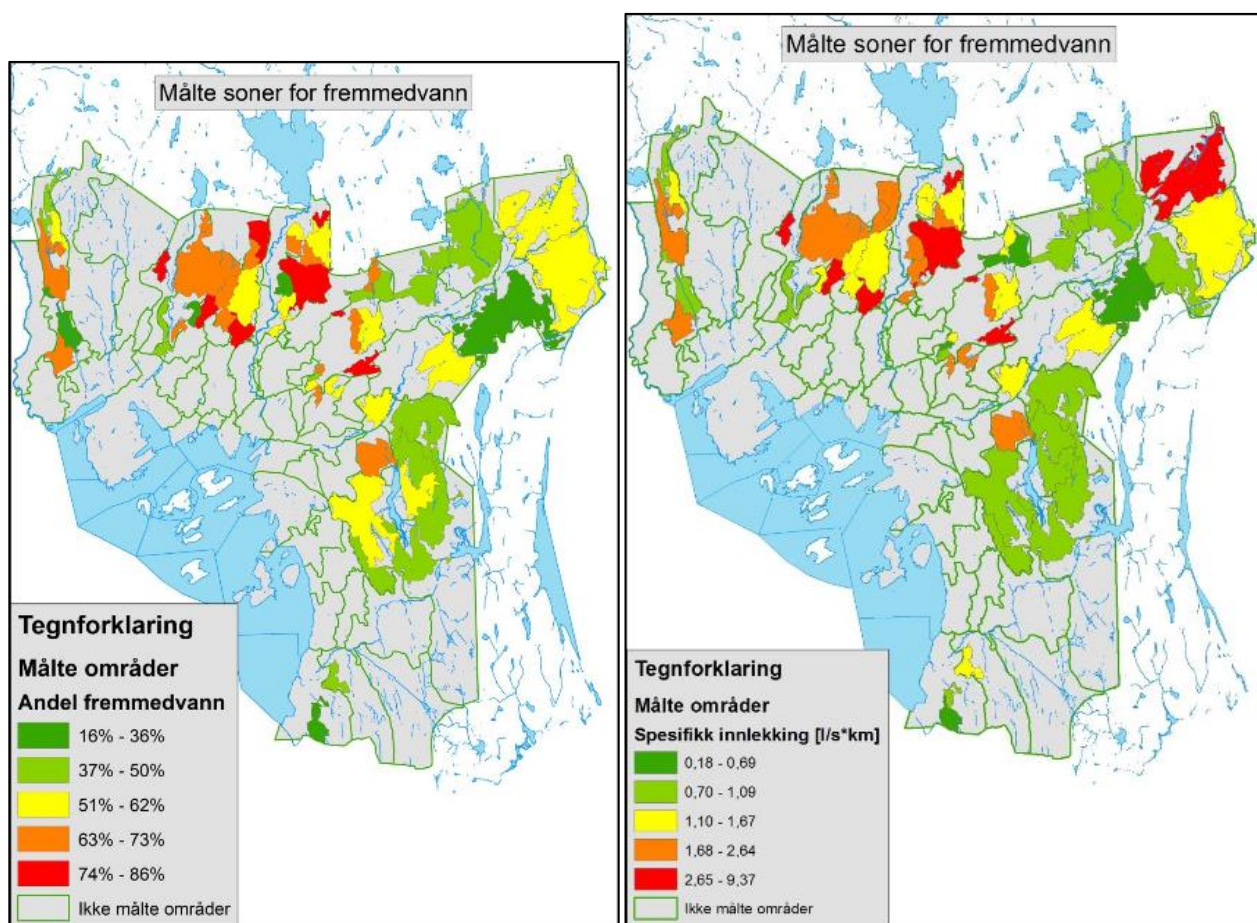
1.3.1 Dagens tilstand

Gjennomsnittlig fremmedvannsandel for Oslo kommune er estimert til å ligge på 58% av totalt avløpsmengde. Dette gir en spesifikk innlekking av fremmedvann på 1,54 l/s per kilometer ledning (Oslo kommune 2013b). Norsk Vann rapporterer om en gjennomsnittlig infiltrasjonsvannmengde i

Norge på 0,3-0,4 l/s*km (Lindholm, O. et al. 2012). Disse tallene plasserer Oslo sitt avløpsnett langt over landsgjennomsnittet.

For å komme frem til disse tallene har VAV brukt en hydrologisk modell kalt RDII-modellen (Rainfall Derived Infiltration and Inflow). 55 vannføringsmålinger sammen med klimatiske målinger og egenskaper for avløpsfeltene (antall pe, areal o.l.), har blitt brukt til å kalibrere modellen som har kunnet reprodusere mange av vannføringskurvene. Slik kan modellen skille mellom ulike bidrag til avløpsvannet, som avrenning fra impermeable flater, overflateavrenning, innlekking av grunn- og drens vann, annet konstant bidrag og spillvannsbidraget (Oslo kommune 2013a).

Resultatene viste at det er store variasjoner for avløpsnettet i Oslo, hvor den spesifikke innlekkingen varierer fra 0,18 til 9,36 l/s*km, eller 16-86% fremmedvannsandel, som vist i figur 5 og 6. Selv med 55% fellessystem er det også store fremmedvannbidrag fra separatsystemer. Noen separatsystemer presterer likevel bedre enn andre og studier av disse systemene er viktig å ta i betraktning når tiltak mot fremmedvann eventuelt skal gjøres (Oslo kommune 2013a).



Figur 5: Sonevis kartpresentasjon av andel fremmedvann

Figur 6: Sonevis kartpresentasjon av spesifikk innlekking

Som kan ses ut fra figurene 3 og 4, så kan det være stor forskjell på andel fremmedvann og spesifikk fremmedvannmengde og grad av disse. For området undersøkt i denne rapporten (lengst nordøst innenfor merket område) viser andelen fremmedvann seg å være moderat mens den spesifikke innlekkingen er svært høy. Spesifikk innlekking viser innlekkingen pr. lengde rør i vannføring mens andel fremmedvann viser hvor mye av avløpsvannet som er fremmedvann.

1.3.2 Tilføringsgrad

Arbeidet med å spore opp og finne feilkoblinger og lekkasjer fra avløpsnettets til overvannsnettets har vært høyt prioritert i forrige planperiode og dette arbeidet skal fortsette i neste periode (Oslo kommune 2013b).

1.3.3 Delmål og tiltak 2000-2015

I Oslo kommunes Hovedplan for avløp og vannmiljø for perioden 2013-2030 står det at fremmedvann har vært lite i fokus for hovedplanperioden fra 2000 til 2015, med ingen nedgang i fremmedvannsandelen frem til 2013. Dette til tross for at hovedmålene for å redusere utslipp til vassdrag var reparasjon av lekkede ledninger og retting av feilkoblinger samt en stor generell ledningsfornyelse (Oslo kommune 2013b).

1.3.4 Delmål og tiltak 2013-2030

For perioden 2013 til 2030 er delmålet at maksimalt 50 % fremmedvann skal inn på renseanleggene innen 2030. To av tiltakene for reduksjon av fremmedvanninntak er å tette drikkevannslekkasjer, for å stoppe det faste bidraget av fremmedvann, og å hindre direkte avrenning av overvann til avløpssystemene gjennom lokal overvannsdisponering (Oslo kommune 2013b).

Lengden og alderen på private stikkledninger tilsvarer både lengden og alderen på det kommunale ledningsnettets. Dette vil si at fremmedvannbidraget og behovet for rehabilitering er det samme for kommunale som for private ledninger. Et av delmålene er dermed at feilkoblinger og lekkasjer fra stikkledninger skal rettes opp. Tiltakene er å pålegge de private om å rette opp slike feil og mangler, i tillegg til å ha fokus på private stikkledninger under undersøkelser og tiltak på det kommunale nettet (Oslo kommune 2013b).

1.4 Tidligere studier

Selv om det ikke har vært gjort så mange undersøkelser på fremmedvann i Norge, har blant annet Sverige og USA gjort en del undersøkelser på problematikken.

1.4.1 Norge og Norden

Norge er som vanlig dårligst i klassen i Norden, også når det kommer til fremmedvann. Andelen fremmedvann inn på norske avløpssystemer er relativt høyt til å være i et vestlig land. Generelt har mer enn 50 % av avløpsrenseanleggene i Norge en innstrømmende fremmedvannmengde på over 50 %. Det er de største renseanleggene som har den største andelen med over 60 % fremmedvann (Lindholm & Bjerkholt 2011).

I Norge er det ikke gjort så mange studier på fremmedvann tidligere men dette er et problem som det stadig blir satt mer og mer søkelys på. Det er i midlertidig få undersøkelser å vise til for innlekkasje av fremmedvann på rørnettets men undersøkelser av forurensingstapet, eller tilføringsgraden som det er kalt i denne oppgaven, viser at gamle rørnett har nesten ti ganger så store utlekkasjer enn nyere nett (Lindholm & Bjerkholt 2011).

En undersøkelse av fremmedvanninntaket i Norden ved bruk av fortynningsgraden av totalt fosfor viser at det er 23 % fremmedvann ved de femten største renseanleggene i Danmark, 29% ved de ni største anleggene i Finland og 58% fremmedvann for de femten største anleggene i Sverige. Til sammenligning har Norge i den samme undersøkelsen en fremmedvannsandel på 67 % ved de femten største renseanlegg (Lindholm, O. G. et al. 2012).

I følge analyser foretatt av Balmér i 2011, gir beregningsmetoden med total fosforkonsentrasjon feil resultater for Sverige. I følge hans undersøkelser er fremmedvannmengden i Sverige nærmere 40 % (Lindholm, O. G. et al. 2012).

Svenskene har gjort en del arbeid på feltet med fremmedvann, som de kaller tilskotsvatten. I 1981 ble en gruppe (underlagt Urban Hydrological Research Group ved Chalmers Tekniska Høgskola), som skulle arbeide med drift og vedlikehold av avløpsanlegg, stiftet. Siden miljøaspektet ved slike systemer ble diskutert i Sverige på den tida, ble det bestemt at gruppen skulle ha hovedfokus på infiltrasjon og innlekkasjer på avløpsnettene. Prosjektet ble delt i tre deler; historiske aspekter, nøyaktighet av vannføringsmålinger og infiltrasjon til spillvannssystemer fra lekk overvannsledninger (Bäckman 1985).

I 1985 disputerte Bäckman med sin doktorgradsavhandling hvor han studerte målemetoder for vannføring i spillvanns- og overvannssystemer. Han diskuterte sensitiviteten og nøyaktigheten til målinger av et spillvannssystem konstruert i et laboratorium. Han undersøkte også fremmedvanninntrengning i felt og fant at infiltrasjonen fra overvannsledningen til spillvannsledningen til å være mellom 20-90% av simulert overvannsavrenning til OV-rørene (Bäckman 1985).

Grunnen til den høye overvannsavrenningen til spillvannsystemene i Sverige kan forklares med at spillvannsledningen ligger nederst i grøfta i Sverige. Dette fordi at drensvannet fra bygninger o.l. kobles direkte til spillvannsledningen, mens det i Norge er valgt å gjøre dette omvendt. Her ligger overvannsledningen nederst og alt av drensvann, takvann og overvann er koblet til denne.

En senere studie foretatt i Sverige av svensk VA-FORSK har prøvd å undersøke de økonomiske og miljømessige aspektene ved ulike tiltak for reduksjon av fremmedvannmengdene inn på avløpssystemene. Å reparere store punktlekkasjer er økonomisk lønnsomt når den årlige kostnaden av reparasjonen er mindre enn den årlige kostnaden for å rense det ekstra innlekkede vannet. Den årlige kostnaden for å rense fremmedvannet inkluderer pumping, rørfornyelse for bedre kapasitet, mer kjemikalier og større bassenger i renseanleggene. Det er i tillegg viktig å se på de miljømessige aspektene ved å redusere fremmedvanninntrengningen og ikke bare de økonomiske kostnadene. (Bäckman et al. 1997).

1.4.2 Europa

Tsjekkia

I den Tsjekiske Republik har noen forskere ved Czech Technical University in Prague og en fra Prague Water Supply and Sewerage System Company gjort undersøkelser av et avløpssystem i utkanten av Praha hvor de så på en forensingsekvivalent sammen med kontinuerlige målinger av spillvannskvalitet og -kvantitet. De så på COD- og TSS-konsentrasjonen i spillvannet sammenlignet med parasittinnholdet og hvordan dette forandret seg gjennom døgnet. Forsøksperioden strakte seg over tre måneder. De antok null innhold av COD og TSS i grunnvann og et visst innhold av parasitter i overvann. Sammen med vannføringsmålinger fant de at fremmedvannsandelen utgjorde 45% av avløpsvannføringen (Bares et al. 2009).

Tyskland

I Tyskland har de vist at infiltrasjon av grunnvann øker aldring av rør og øker faren for annen infrastruktur ved at det vasker vekk fundamentmassene rundt rørene. Det er også grunnvann som utgjør det største fremmedvannvolumet med 85%. Permanent innlekking av overvann utgjør 14% og midlertidige overvannsinlekkinger 1%. Dette er tall som er bestemt ut fra en lengre tidsperiode, noe som vil si at for et kortere tidsrom etter en flom vil sistnevnte utgjøre en større andel av alt

fremmedvann (Karpf & Krebs 2011).

Sveits

I sveits har to forskere fra Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology og Swiss Federal Institute of Technology utført en regressionsanalyse for å finne reduksjon av fremmedvann etter at tiltak har blitt gjort. De fant at rehabilitering av spillvannsnettet reduserte 23,9% av grunnvannsinfiltrasjonen mens reduksjonen på 35,7% av overvannsinlekkingen ikke var statistisk signifikant (Staufer et al. 2012).

1.4.3 USA

Department of Environmental Protection (DEP) har gjennom Bureau of Municipal Facilities en låneordning hvor lokalsamfunn kan få lån og annen økonomisk støtte til å gjennomføre prosjekter for å undersøke fremmedvanninntrengning og tiltak for å redusere fremmedvannmengden.

Commonwealth of Massachusetts har utviklet retningslinjer for slike undersøkelser og tiltak, som er obligatorisk for lokalsamfunnene, som søker økonomisk støtte, å følge. Målet for undersøkelsen er å finne «Excessive infiltration/inflow» som er den fremmedvannmengden det lønner seg økonomisk å fjerne gjennom ledningsrehabilitering i stedet for å få det inn på renseanleggene. Denne veiledningen anbefaler å undersøke minst 10 % av totalt antall kummer i et avløpssystem, i tillegg til at minst 70 % av vannføringen i avløpsnettets blir målt av vannføringsmålere. Vannføringsmålingene skal vare i 10 etterfølgende uker (Commonwealth of Massachusetts 1993).

1.5 Målet for oppgaven

Målet for denne oppgaven var å estimere andelen fremmedvann og kilder til disse mengdene i et separatsystem i området Vestli og Tokerud i Oslo kommune. Dette ble gjort gjennom målinger av vannføring, nedbør, temperatur og prøvetakninger som ble analysert for total fosforkonsentrasjon. I tillegg har rørinspeksjoner og lekkasjeprosent blitt brukt i arbeidet for å finne kilder til fremmedvann.

Det var også ønskelig å finne tilføringsgraden i systemet. Dette ble gjort gjennom stikkprøver i overvannssystemet, også analysert for tot-P, og målinger av vannføring sammen med nedbørmåling. Det ble også beregnet tilføringsgrad ut fra fosforkonsentrasjon i spillvannet kontra antall personekvivalenter det var forventet bor og oppholder seg i feltet knyttet til systemet.

Til slutt var målet å diskutere seg fram til kilder og mulige tiltak som kan gjøres for å redusere fremmedvannmengdene.

Alt dette arbeidet ble gjennomført i samarbeid og med støtte fra vann- og avløpsetaten.

2 Metode

I denne oppgava er vannførings-, temperatur- og nedbørsmålinger i tillegg til prøver analysert for fosforkonsentrasjon fra tre utvalgte kummer brukt i arbeidet med å analysere avløpsvannet for fremmedvanninntak. Det er også tatt stikkprøver av overvannet og vannføringsmålinger her for å finne tilførsingsgraden til spillvannsnett. De ulike metodene er beskrevet nærmere under.

2.1 Analyseområdet Vestli og Tokeruddalen

I denne masteroppgaven er fremmedvannmengder for området Vestli/Tokerud i Oslo kommune undersøkt og mulige tiltak diskutert. Analyseområdet er et rent boligområde med separat avløpssystem, hvilket betyr at spillvann og overvann går inn på separate rør. Dette gjør feltet velegnet til å undersøke fremmedvannmengder inn i spillvannssystemet siden alt unntatt spillvann med hensikt skal være der.

Forsøksfeltet strekker seg fra Stovner i sør til Vestli T-banestasjon i nord og befinner seg øst for Rommen. Feltets spillvann- og overvannssystem drenes ut til Tokeruddalen hvor Tokerudbekken renner. Spillvannet går på spillvannssystemet som kommer nordfra med tilknytning til et felt i Nittedal kommune, mens overvannet går urensert ut i Tokerudbekken som er lagt i rør fra Tokerud og sørover.

2.1.1 Grunnforhold

Boligområdet Vestli/Tokerud på Stovner er lagt på ei gammel søppelfylling som har blitt fylt over med masser fra ulike gravearbeider i Oslo på 60- og 70-tallet. Lengre ned i Tokeruddalen finnes det eksempler på at det fortsatt brennes metan fra en gassbrønn i søppelfyllingen som brukes til oppvarming av et borettslag (Nilo 2014). Dette gir gode muligheter for setninger når søpla under fyllmassene gradvis brytes ned. Et løsmassekart fra Norges Geologiske Undersøkelse kan ses under i figur 7.



Figur 7: Løsmassekart Vestli/ Tokerud (NGU 2014). Det grå området viser hvor det er tilkjørt fyllmasser, det blå er havavsetninger og det lyse er tynt humus- eller torvdekke.

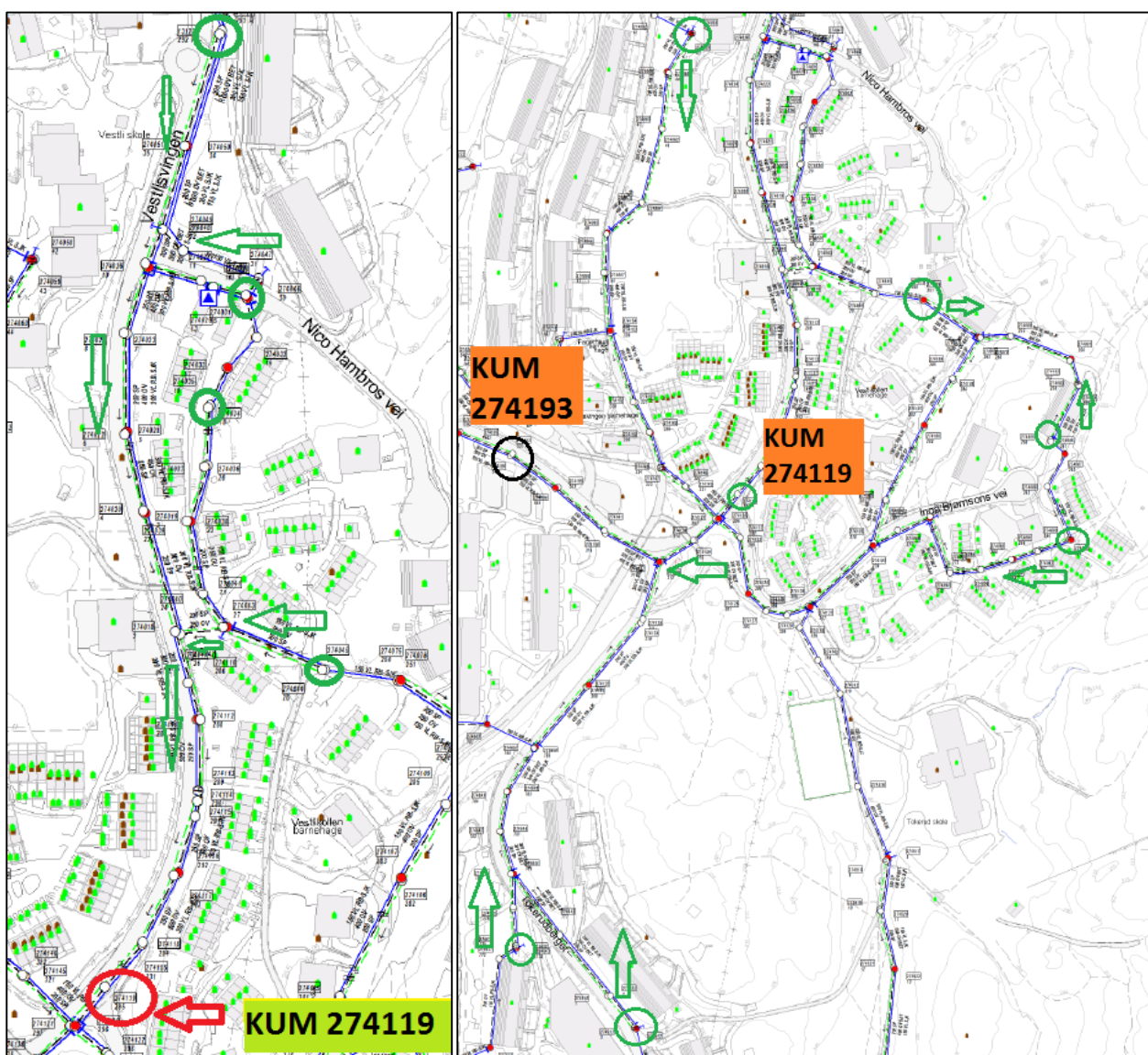
2.1.2 Anleggsarbeider

Vestli- og Tokerud-feltene ble utbygd gradvis fra slutten av 60-tallet til begynnelsen av 70-tallet. På denne tiden hadde VAV eget gravelag som stod for anlegg av VA-nettet selv. Anleggslaget bestod av 220 mann fordelt på ulike graveprosjekter (Nilo 2014).

Utbyggingen var svært omfattende og ingeniørene i VAV rakk ikke å tegne kumskisser for hver enkelt kum. Det ble dermed distribuert prinsippskisser for kummene som viste hva som skulle være der. Dette har ført til at kummene på Vestli/Tokerud er i dårlig stand og kan være lekk (Liptak 2014).

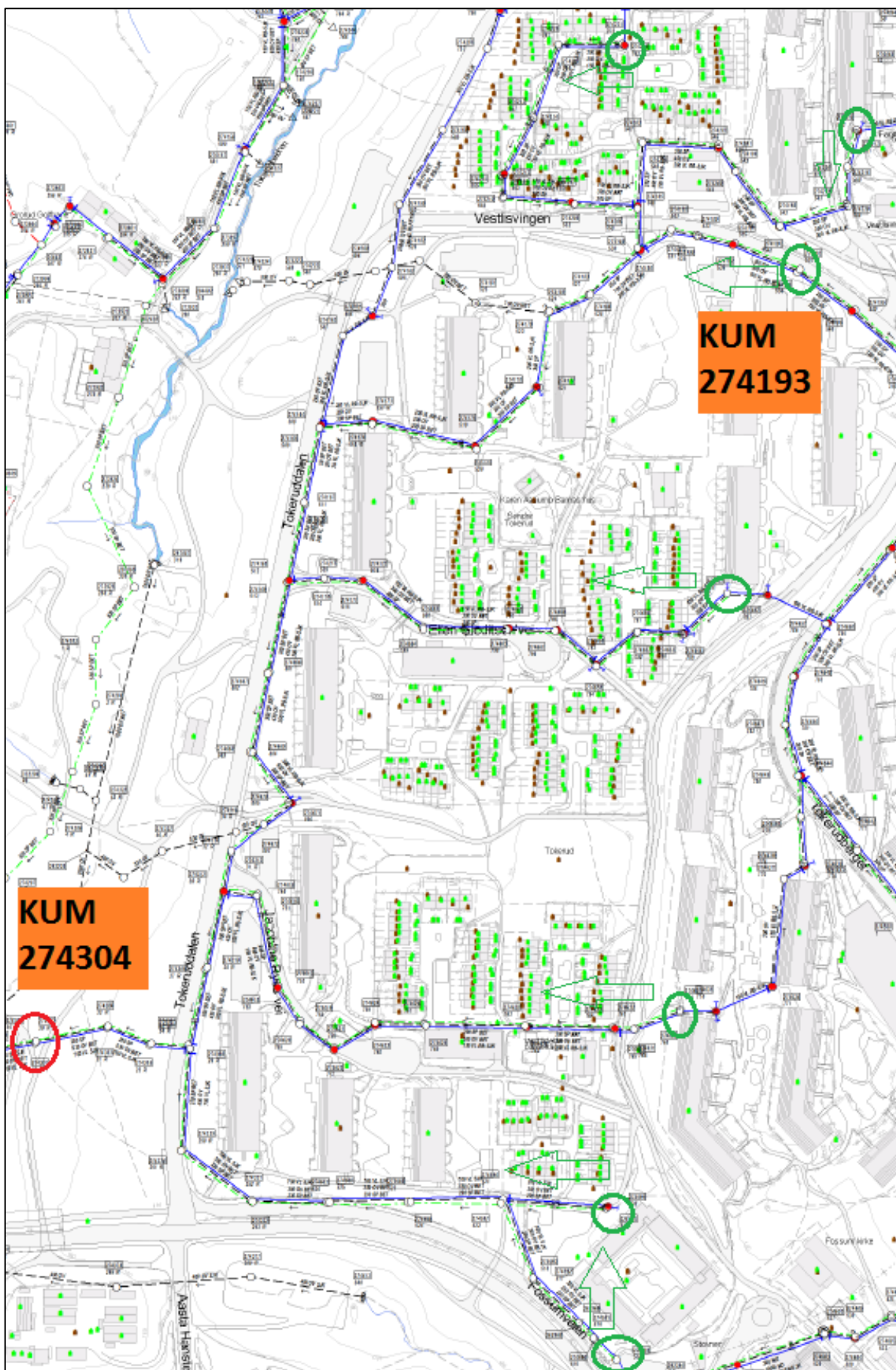
2.1.3 Avløpssystem

Avløpssystemet ble delt inn i tre delfelt; et mindre, et mellomstort og et som omfatter hele området. Kummene som drenerer disse tre delfeltene er markert i figur 8, 9 og 10 under. Hele delfeltet kan også ses som A1-kart i vedlegg D.



Figur 8: Delfelt som drenerer til SID 274119

Figur 9: Delfelt som drenerer til SID 274193



Figur 10: Delfelt som drenerer til SID 274304

Data for de tre delfeltene er også summert under i tabell 1.

Tabell 1: Egenskaper for avløpssystemet, Vestli/Tokerud

Avløpssystem		Anlegg- sår	Materi- ale	Lengde ledning, m	Lednings- dimensjon, mm	Bosatte	Areal, ha	p/ha	p/m ledning
Dreneres til SID 274119	Rund- kjøring	1975	Betong	114,64	200				0
	Nico Ham- bros vei	1970		49,86	250	246	1,4	176	4,9
	Vestlis- vingen, øvre	1970	Betong	388,28	250	167	2,4	70	0,4
	Vestli- kollen	1971		184,39	200	103	1,4	74	0,6
	Totalt			737,17		516	5,2	99	0,7
Dreneres til SID 274193	Inga Bjørn-sons vei	1970- 1971		732,51	200	364	4,6	79	0,5
	Fager- haug	1971- 1972		412,39	200	137	4,3	32	0,3
	Tokerud- berget	1970		477,63	200	1190	4,8	248	2,5
	Vestlis- vingen, midtre	1970		53,92	250				0,0
	Vestlis- vingen	1969		48,42	150		0,7		0,0
	Vestlis- vingen, nedre	1969		90,47	250				0,0
	Totalt			2552,5		2207	19,6	113	0,9
Dreneres til SID 274304	Vestlis- vingen, nederst	1969- 1970		218,17	250	383	2,3	167	1,8
	Tokerud- dalen	1967- 1968	Betong, delvis	668,95	300	425	6,4	66	0,6
	Fra Fager- haug Barne- hage	1970		181,27	200	858	3,2	268	4,7
	Martha Tynes' vei	1970		226,9	200	180	1,4	129	0,8
	Ellen Gleditsch' vei	1968- 1970		309,65	200	275	3,2	86	0,9
	Jacobine Byes vei	1968- 1970	Betong, delvis	354,46	200	845	4,3	197	2,4
	Fossum- veien	1968	Betong	411,2	230	44	1,4	31	0,1
	Fossum- veien, sidegate	1969	Betong	65,34	200	79	0,8	99	1,2
	Utløps- ledning	1967	SJK, delvis	116,2	250				0,0
	Totalt			5104,7		5296	42,6	124	1,0

2.1.4 Prosent tette flater

På Vestli og Tokerud bor folk relativt tett i lavblokker og rekkehus langs lia. Det er mye grøntarealer rundt blokkene og husene. For Vestli har feltet et avrenningsareal på 36,6 ha hvor 33% er tette flater.

Befolkningen er på 120 personer pr. ha og ledningsnettets har et gjennomsnittlig fall på 9,3% (Jantsch et al. 2006).

2.1.5 Tokerudbekken

Tidligere kildesporinger av overvannsutslipp viser at det går ingen forurensinger ut i Tokerudbekken så langt oppe som ved Stovner. Dette er ikke tilfelle lengre nedstrøms hvor bekken er mer forurenset (Nilo 2014).

2.2 Målinger i spillvannet

Det ble utplassert forskjellige måleinstrumenter i de tre utvalgte målekummene. For de to nederste kummene (274193 og 274304) ble et instrument kalt FlowShark Triton fra ADS Environmental Services benyttet mens i den øverste kummen med minimal vannføring ble NIVUS PCM 4 brukt. Denne måler vannhastigheter for vannivåer nede på 3 cm (NIVUS GmbH 2014). Disse to målerne er vist i figur 11 og 12.



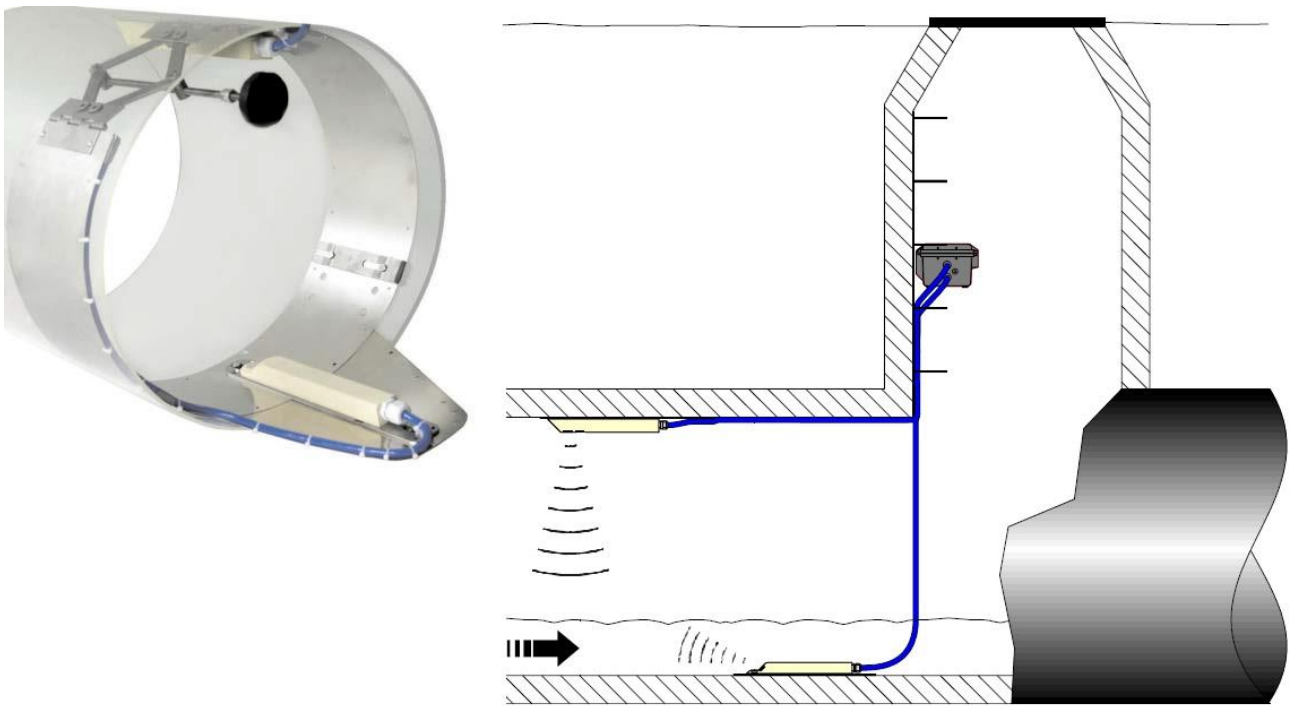
Figur 11: FlowShark Triton (ADS Environmental Services 2014).

Figur 12: PCM 4 (NIVUS GmbH 2014).

Måleinstrumentene består av en boks med logger som registrerer vannstand, hastighet og beregnet vannføring hvert femte minutt. Selve sensorene er festet på en ring som festes inni spillvannsrøret og registrerer de ovennevnte parameterne.

2.2.1 Vannføring

Vannføringen blir beregnet ut ifra målinger av nivå og hastighet på spillvannet. Nødvendig parameter som måtte registreres var dimensjon på spillvannsrøret. Vannføringsmålerne har sensorer som registrerer nivå og hastighet på vannet ved hjelp av ultralydsignaler som den sender ut. I figur 3 vises prinsippet for sensorene og målingene og plassering i kum og renne.



Figur 13: Prinsippskisse av måler og sensorer (Målegruppa avløp 2014).

Vannføringen ble dermed beregnet ut ifra kontinuitetsprinsippet:

$$Q = A * V_{gjennomsnitt}$$

Formel 1: Kontinuitetsligningen

Arealet er i denne sammenhengen det våte arealet.

2.2.2 Temperatur

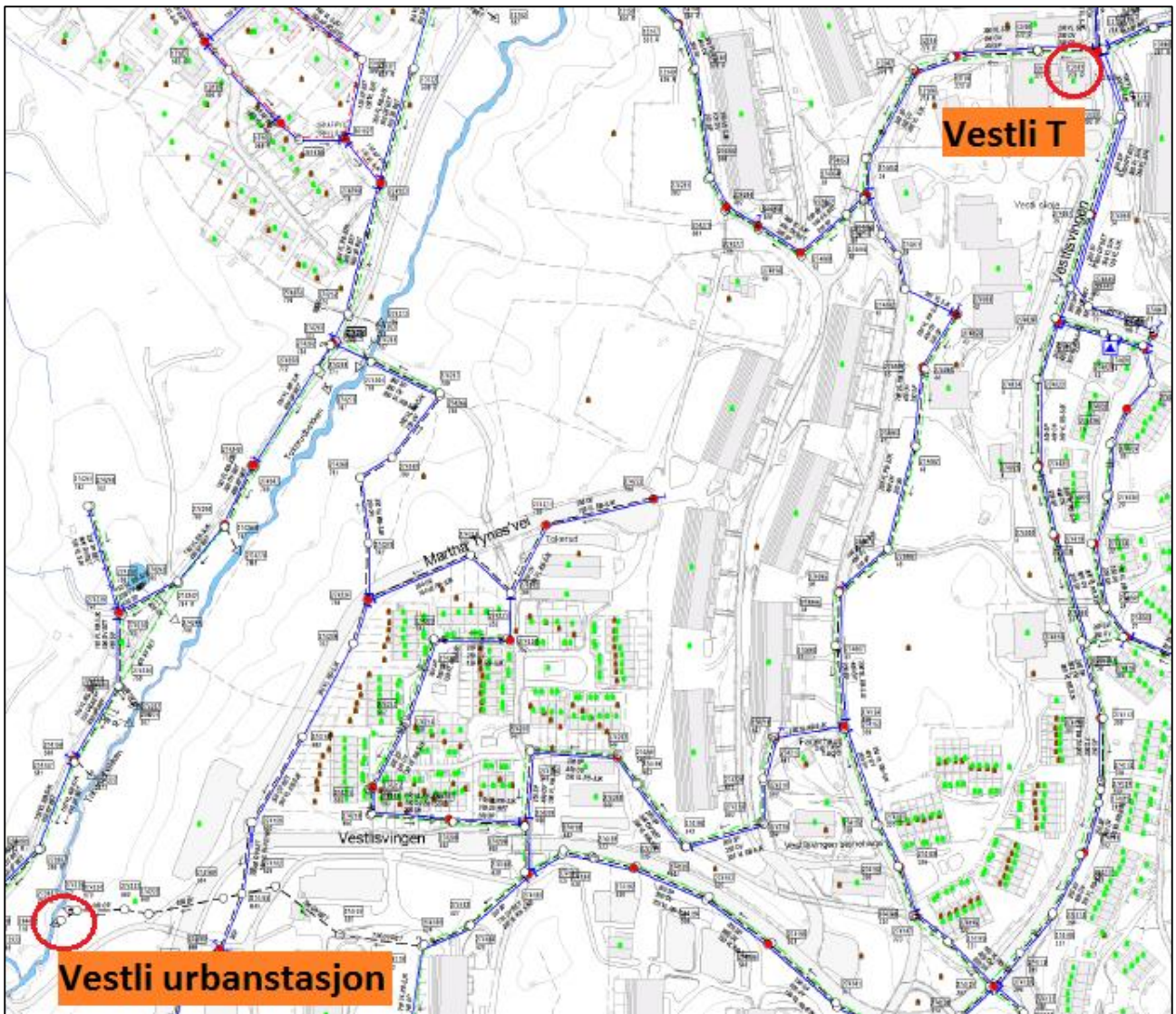
Temperaturen blir registrert av sensorene og registrert i loggeren i samme tidsoppløsning som hastighets- og vannstandsmålingene.

2.3 Nedbørsmålinger

Det ble satt ut en mobil nedbørsmåler av typen Casella som benytter seg av vippekarprinsippet ved Vestli T-banestasjon. Hvert «vipp» tilsvarer 2mm nedbør og blir logget og direkte lastet opp til regnbygge.no. Denne nedbørsmåleren kan ses i figur 14. I tillegg ble data fra NVEs Lambrecht-måler med oppvarmet glødetråd (Brennhovd 2014) benyttet til validering av den mobile måleren. Denne måleren står NVEs urbanstasjon på Vestli. Plasseringen til nedbørsmålerene er vist i figur 15.



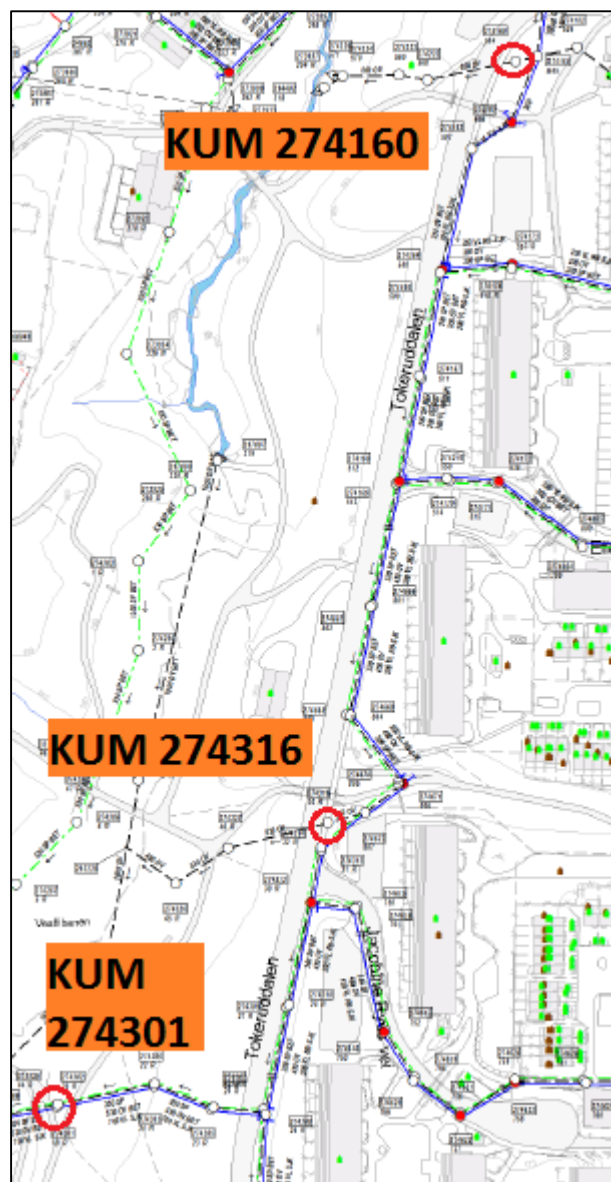
Figur 14: Casella nedbørsmåler og vippekarfunksjon (Målegruppe avløp 2014).



Figur 15: Nedbørmålere plassert på Vestli T og Vestli urbanstasjon

2.4 Metode for å finne tilføringsgrad

Stikkprøver og -målinger for å finne spillvannstapet til overvannsnettets ble tatt i tre kummer i Tokेरuddalen. Lokasjon til disse tre er vist i Figur 16: Kummer for overvannsprøver og -målinger.



Figur 16: Kummer for overvannsprøver og -målinger

For å beregne tilføringsgrad ble totalt forurensningsbidrag i tot-P for alle bosatte og tilreisende til Vestli-/Tokerudfeltet beregnet og sammenlignet med resultater fra prøvene av spillvannet. Utregningen er vist i formel 2.

$$\text{Tilføringsgrad (\%)} = \frac{C_{\text{beregnet}} - C_{\text{målt}}}{C_{\text{beregnet}}} * 100$$

Formel 2: Beregnet tilføringsgrad for spillvannsledningen

I tillegg til å finne den teoretiske tilføringsgraden med befolkningstall og fosforkonsentrasjon ble det også foretatt stikkprøver i overvannet som ble analysert for tot-P. Disse stikkprøvene sammen med vannføringsmålinger ga den faktiske tilføringsgraden av spillvann som lekker ned i overvannsledningen. Formel brukt for å beregne spillvannstapet til overvannsledningen er vist under i formel 3.

$$\text{Tilføringsgrad}(\%) = \frac{p_{\text{bosatte}} + p_{e_{\text{tilreisende}}} - \left(\frac{C_{\text{stikkprøve}} * Q_{\text{stikkmåling}}}{P(\text{tot})_{\text{person,døgn}}} \right)}{p_{\text{bosatte}} + p_{e_{\text{tilreisende}}}} * 100$$

Formel 3: Målt tilføringsgrad for overvannsledningen

2.4.1 Manuelle vannhastighets- og vannføringsmålinger

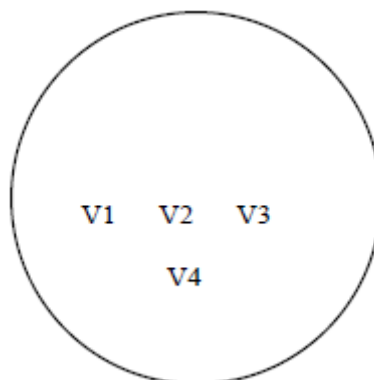
Til bruk for måling av hastighet i overvannsrennene ble det blant annet benyttet en Nivus mengdemåler. Denne bruker ultrasoniske impulssignaler til å måle vannmengde og –hastighet. Apparatet er vist i Figur 17: Nivus mengdemåler PVM PD.



Figur 17: Nivus mengdemåler PVM PD

Denne ble brukt i overvannsrenna fra Vestli hvor vannføringen var stor og stabil. Gjennom å ta fire målinger av hastigheten ulike plasser i tverrsnittet av renna kunne en gjennomsnittshastighet regnes ut og vannføringen beregnes ut ifra kanalstrømning og delfylling.

Firepunktmetoden for gjennomsnittshastighet, ble benyttet. Denne egner seg når delfyllinga er mellom 100 og 135 mm. Usikkerheten til denne metoden er $\pm 20\%$. Målingene tas på punkt som vist i Figur 18: Firepunktmetoden for måling av vannhastighet (Øyen 2002) og gjennomsnittshastigheten beregnes som i formel 4 (Øyen 2002).



Figur 18: Firepunktmetoden for måling av vannhastighet (Øyen 2002)

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

Formel 4: Firepunktmetoden for beregning av vannhastighet (Øyen 2002)

For de mindre nedslagsfeltene som drenerer til de andre kummene var det så liten vannføring at pose- og stoppeklokkeprinsippet ble brukt. Denne metoden går ut på å ta en pose i renna som fyller seg opp med vann og samtidig ta tiden på tiden det tar for den å fylle seg opp. Denne metoden gir gode resultater, særlig dersom det gjøres flere ganger for å få en gjennomsnittlig verdi.

2.5 Prøver og prøvetakning

Infiltrasjonsvann sørger for et stabilt bidrag fremmedvann inn på spillvannsnettet. Dette vannet kan bestå av grunnvann eller utlekket drikkevann fra vannledningen over i grøfta som lekker inn gjennom utette rørskjøter eller kumringer. Grunnvannsnivået vil endre seg i løpet av året og gi ulike infiltrasjonsvolumer, mens en drikkevannslekkasje vil gi et stabilt bidrag fremmedvann inn på spillvannsnettet. For å finne disse fremmedvannmengdene trengs måling av vannføring, informasjon om antall personenheter og prøver av spillvannet som analyseres for tot-P. For å finne det konstante bidraget er det vanlig å se på den minimale vannføringen om natten når bidraget fra menneskelig produksjon er på sitt laveste (Vråle 1987a). Reduserte forurensingskonsentrasjoner, som tot-P, avslører fremmedvannsinntaket bedre enn vannmengdene (Vråle 1993).

2.5.1 Fortynningsgrad

Ved bruk av fortynningsgrad for å finne de stabile infiltrasjonsmengdene kan ulike parametere brukes, som Tot-P, KOF, Tot-N, BOF eller SS. Total fosforkonsentrasjon har vist seg å være den parameteren som påvirkes minst av fremmedvann (Vråle 2011) og det er derfor parameteren Tot-P det er valgt å analysere for i denne undersøkelsen.

Dersom industrielt avløpsvann o.l. har en fosforkonsentrasjon lavere enn husholdningsavløp vil beregningen av fremmedvannsandelen bli for høy ved bruk av tot-P-analyser (Lindholm, O. G. et al. 2012). Dette er ikke tilfelle i denne oppgaven da systemet som er valgt kun har tilknyttet boliger og en skole, noen barnehager og erverv.

Samlet fosforproduksjon per beboer og døgn er i denne undersøkelsen satt til 1,6 g/p*døgn. Dette er for å kompensere for et antatt betydelig pendlertap i og med at Vestli-/Tokerud-feltet er et rent boligområde. Unntaket er en barneskole, flere barnehager og noen erverv i Fossumveien. Denne verdien er noe lav i forhold til de spesifikke tall Lasse Vråle foreslo i sin NIVA-rapport fra 1987. Her la han frem et forslag om nye spesifikke tall til 2,0 g*P/p*døgn for 100% tilstedeværelse og 1,8 g*P/p*døgn med pendlertap (Vråle 1987b). For 100% tilstedeværelse vil uførtynnet avløpsvann ha en fosforkonsentrasjon på 14,3 mg/l (Vråle 2011).

Vannforbruket er satt til 160 l/p*døgn, som anbefalt i dimensjoneringsveiledningen til Norsk Vann. Dette fordi at det tradisjonelle spesifikke forbruket på 200 l/p*døgn har i senere tid vist seg å være for høyt og kan være med på å underestimere mengdene fremmedvann på avløpsnettet. Undersøkelser gjort av Lasse Vråle i 1983-1984 viser at gjennomsnittlig spillvannsmengde er nede i 126 l/p*døgn (Vråle 2011).

I tabell 2 er valgte verdier for parametere brukt i utregninger fremstilt.

Tabell 2: Verdier for valgte parametere essensielle for denne undersøkelsen

Parametere	Bosatte (pendlertap)	Barn 1-6	Barn 7-12	Ansatte (100%)
Tot-P (g/p*døgn)	1,6	0,17	0,4	0,62
Vannforbruk (l/p*døgn)	160	0	40	25

Formel for utregning av fremmedvann, for timeblandprøver og timevannføringer, er vist under i formel 5.

$$Fremmedvann(\%) = \left(1 - \frac{\frac{\sum(C_{p,m\ddot{a}lt} * Q_{m\ddot{a}lt})}{P_{p,d\ddot{o}gn}} * Q_{p,d\ddot{o}gn}}{Q_{m\ddot{a}lt,d\ddot{o}gn}} \right) * 100$$

Formel 5: Formel for beregning for fremmedvannsandel

Denne metoden beregner fremmedvannsandelen ut ifra tilført forurensning, så et eventuelt spillvannstap vil gi for liten fremmedvannsandel.

2.5.2 Prøvetakingsutstyret

Prøvetakingsutstyret bestod av en beholder med en «karusell» inni med 24 beholdere, en for hver time i døgnet. Hver av disse hadde et volum på 500ml. Prøvene ble tatt vha. en slange som ble festet på en ring i spillvannsrenna og som gikk gjennom et maskineri som skapte undertrykk i slangen. Prøvene ble fordelt ved hjelp av en hendel til de forskjellige flaskene. Batteriet måtte byttes for hver prøverunde. En prøvetaker lik den benyttet er vist i Figur 19 under.



Figur 19: Isco prøvetaker med karusell med 24 a 500ml flasker (Teledyne Isco 2014).

I Figur 20 og Figur 21 under vises bilder tatt under installasjonen av prøvetaker og vannføringsmåler i kum 274119.



Figur 20: Bilde fra installasjon av prøvetaker og måler i kum 274119.

Figur 21: Prøvetaker og måleutstyr ferdig installert i kum 274119

Av praktiske årsaker ble prøvetakeren installert i kum 274302 mens vannføringsmåleren ble installert i kummen rett over, 274304. Disse kummene er satt til å være de samme i denne undersøkelsen. 274302 og 274304 er brukt om hverandre men omhandler dermed det samme punktet.

2.5.3 Døgnblandprøver

For døgnblandprøvene ble prøvetakeren programmert til å ta tre prøver i timen, hver prøve på 100 ml, til sammen 300 ml hver time. Prøvetakeren ble satt i gang klokken 00:00 (vintertid) på ønsket dato og hentet ut en av de påfølgende dagene. Det ble forsøkt unngått å ta prøver på de alt for regntunge dagene men dette var ikke alltid til å unngå.

2.5.4 Ukeblandprøver

Ukeblandprøven ble satt på med umiddelbar start for å kunne hente inn prøvene neste uke for å ha en viss fortgang på prøvetakningen da tiden var knapp. Prøvetakeren ble programmert til å ta tre prøver i døgnet, en hver sjuende time på 100 ml, til sammen 300 ml på 21 timer. 8 av disse døgnblandprøvene utgav til sammen akkurat sju dager, eller en uke med døgnblandprøver. Det ble ikke lagt opp til flere prøver pr. døgn for å spare batteri slik at det ikke skulle gå tomt før uken var omme.

2.5.5 Stikkprøver

Stikkprøver av overvannet ble foretatt på enklest mulig måte ved å kun ta en prøve av vannet der og da.

2.5.6 Analyser av tot-P

Spillvanns- og overvannsprøvene ble levert til ALS Denmark A/S sitt laboratorium på Skøyen som videresendte prøvene til Danmark for analyse. Der undersøkte de prøvene for total fosforkonsentrasjon ved hjelp av en metode kalt DS/EN ISO 6878:2004 som går ut på å tilsette ammonium heptamolybdat og kaliumantimon (3)-oksid tartat som reagerer i sure fosfatløsninger og danner et antimon-fosfo-molybdat-kompleks. Dette komplekset blir i sin tur redusert med L(+)-askorbinsyre som danner et sterkt blåfarget kompleks som kan detekteres ved 880nm i et spektrometer. Denne metoden har en relativ usikkerhet på 10% (Fredriksen 2014).

2.6 Rørinspeksjon

Rørinspeksjon kan gjennomføres ved å TV-kjøre rørene. Da benyttes en liten bil med kamera som kjøres opp- eller nedstrøms ledningen man ønsker å vite mer om. To slike kameraroboter vises i Figur 22 og Figur 23.



Figur 22: Kamerarobot benyttet til TV-inspeksjon av rørledninger (Robosnap 2014).

Figur 23: Kamerarobot benyttet til TV-inspeksjon av rørledninger (Align Survey cc. 2014).

I denne undersøkelsen har rapport fra utført TV-kjøring mellom det øverste prøvepunktet i Vestlisvingen (SID 274119) og helt opp til der spillvannnettet starter ved rundkjøringen ved Vestli T-banestasjon i kum med SID 13123.

I tillegg er tidligere TV-kjøringer fra Tokeruddalen og Fossumveien brukt. Alle rapportene finnes i vedlegget.

2.7 Drikkevannsløkkasjer

Målinger gjort tyder på at 50 % av utlekket drikkevann dreneres til avløpsledningen (Ødegaard et al. 2009). Gjennom å finne en lekkasjeprosent og vannforbruk for et område kan man regne ut hvor stor tilførsel av fremmedvann som er utlekket drikkevann.

2.7.1 Lekkasjesøking

Lekkasjesøking gjøres ved at man lyttet etter lekkasjer, gjerne om natta når det er stille.

2.7.2 Beregning av lekkasjeprosent for en trykksone

Drikkevannsnettet i Oslo er bygd opp i ulike trykksoner hvor vannføringen inn og ut av denne sonen blir målt. Slik kan man beregne lekkasjeprosenten for dette området. Tabell 3 viser antatte verdier for vannforbruk og lekkasjeprosent.

Tabell 3: Vannforbruk og lekkasje prosent for drikkevann i Oslo (Lund 2014).

Parameter	Valgt verdi
Vannforbruk l/p*døgn	160
Lekkasjeprosent Oslo	30,3

Formel 6 viser utregning av mengde utlekket drikkevann som infiltrerer inn i spillvannsledningen i liter per døgn.

$$Q_{\text{utlekk,d.vann}} = 160 * Pe * 0,303 * 0,5$$

Formel 6: Andel utlekket drikkevann til avløp

3 Resultater

3.1 Forundersøkelser

3.1.1 Befolkningssammensetning for spillvannssystemet

Gjennom kjøring av analyser i Gemini-VA og ringerunde til ulike erverv og institusjoner ble antall bosatte og antall tilreisende registrert og antall personenheter (pe) beregnet ut ifra forurensingsbidraget, som vist i tabell 4.

Tabell 4: Antall bosatte, tilreisende og personekvivalenter for tre delfelt

Avløps-system	Bosatte			Tilreisende			Forurensingsbidrag (gP/døgn)			Antall Pe
	Vok-sne	7-12 år	1-6 år	Bar-nehage	Barnes-kole	An-satte	Bosat-te	Tilreisen-de	SUM	
SID 274119	485	20	11	41	0	9,66	826	13	839	524
SID 274193	1947	157	103	95	520	91,66	3531	281	3812	2383
SID 274304	4651	395	250	243	520	137,54	8474	335	8808	5505

Disse tallene gjelder for arbeidsuker når ansatte er på jobb og barn er i barnehager eller på skolen. Høstferien for Oslo ble avvirket i uke 40, fra 29.09 til 3.10. Det er antatt at det var mindre folk enn til vanlig som oppholdt seg i feltet denne uka. Dette gjelder også for helger hvor det ikke er like mange personenheter som oppholder seg i feltet.

3.1.2 Befolkningssammensetning for overvannssystemet

Med Gemini-VA ble det kjørt analyser som viste hvem som er tilkoblet de tre ulike overvannssystemene. Disse feltene omfatter ikke de samme områdene som de tre ulike spillvannsfeltene. Sammen med en ringerunde ble antall personekvivalenter totalt på feltet i arbeidsdagene regnet ut. Dataene kan sees i tabell 5.

Tabell 5: Befolkningssammensetning og personekvivalenter for delfeltene OV

Overvanns-system	Bosat-te	Tilreisende			Forurensingsbidrag (gP/døgn)			Antall Pe
		Bar-nehage	Barnes-kole	Ansat-te	Bosat-te	Tilreisen-de	SUM	
274160	1955	95	520	91,66	3128	280,979	3408,98	2131
274316	935	94	0	22	1496	29,62	1525,62	954
274301	1116	54	0	23,88	1785,6	23,9856	1809,59	1131

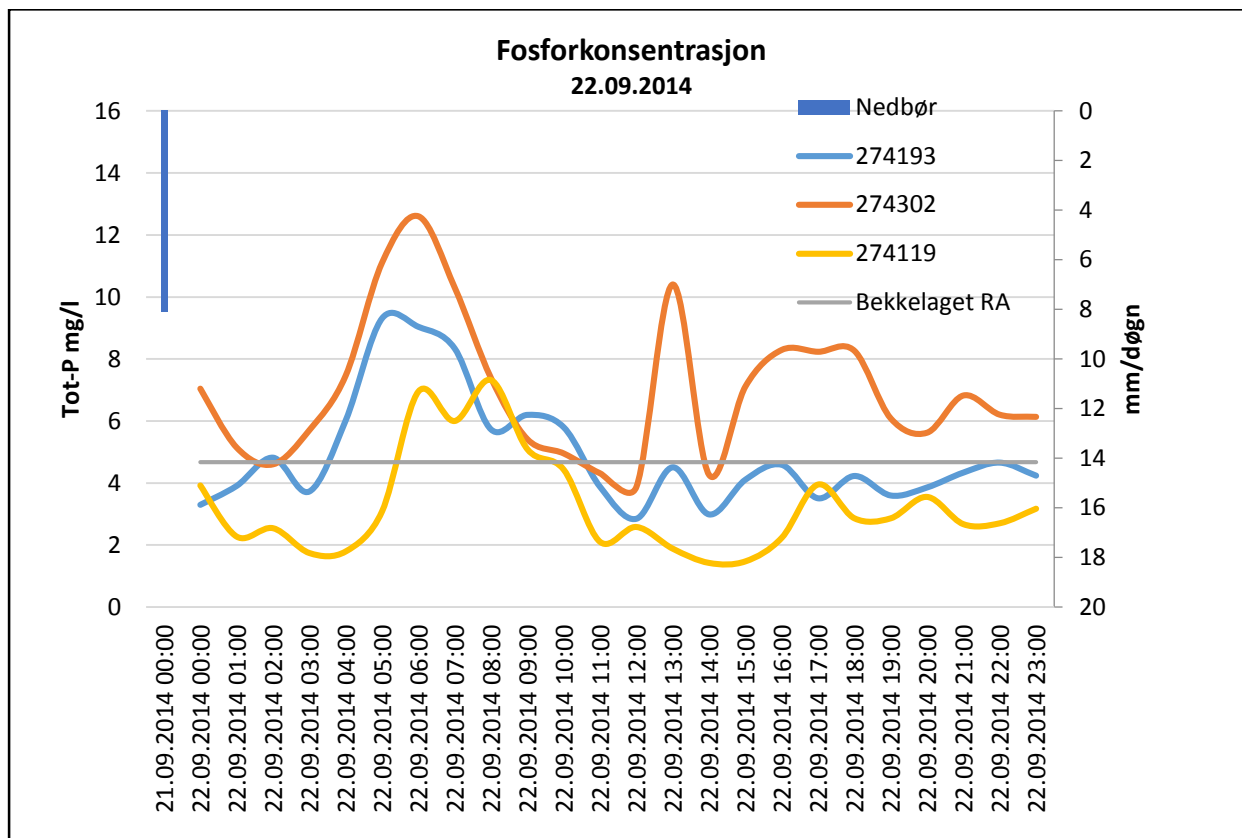
3.2 Prøvetakning med fosforanalyser

De ukentlige prøvetakningene for de tre delfeltene er presentert i grafene nedenfor. Det ble registrert mengder med sand og leire i prøvene på visse dager med nedbør. Dette kan være grunn til høye fosforkonsentrasjoner i forhold til nedbørmengder og vannføring. Alle time- og døgnresultater fra fosforanalyserne er presentert i vedlegg A.

3.2.1 Døgnblandprøver

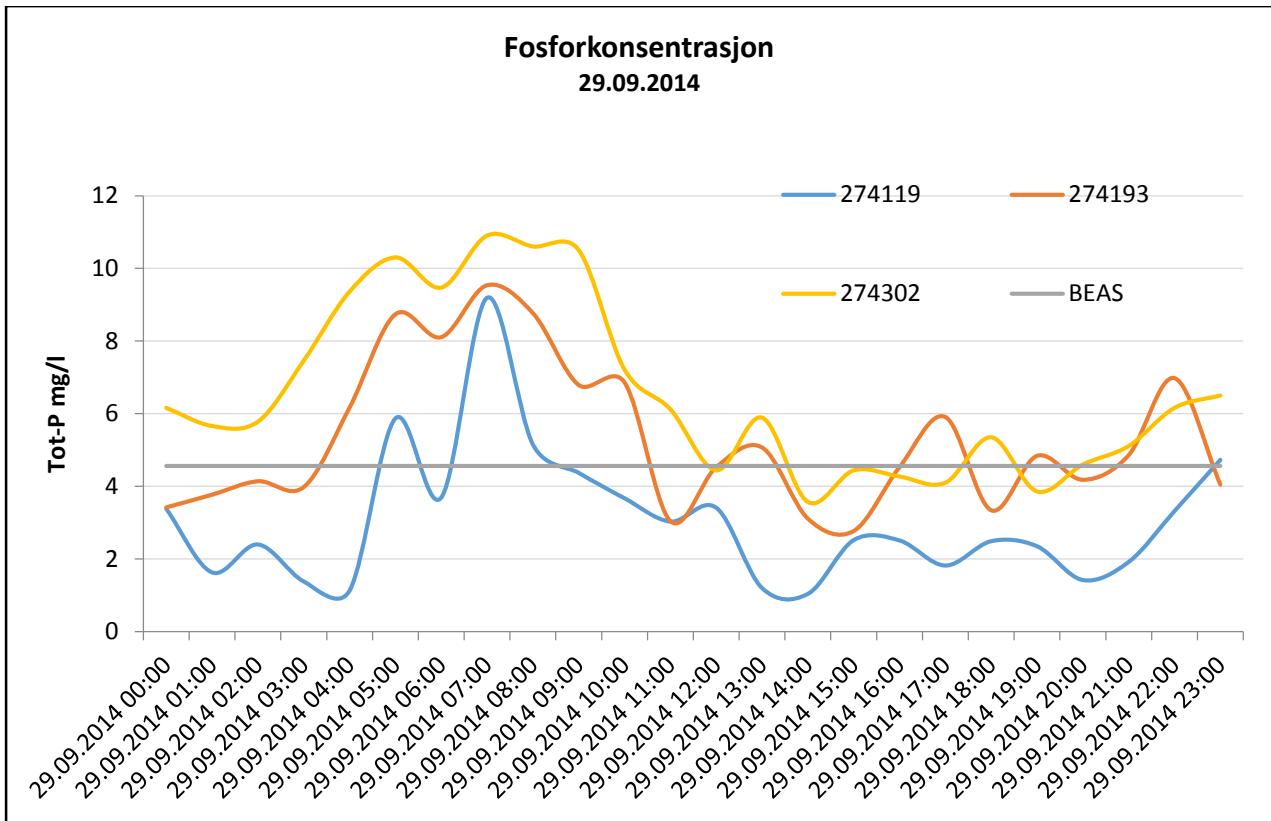
Grafene for døgnblandprøvene viser variasjonen i fosforkonsentrasjonen over et døgn, startende første time etter midnatt og avsluttende siste time før midnatt. Grafene er plottet sammen med nedbøren som falt samme dag eller dagen i forveien, henholdsvis i mm/time eller mm/døgn. Innløpskonsentrasjonen (tot-P) til Bekkelaget renseanlegg er også presentert.

Første prøvetakningsdag var mandag 22.09 og kan ses i Figur 24. Ut fra grafene kan konsentrasjonstoppene om morgenen og på ettermiddagen ses veldig godt. Disse er klart tydeligst for hele feltet (274302) som også har det mest ufortynnede avløpsvannet. Fosforkonsentrasjonene varierer også svært fint rundt innløpskonsentrasjonen til Bekkelaget, noe som vil si at resultatene er plausible.



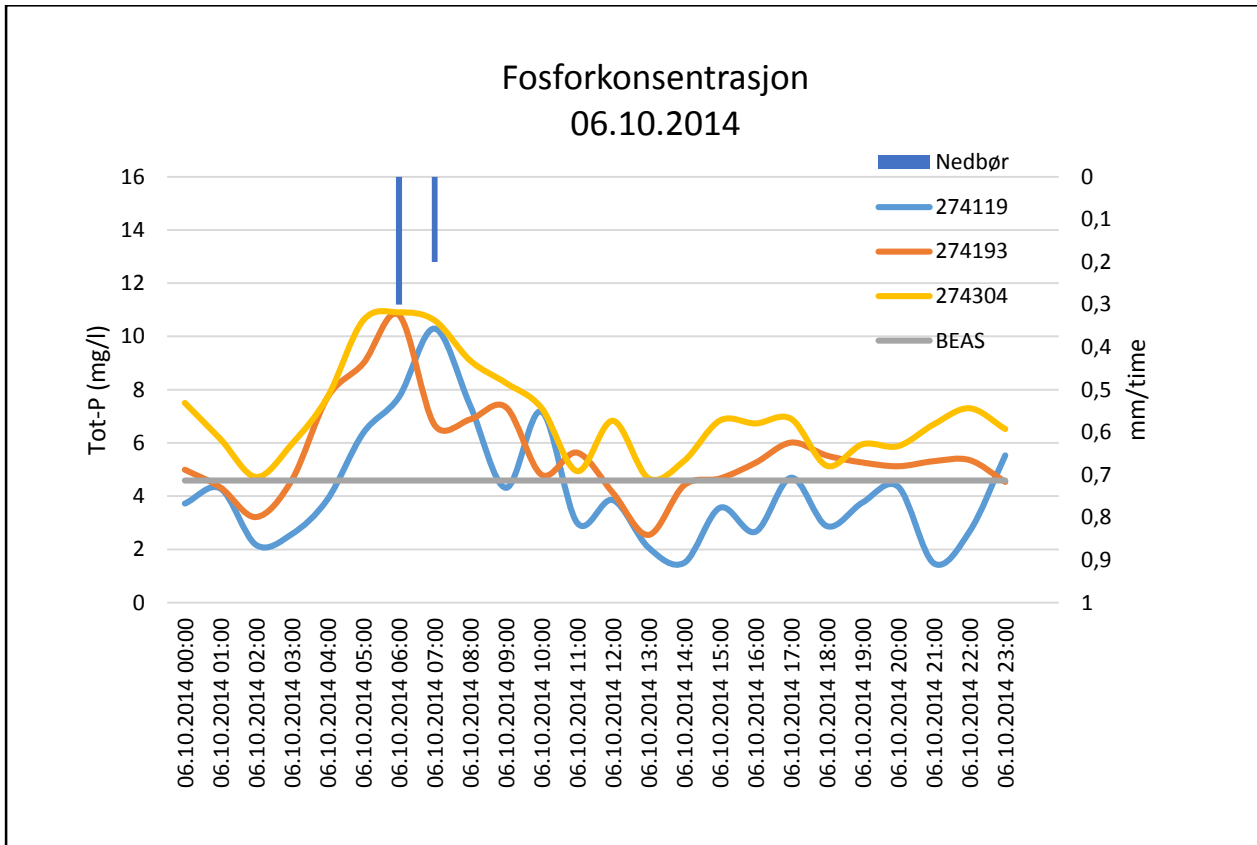
Figur 24: Diagram fosforkonsentrasjon 22.09.2014

Mandag 29.9 (Figur 25) var første dag i høstferien. Dette ser ikke ut til å påvirke fosforkonsentrasjonen betydelig, annet enn at det ikke oppstår så klare topper på morgenen og ettermiddagen. Denne dagen og dagen i forveien hadde det heller ikke regnet, så her var det ikke annet fremmedvann enn infiltrasjon av grunnvann og eventuelt utlekket drikkevann.



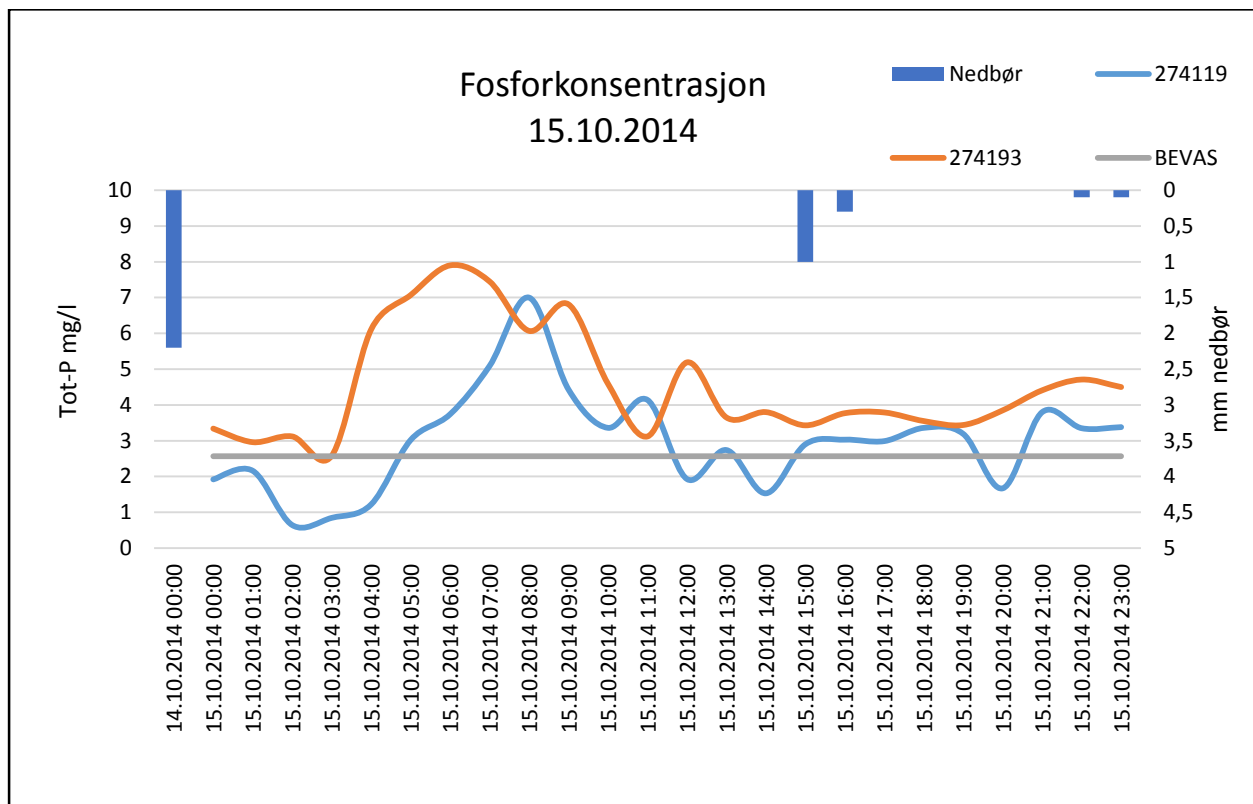
Figur 25: Diagram fosforkonsentrasjon 29.09.2014

Mandag 06.10 (Figur 26) var første skoledag igjen etter høstferien. Fosforkonsentrasjonene er som normalt. På morgenen var det litt regn men ikke nok til å kunne påvirke fosforkonsentrasjonen.



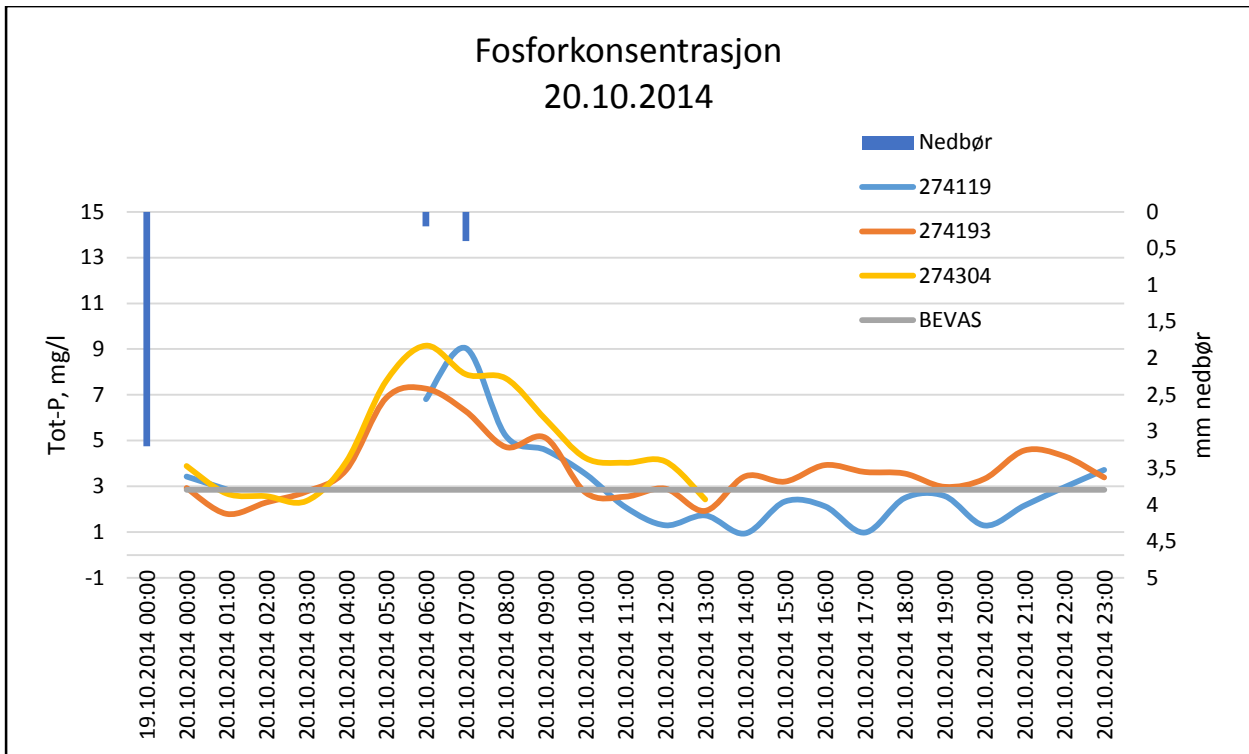
Figur 26: Diagram fosforkonsentrasjon 06.10.2014

For onsdag 15.10 (Figur 27) oppstod det en feil i prøvetakeren i kum 274304 slik at resultater fra denne kummen mangler. Prøvetakeren hadde mest sannsynlig gått tett. Her var også innløpskonsentrasjonen til BEAS svært lav, sikkert grunnet regnet dagen i forveien (2 mm). Dette regnet kan ha vært kraftigere i andre deler av byen. Verdiene for de to kummene var ikke så veldig lave i forhold til tidligere prøvetakninger.



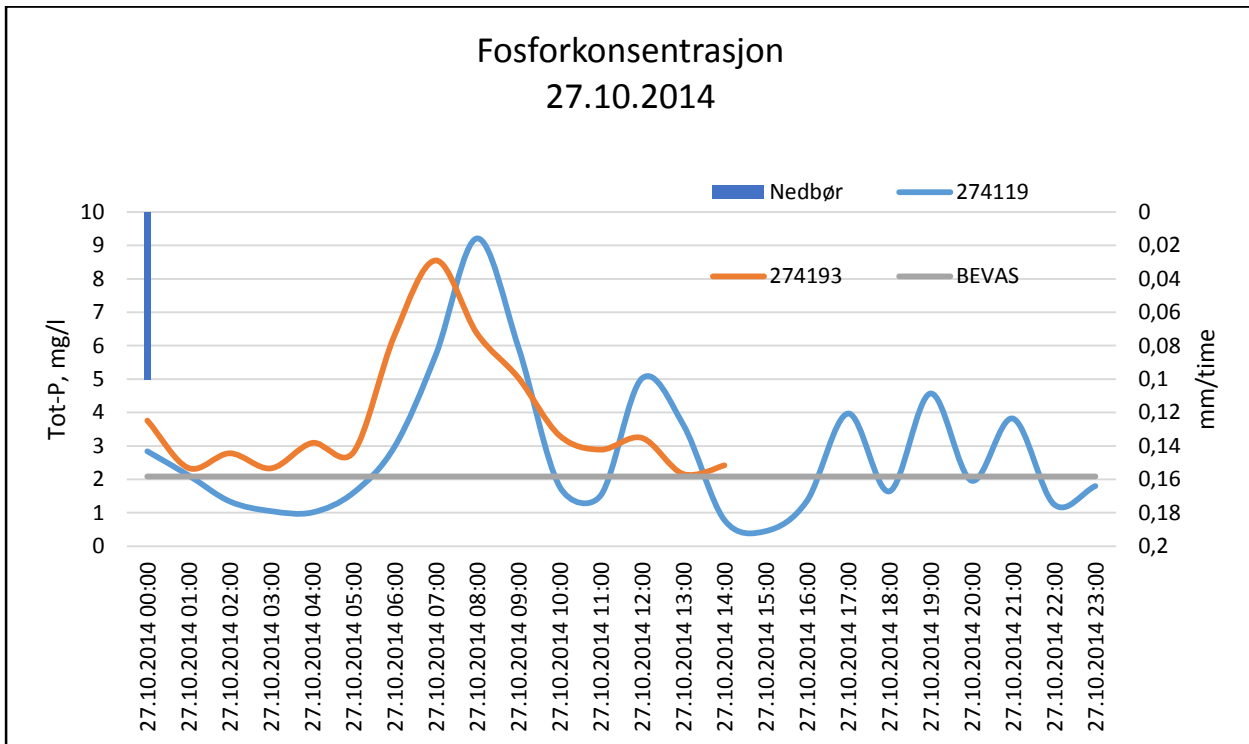
Figur 27: Diagram fosforkonsentrasjon 15.10.2014

For mandag 20.10 (Figur 28) manglet det prøver for natten for kum 274119 og prøvetakeren i kum 274304 hadde gått tett etter 13 timer. Innløpskonsentrasjonen til bekkelaget var vedvarende lav og det var også konsentrasjonen i prøvene fra de tre prøve kummene. Dagen i forveien hadde det regnet 3 mm, ikke særskilt mye. Dette skal ikke være nok til å skape avrenning fra overflaten og ned i avløpssystemene.



Figur 28: Diagram fosforkonsentrasjon 20.10.2014

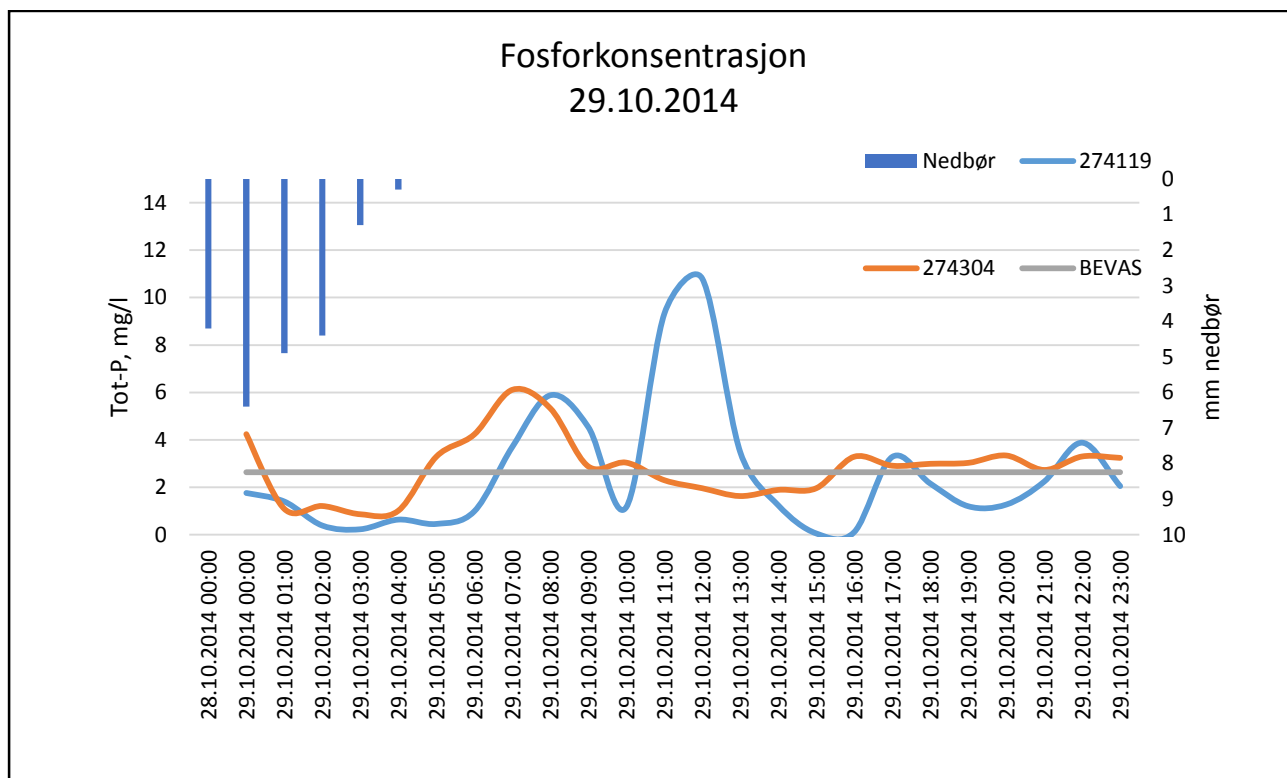
For mandag 27.10 (Figur 29) var det igjen oppstått feil i prøvetakeren i kum 274304 og prøvetakeren i 274193 var gått tett etter 14 timer. En av slangeklemmene hadde spruttet opp. Avløpsprøvene hadde litt høyere fosforkonsentrasjon igjen, mens BEVAS sin var enda lavere enn tidligere.



Figur 29: Diagram fosforkonsentrasjon 27.10.2014

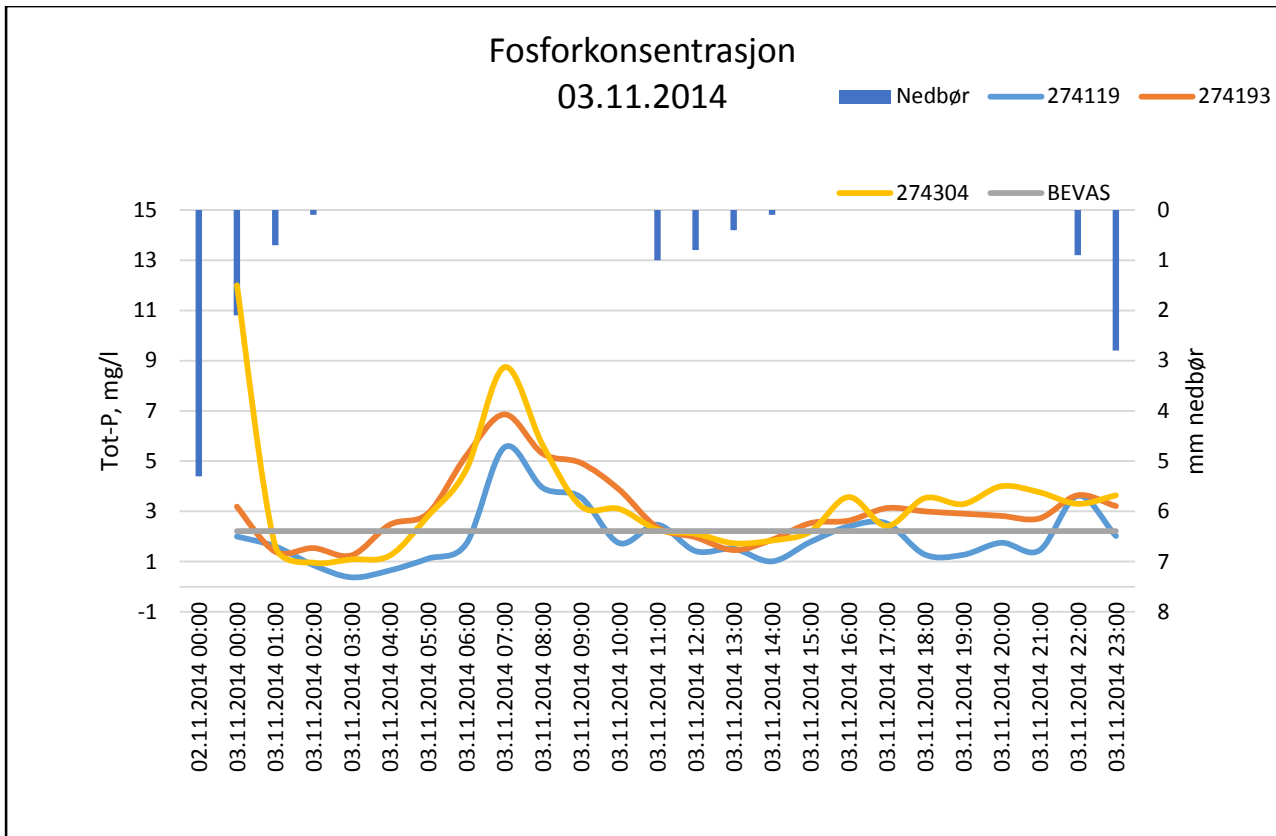
For onsdag 29.10 (Figur 30) hadde slangeklemmen på prøvetaker i 274193 spruttet opp igjen og det var dermed ingen prøver fra denne kummen. Denne gangen hadde prøvene fra den nederste kummen svært lave konsentrasjoner, gjerne på grunn av regnet dagen i forveien og i løpet av natten.

Den øverste kummen fikk en forsinket morgentopp, kanskje på grunn av utspyling av sedimenteringer i rørene fra det kraftige regnet samme natt.



Figur 30: Diagram fosforkonsentrasjon 29.10.2014

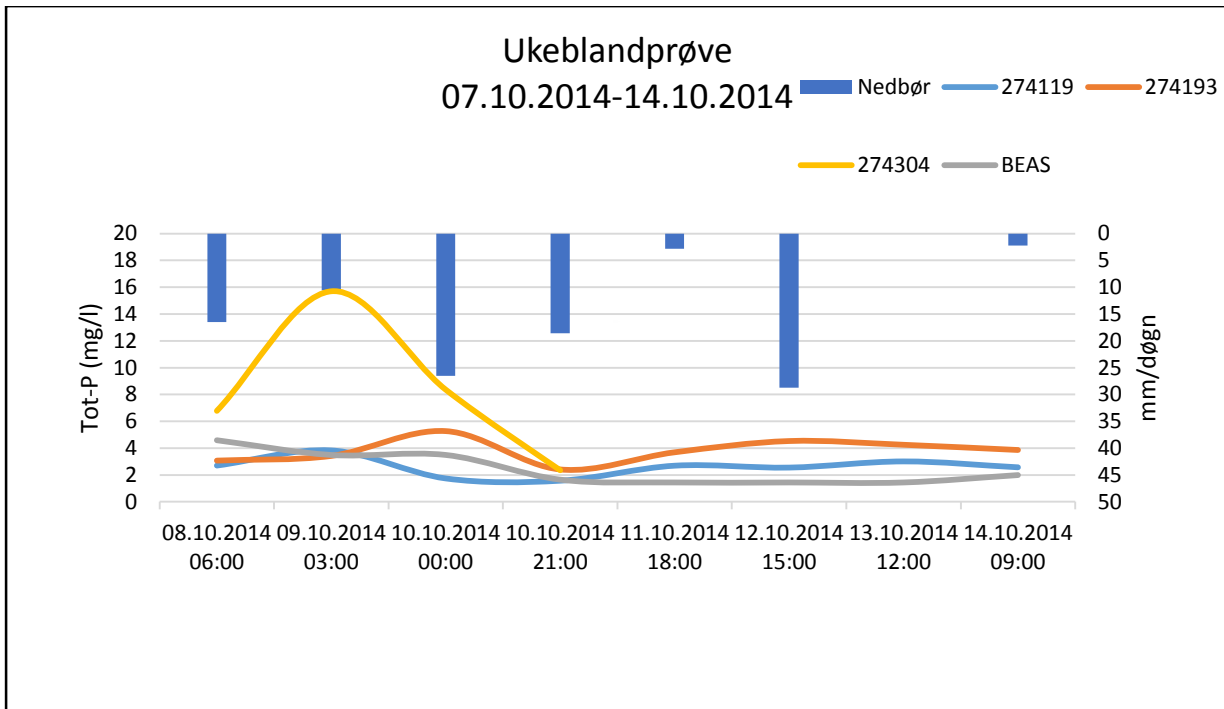
Mandag 03.11 var siste prøvetakningsdag. Figur 31 viser at det nederste prøvetakningspunktet hadde svært høye konsentrasjoner rett etter midnatt, muligens grunnet utspyling av sediment i svanker i rørene etter kraftig regn dagen i forveien og i nattetimene. Etter dette faller konsentrasjonen betraktelig og alle tre prøvepunktene har svært lave konsentrasjoner. Fosforkonsentrasjonen til prøvepunktene ligger svært nærme Bekkelaget sin innløpskonsentrasjon.



Figur 31: Diagram fosforkonsentrasjon 03.11.2014

3.2.2 Ukeblandprøve

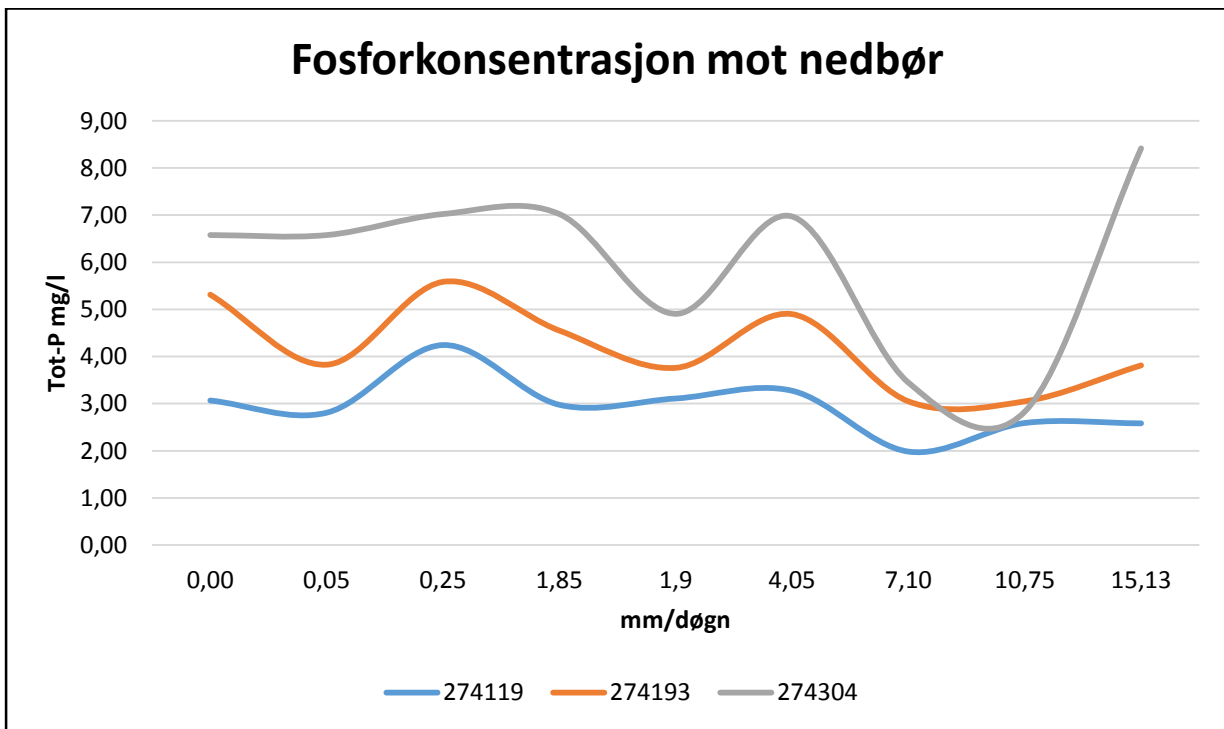
For ukeblandprøvene manglet det prøver for 11.10 og 13.10 til 14.10 for kum 274304. Grafene for fosforkonsentrasjonene i de ulike kummene er plottet i Figur 32 sammen med den daglige nedbøren og innløpskonsentrasjonen til Bekkelaget renseanlegg. Som for døgnblandprøvene er det kum 274304 som har de høyeste fosforkonsentrasjonene. Prøvene fra de to andre kummene følger mer trenden til innløpskonsentrasjonen for BEAS. Det er nedbør av betydelige mengder for halvparten av dagene i prøvetagningsuka.



Figur 32: Diagram fosforkonsentrasjon ukeblandprøve 07.10.2014-14.10.2014

3.2.3 Fosforkonsentrasjon og nedbørsintensitet

I Figur 33 er fosforkonsentrasjonen for de tre delfeltene plottet mot mm nedbør per døgn og viser hvordan fosforkonsentrasjonen blir lavere jo mer regn som faller. For hele delfeltet får fosforkonsentrasjonen en økning for den dagen med høyest nedbørsintensitet. Dette vises best for nederste dreneringspunkt (274304) men det er også en liten trend for 274193.



Figur 33: Fosforkonsentrasjon avhengig av nedbørsintensitet

3.2.4 Stikkprøve av overvann

Resultatene fra stikkprøvene av overvannet er sammenstilt i tabell 6 sammen med øyeblikkmålinger av vannføringen. Tilføringsgraden er regnet ut ifra et teoretisk antall personer (personekvivalenter). Tilføringsgraden er tilnærmet lik 100% for alle punkt og prøvetakninger.

Tabell 6: Fosforkonsentrasjon fra stikkprøver og tilføringsgrad for overvann

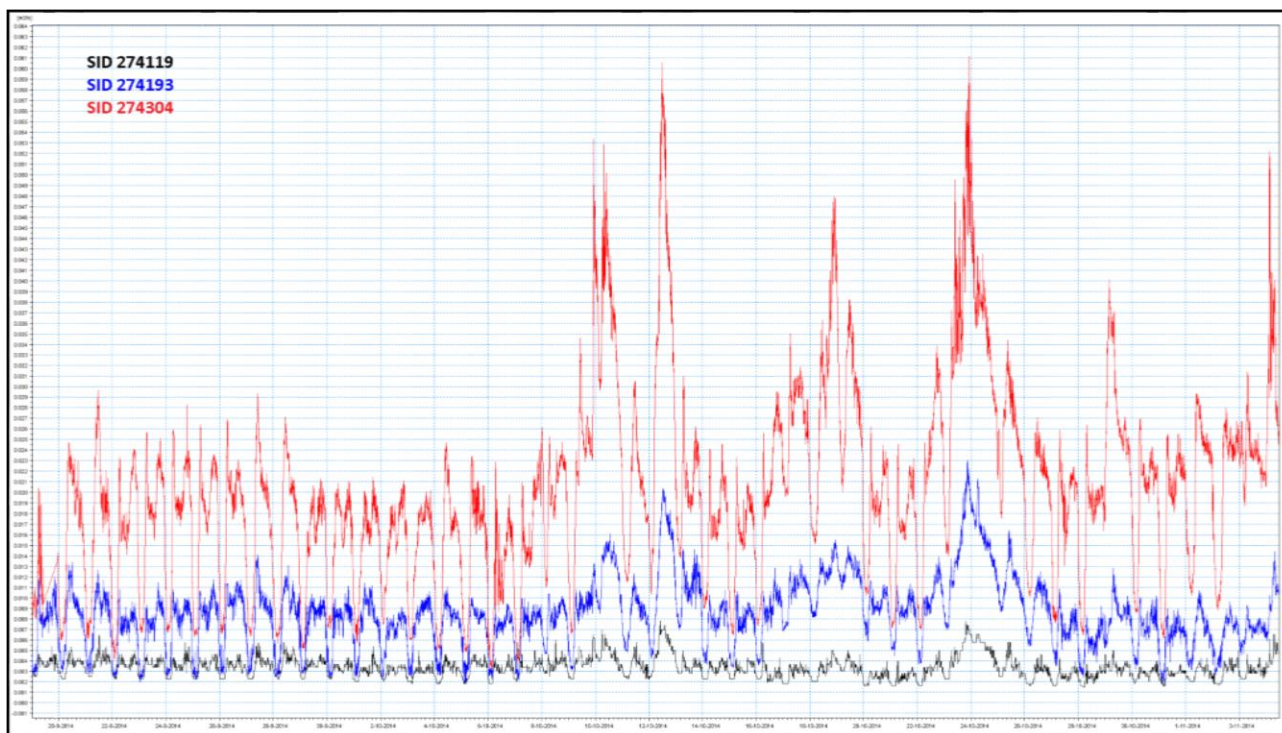
Dato	SID	274160	274316	274301
		Personer	2131	954
	Areal (ha)	24,5	11,8	7,8
Torsdag 16.10.2014	P-tot (mg/l)	0,05	0,024	0,047
	Vannføring (l/s)	15,4	6,9	6
	Nedbør (mm/døgn)	8,9	8,9	8,9
	Utlekket PE	42	9	15
	Tilføringsgrad (%)	98	99	99
Tirsdag 28.10.2014	P-tot (mg/l)	0,069	0	0
	Vannføring (l/s)	6	2,8	0,84
	Nedbør (mm/døgn)	2,15	2,15	2,15
	Utlekket PE	22,356	0	0
	Tilføringsgrad (%)	99	100	100
Torsdag 30.10.2014	P-tot (mg/l)	0,069	0,043	0,059
	Vannføring (l/s)	9	4	1,58
	Nedbør (mm/døgn)	17,3	17,3	17,3
	Utlekket PE	34	9	5
	Tilføringsgrad (%)	98	99	100
Tirsdag 04.11.2014	P-tot (mg/l)	0,028	0,021	0,046
	Vannføring (l/s)	41,48	7,56	6,2
	Nedbør (mm/døgn)	12,3	12,3	12,3
	Utlekket PE	63	9	15
	Tilføringsgrad (%)	97	99	99

3.3 Målinger

Det ble foretatt målinger i de tre ulike kummene som drenerte de tre delfeltene. Målingene bestod av vannførings- og temperaturmålinger. Det ble også målt nedbørsmengder parallelt, med samme tidsoppløsning. Store figurer av måleresultatene ligger også vedlagt i vedlegg B.

3.3.1 Vannføring

Det ble tatt målinger av vannstand og hastighet som ble benyttet til å beregne vannføring, i tillegg til at det ble målt vannføring og temperatur. Resultatene fra vannføringene i de tre forskjellige kummene ble som vist i Figur 34. Det er store økninger i vannføringen for nederste dreneringspunkt, en relativ høy økning i det midterste og en liten økning for øverste dreneringspunkt.

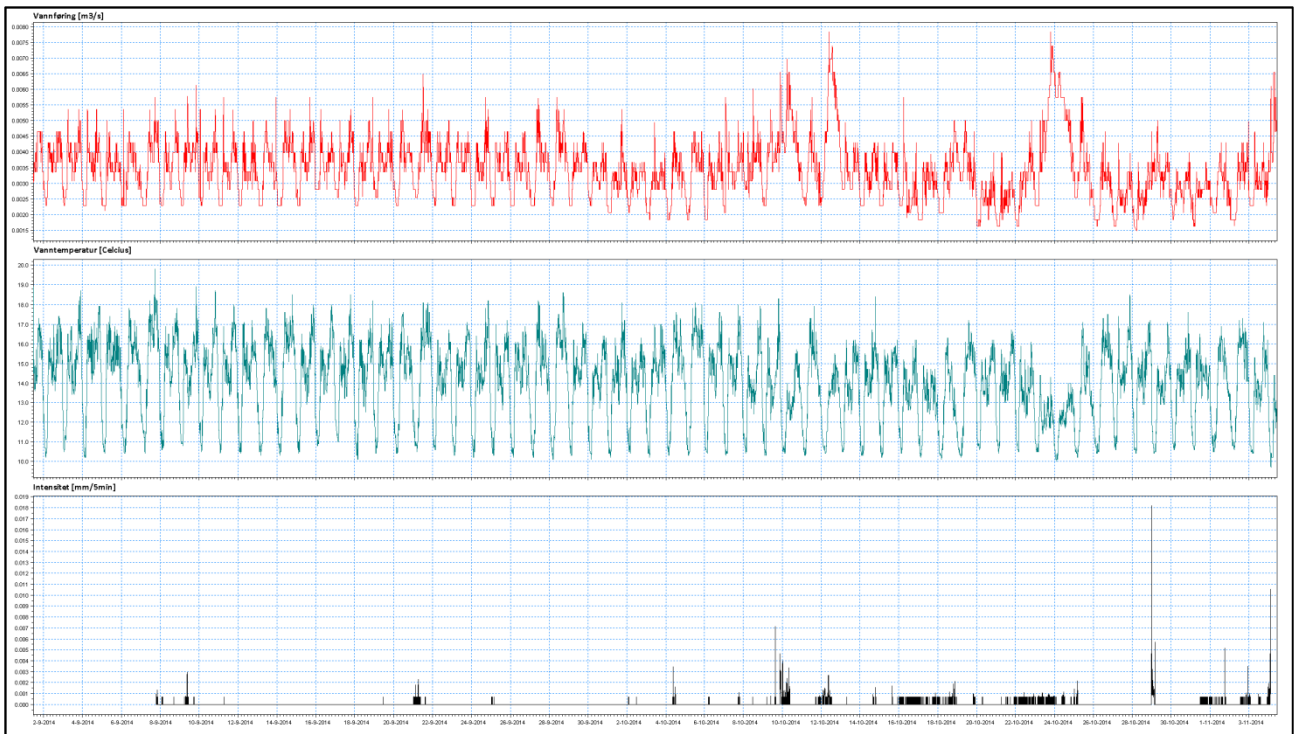


Figur 34: Vannføringene i målekummene for september og oktober.

3.3.2 Temperatur og nedbørsmengde

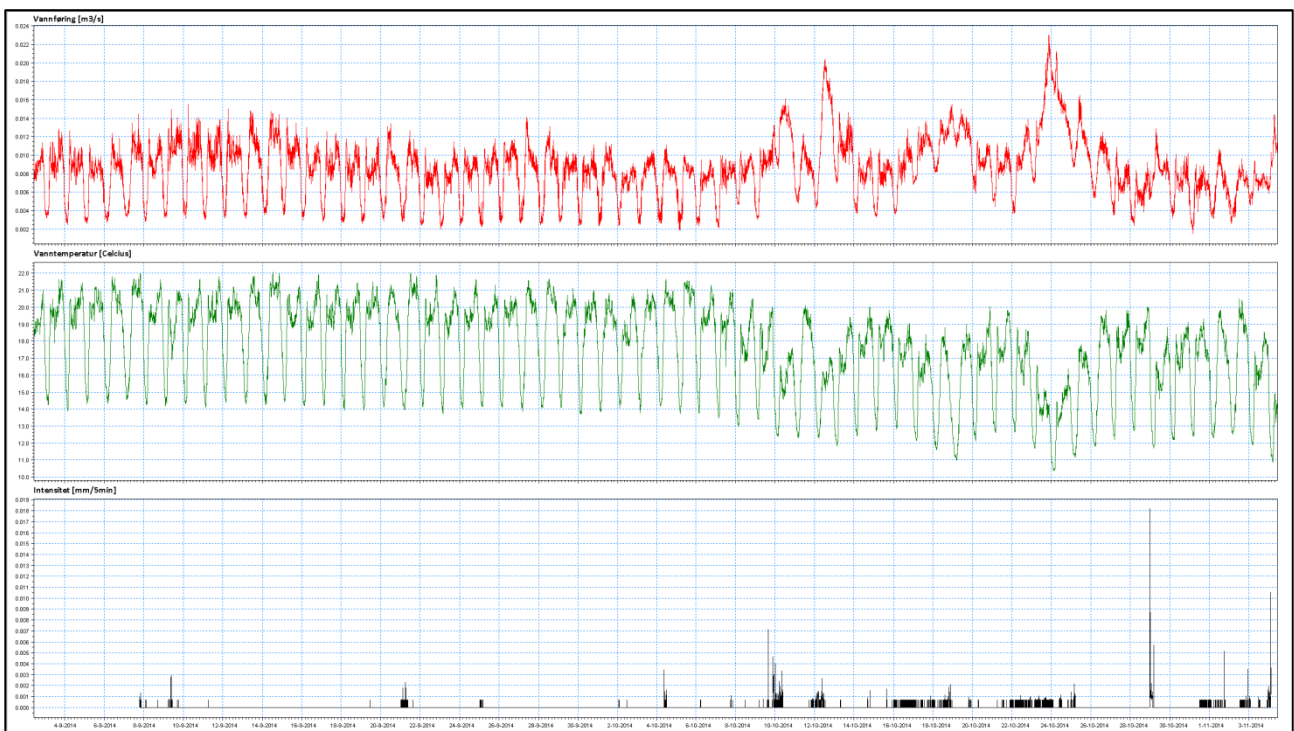
Det viste seg at den mobile nedbørmåleren viste for lave topper for nedbørsmengdene. Data fra NVEs måler på urbanstasjonen på Vestli ble dermed hentet inn og benyttet i resultatene. For hver enkelt av kummene ble resultatene for temperatur og nedbørsmengden plottet sammen med vannføringen. Ut fra grafene kan det ses hvordan vannføringen økte under nedbørshendelser og hvordan temperaturen på spillvannet minsket.

Figur 35 viser SID 274119 og man kan på grafene så vidt skimte en økning i vannføringen (rød graf) og reduksjon i temperaturen (grønn graf) for to-tre nedbørsepisoder (svarte stolper).



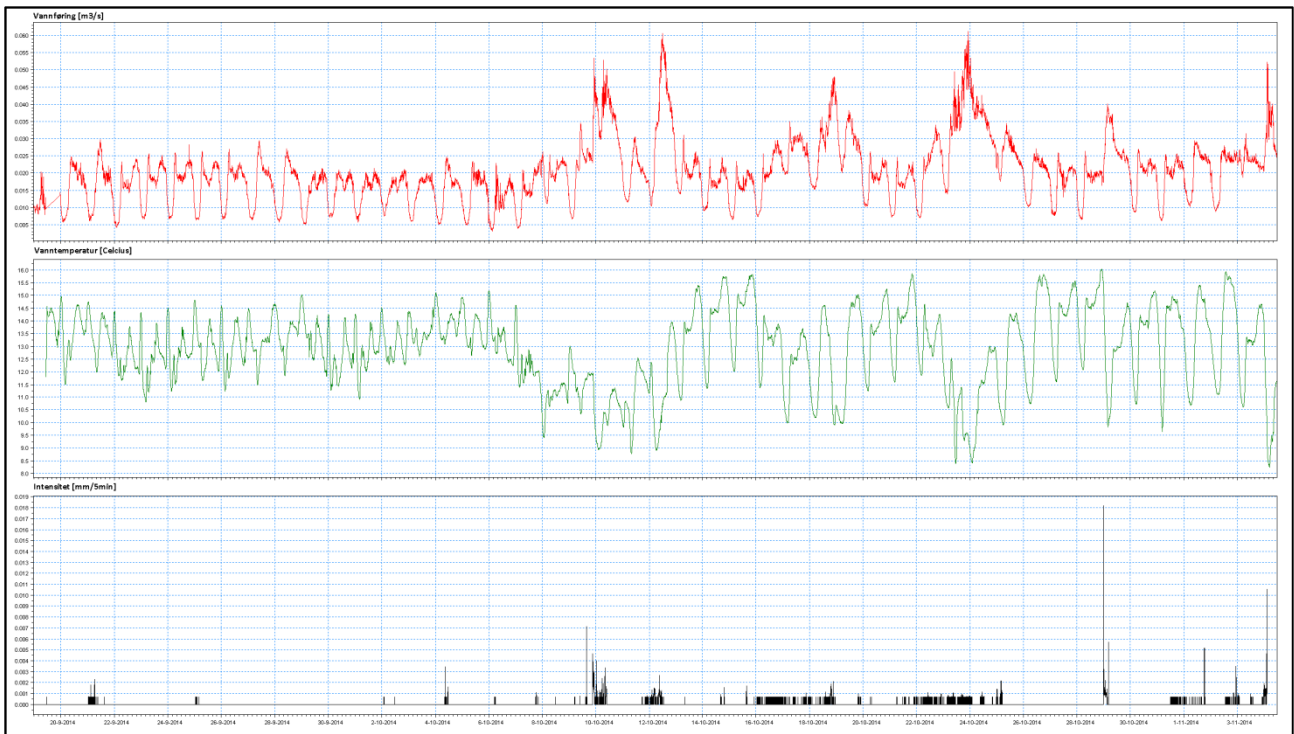
Figur 35: Vannføring, temperatur og nedbørsintensitet for SID 274119

SID 274193 er presentert i Figur 36 og her kan det observeres en mer markant økning i vannføringen (rød) samtidig som det er fall i avløpstemperaturen (grønn). De svarte stolpene viser nedbørsmengdene.



Figur 36: Vannføring, temperatur og nedbørsintensitet for SID 274193

I Figur 37 vises SID 274302 sin vannføring (rød) og her ses en meget stor økning i vannføringen sammen med fall i temperaturen (grønn). Det er markant økning i vannføringen fra september til oktober måned. De svarte stolpene viser nedbørsmengdene.



Figur 37: Vannføring, temperatur og nedbørsintensitet for SID 274304.

3.4 Beregninger

Selve beregningene er forklart nærmere i metodekapittelet men er fremstilt i tabellform her.

3.4.1 Tilføringsgrad, andel fremmedvann og spesifikk fremmedvannmengde

For døgnblandprøvene ble fosforkonsentrasjon per time sammen med gjennomsnittlig vannføring for timen brukt til å beregne summen av gram fosfor per døgn. Dermed ble antall personekvivalenter og spesifikk spillvannsmengde estimert. Ut fra disse tallene sammen med ledningslengde og antall personer tilknyttet feltet ble andel fremmedvann (prosentvis innhold av fremmedvann i avløpsvannet) og spesifikk fremmedvannsmengde (innlekkingen i liter per sekund og kilometer rørledning) sammen med tilføringsgraden (antall personekvivalenter per beregnet personenheter tilkoblet) regnet ut og presentert i tabell.

Resultatene fra første prøverunde er vist i tabell 7. Antall tilførte personekvivalenter ble funnet til å være henholdsvis (for kummene fra øverst til nederst i feltet) 653, 1795 og 6064. Dette ga en tilføringsgrad på (henholdsvis) 125, 75 og 110%. Andel fremmedvann for de tre prøve kummene var 66, 50 og 29% mens den spesifikke innlekkingen var henholdsvis 3,2, 1,3 og 0,88 l/s*km.

Tabell 7: P-tot, Q, PE og fremmedvannandel fra døgnblandprøve 22.09.2014

22.09.2014	274119			274193			274304		
Gj.snitt P-tot mg/l	3,27	Sum P g/døgn	1045	4,90	SUM P g /døgn	2872	6,97	Sum P g/døgn	9702
Andel fremmedvann	66 %	Antall PE=	653	50 %	Antall PE=	1795	29 %	Antall PE=	6064
Vannføring l/s									
Målt/spesifikk		3,5	1,2		6,7	3,3		15,7	11,2
Spesifikk spillvannsmengde	1,64	l/s*km	Tilføringssgrad(%)	1,30	l/s*km	Tilføringssgrad(%)	2,20	l/s*km	Tilføringssgrad(%)
Spesifikt fremmedvann	3,2	l/s*km	125	1,3	l/s*km	75	0,88	l/s*km	110

For andre prøverunde er resultatene presentert i tabell 8. Her ble tilføringssgraden funnet til å være 114, 91 og 91% for kum 274119, 274193 og 274304 henholdsvis. Andelen fremmedvann var for øverste og nederste punkt litt høyere enn foregående uke, mens det for midterste var mindre. Den spesifikke innlekkingen var høyere for det nederste punktet enn fra forrige uke. Det som er verdt å legge merke til er at demme uka var det høstferie slik at tilføringssgraden kan antas å være høyere da mange kunne ha vært bortreist fra feltet og Vestli skole mest sannsynlig var stengt.

Tabell 8: P-tot, Q, PE og fremmedvann fra døgnblandprøve 29.09.2014

Døgn 29.10.2014	274119			274193			274304		
Gjennomsnittlig P-tot mg/l	3,07	Sum (g P/døgn)	959	5,31	Sum (g P/døgn)	3487	6,58	Sum (g P/døgn)	8018
Fremmedvann	68 %	Antall PE=	599	46 %	Antall PE=	2179	37 %	Antall PE=	5012
Vannføring l/s									
målt/spesifikk		3,5	1,1		7,5	4,04		14,67	9,28
Spesifikk spillvannsmengde	1,51	l/s*km	Tilføringssgrad %	1,58	l/s*km	Tilføringssgrad %	1,82	l/s*km	Tilføringssgrad %
Spesifikk fremmedvannsmengde	3,24	l/s*km	114	1,36	l/s*km	91	1,06	l/s*km	91

For den tredje prøvetakningsrunden var det lavere andeler av fremmedvann og lavere spesifikk innlekking enn fra de to foregående prøverundene. Tallene sammenstilt i tabell 9 under.

Tabell 9: P-tot, Q, PE og fremmedvannandel fra døgnblandprøve 06.10.2014

06.10.2014	274119			274193			274304		
Gjennomsnittlig P-tot (mg/l)	4,24	Sum g P/døgn	1101	5,58	Sum g P/døgn	3298	7,02	Sum g P/døgn	7439
Andel fremmedvann	58 %	Antall PE=	688	43 %	Antall PE=	2061	28 %	Antall PE=	4649
Vannføring (målt/spesifikk) l/s		3	1,27		6,71	3,82		12,04	8,61
Spesifikk spillvannsmengde	1,73	l/s*km	Tilføringssgrad (%)	1,50	l/s*km	Tilføringssgrad (%)	1,69	l/s*km	Tilføringssgrad (%)
Spesifikk fremmedvannsmengde	2,34	l/s*km	131	1,13	l/s*km	86	0,67	l/s*km	84

Det ble satt i gang en ukeblandprøve. For nederste kum (274304) oppstod det en feil slik at kun 5 av 8 flasker var fylt. Dette er det korrigeret for i utregningene som er vist i tabell 10 under. Andelen fremmedvann er for alle tre prøvepunktene svært høye med hhv. 75, 62 og 49% fremmedvann. Den spesifikke innlekkingen er også svært høy med 3,95, 2,39 og 2,33 l/s*km, hhv. Tilføringssgraden er nok høyere enn den fremstilles som, da dette inkluderer to helgedager da det kan regnes med at barnehager og –skole var stengt hele helga samt at ervervene i Fossumveien hadde stengt på

søndagen. Dette er ikke tatt med i beregningene.

Tabell 10: Tot-P, Q, PE og fremmedvannandel fra ukeblandprøve 14.10.2014

07.10.2014- 14.10.2014	274119			274193			274304		
Gj.snitt P-tot (mg/l)	2,58	Sum P/uke g	5958	3,81	Sum P/uke g	22690	8,41	Sum gP/uke	75869
Andel fremmedvann:	75 %	Antall PE=	532	62 %	Antall PE:	2026	49 %	Antall PE:	6774
Vannføring målt/spesifikk (l/s)		3,90	0,99		9,85	3,75		24,43	12,54
Spesifikk spillvannsmengde	1,34	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,47	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	2,46	l/s*km	Tilføringsgrad (%)
Spesifikt fremmedvann	3,95	l/s*km	102	2,39	l/s*km	85	2,33	l/s*km	123

Neste døgnblandprøve kom onsdag 15.10 og viste litt lavere verdier enn fra forrige døgnblandprøve. Prøvetakeren for kum 274304 var tett og dermed var det ingen timeprøver fra denne kummen. Resultatene er fremstilt i tabell 11.

Tabell 11: Tot-P, Q, PE, fremmedvannandel, spesifikk innlekking og tilføringsgrad fra døgnblandprøve 15.10.2014

15.10.2014	274119			274193		
Gjennomsnittlig P-tot mg/l	2,98	Sum P/døgn (g)	838	4,55	Sum P/døgn (g)	2881
Andel fremmedvann	69 %	Antall PE=	523	53 %	Antall PE=	1801
Vannføring målt/spesifikk l/s		3,13	0,97		7,13	3,33
Spesifikk spillvannsmengde	1,32	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,31	l/s*km	Tilføringsgrad (%)
Spesifikt fremmedvann	2,92	l/s*km	100	1,48	l/s*km	76

For mandag 20.10 var den spesifikke innlekkingen og fremmedvannandelen ikke uvanlig høy for det øverste punktet mens for de to nederste prøvepunktene var verdiene over normalen, sammenlignet med resultater fra tidligere prøverunder. Resultatene kan ses i tabell 12. Tilføringsgraden for de tre punktene varierte mellom 80 og 90 %, noe som godt kan stemme. I øverste kum manglet for øvrig fire timeprøver fra morgentimene og for nederste kum var prøvetakeren gått tett etter fjorten timeprøver.

Tabell 12: Tot-P, Q, PE og fremmedvann fra døgnblandprøve 20.10.2014

20.10.2014	274119			274193			274304		
Gj.snitt P-tot mg/l	3,11	Sum P g/døgn	578	3,76	Sum P g/døgn	3066	4,91	Sum P g/døgn	4485
Andel fremmedvann	67 %	Antall PE	444	61 %	Antall PE	1916	51 %	Antall PE	4822
Vannføring målt/spesifikk l/s		2,5	0,82		9,21	3,55		18,13	8,93
Spesifikt spillvann	1,12	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,39	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,75	l/s*km	Tilføringsgrad (%)
Spesifikt fremmedvann	2,27	l/s*km	85	2,22	l/s*km	80	1,80	l/s*km	88

Mandag 27.10 (tabell 13) hadde igjen den nederste prøvetakeren gått tett, i tillegg til at prøvetakeren i kum 274193 hadde fått problemer med vakuemet etter femten timeprøver. Dette kan forklare den lave tilføringsgraden for den sistnevnte kummen. Ellers viste beregningene «normale» verdier for de to kummene med hhv. 70 og 60% fremmedvann og en spesifikk innlekking på 2,40 og 1,62 l/s*km.

Tabell 13: Tot-P, Q, PE og fremmedvann fra døgnblandprøve 27.10.2014

27.10.2014	274119			274193		
Gj.snitt P-tot mg/l	2,81	Sum P g/døgn=	630	3,83	Sum P (g/døgn)	1496
Andel fremmedvann	71 %	Antall PE=	393	60 %	Antall PE	1496
Vannføring målt/spesifikk l/s		2,5	0,73		6,92	2,77
Spesifikk spillvannsmengde	0,99	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,09	l/s*km	Tilføringsgrad (%)
Spesifikt fremmedvann	2,40	l/s*km	75	1,62	l/s*km	63

Onsdag 29.10 manglet prøver fra kum 274193 grunnet tekniske problemer. Som vist i tabell 14 hadde nederste kum en fremmedvannsandel på hele 72%, omtrent like mye som i øverste kum. Den spesifikke innlekkingen var på omtrent det samme for de to kummene, 3,5-4,0 l/s*km. Dette er en høy fremmedvannsandel og innlekkingsrate. Tilføringsgraden for øverste punkt er 90% mens nederst er den kun 78%.

Tabell 14: Tot-P, Q, PE og andel fremmedvann fra døgnblandprøve 29.10.2014

29.10.2014	274119			274304		
Gj.snitt P-tot mg/l	2,59	Sum P g/døgn	755	2,83	Sum P g/døgn	6873
Andel fremmedvann	75 %	Antall PE	472	72 %	Antall PE	4296
Vannføring målt/spesifikk l/s		3,46	0,87		28,33	7,96
Spesifikk spillvannsmengde	1,19	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,56	l/s*km	Tilføringsgrad (%)
Spesifikt fremmedvann	3,51	l/s*km	90	3,99	l/s*km	78

Siste prøvetakningen skjedde mandag 3. november og var vellykket for alle tre kummene. Disse prøvene viste en høy fremmedvannsandel fra 65 til 79% og en lav tilføringsgrad som var helt nedi 49%. Resultatene er fremstilt i tabell 15 nedenfor.

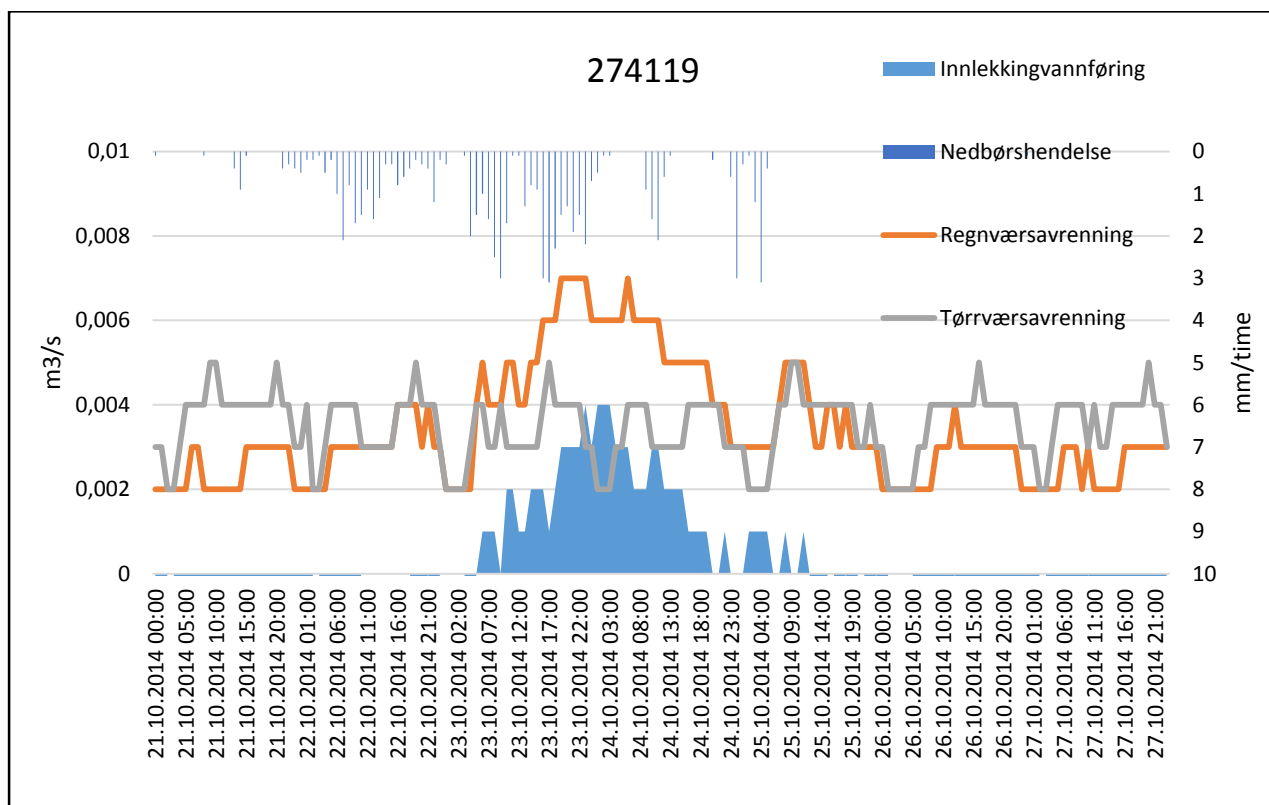
Tabell 15: Tot- P, Q, PE og andel fremmedvann fra døgnblandprøve 03.11.2014

03.11.2014	274119			274193			274304		
Gj.snittlig P-tot mg/l	1,98	Sum gP/døgn:	531	3,05	Sum gP/døgn:	1878	3,45	Sum gP/døgn:	7148
Andel fremmedvann %	79	Antall PE:	332	68	Antall PE:	1174	65 %	Antall PE:	4468
Vannføring målt/spesifikk l/s		2,92	0,61		6,88	2,17		23,54	8,27
Spesifikk spillvannsmengde	0,83	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	0,85	l/s*km	Tilføringsgrad (%)	1,62	l/s*km	Tilføringsgrad (%)
Spesifikt fremmedvann	3,12	l/s*km	63	1,84	l/s*km	49	2,99	l/s*km	81

3.4.2 Direkte nedbørspåvirket innlekking

Fra vannføringsmålingene er det tatt utgangspunkt i en uke med tørrværsavrenning og en uke med regnvær. Disse to ukene er sammenstilt og sammenlignet for de tre ulike målepunktene i figur 38 til 40. Målingene for tørrvær- og regnværsavrenning starter og slutter på samme ukedag.

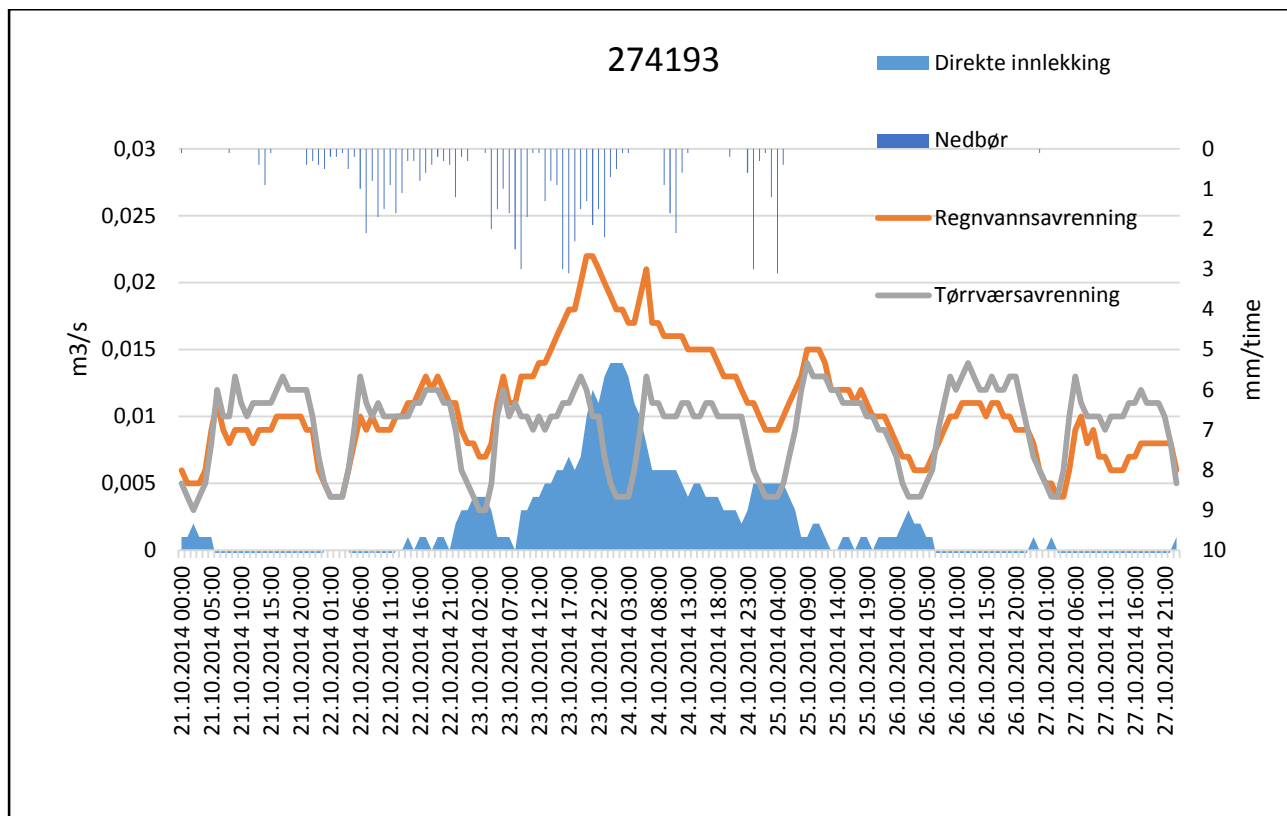
I Figur 38 ser vi den direkte nedbørspåvirkete fremmedvannsavrenningen som det blå arealet. Dette er differansen mellom regnværsavrenning og tørrværsavrenning. Nedbørsavrenningen begynner ikke å gjøre seg synlig før det har begynt å komme to millimeter per time med regn. Ved denne nedbørintensiteten begynner det å renne inn i spillvannsrørene og vannføringen øker. Så snart som regnet har gitt seg går også vannføringen tilbake til normalen.



Figur 38: Graf direkte innlekking for nedbørshendelse 22.10.2014-25.09.2014

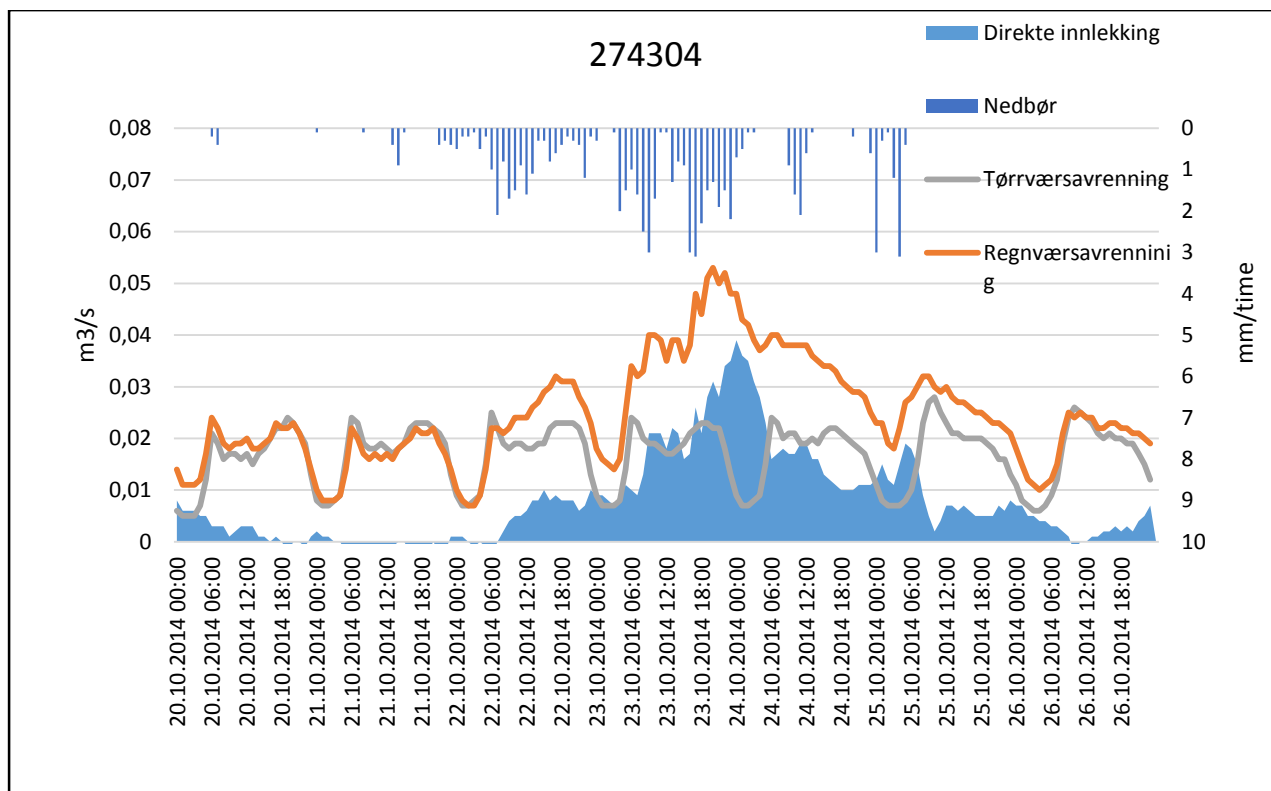
I Figur 39 ses differansen mellom tørrværs- og regnværsavrenningen som det blå arealet. Her også må nedbørsintensiteten være oppi to millimeter pr. time før det gir reaksjon på vannføringskurven. I dette tilfellet finnes det en liten forsinkelse. Denne forsinkelsen er forskjellen mellom topp nedbørsintensitet og topp vannføring og er på en fire til fem timer. Vannføringen holder seg litt

lengre oppe etter regnet har gitt seg, noe som tyder på indirekte nedbørpåvirket avrenning.



Figur 39: Direkte innlekking fra nedbørshendelse 22.10.2014-25.10.2014

For hele delfeltet ses innlekkingen i Figur 40 som det blå arealet. Her også må nedbørsintensiteten oppi to millimeter per time før det forekommer noen avrenning. Også denne har et liten forsinkelse på ca. seks timer fra største nedbørsintensitet til toppen av vannføringskurva. Vannføringen bruker lang tid på å normalisere seg etter at det har sluttet å regne. Dette tyder på mye indirekte nedbørpåvirket fremmedvann, som kan stamme fra feilkoblinger av drensledninger til spillvannsrør eller vann som infiltrerer til spillvannsrøret fra grøfta.



Figur 40: Direkte innlekking fra nedbørshendelse 22.10.2014-24.10.2014

For maksimal innlekking er den spesifikke innlekkingen for de tre delfeltene summert i tabell 16, under. Maksimal direkte innlekking er absolutt størst for hele feltet med 7,6 l/s*km. Kilder kan være feilkoblinger, utette kumløkk, lekkе rørskjøter og kumringer, skjøtforskyvninger eller sprukne rør. Gjennomsnittlig spesifikk innlekking er for hele innlekkingsperioden. For 274119 er det kun beregnet gjennomsnitt fra og med 23.10 til og med 25.10 (tre dager). For kum 274193 er perioden fra 21.10 til og med 27.10 (en uke) og for kum 274304 fra 20.10 tom. 26.10 (en uke).

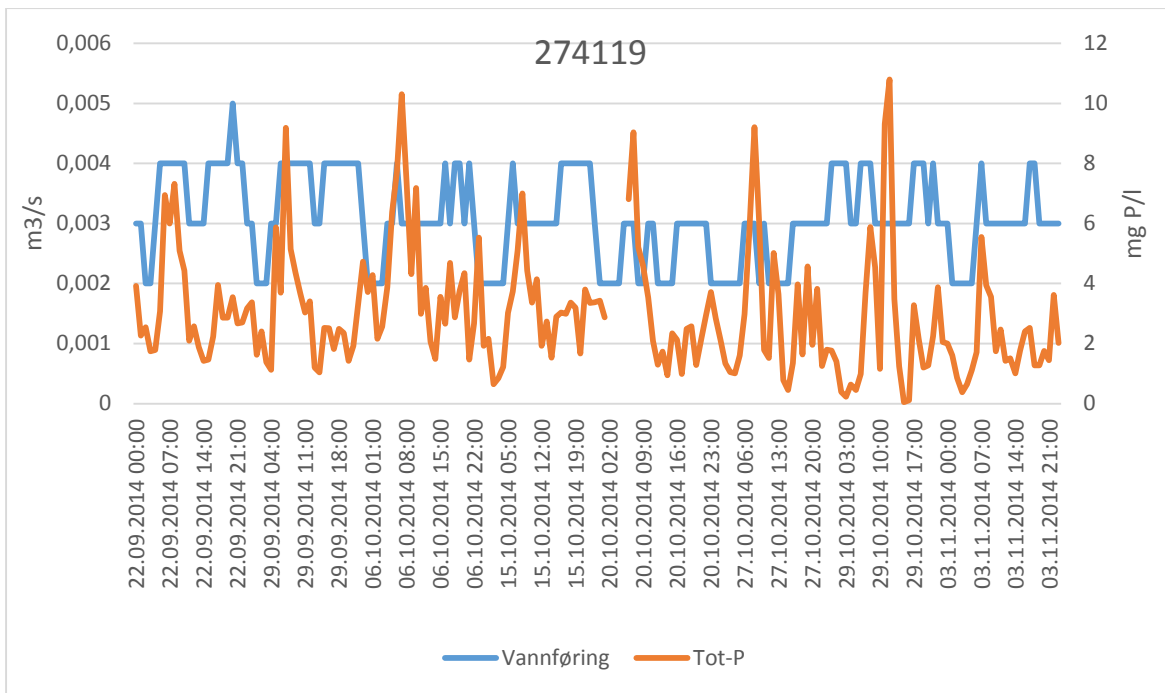
Tabell 16: Maksimal spesifikk innlekking på de tre delfeltene

Delfelt	Maksimal spesifikk innlekking (l/s*km)	Gjennomsnittlig spesifikk innlekking (l/s*km)
SID 274119	5,4	1,6
SID 274193	6,3	0,5
SID 274304	7,6	1,5

3.4.3 Vannføring plottet mot fosforkonsentrasjonen

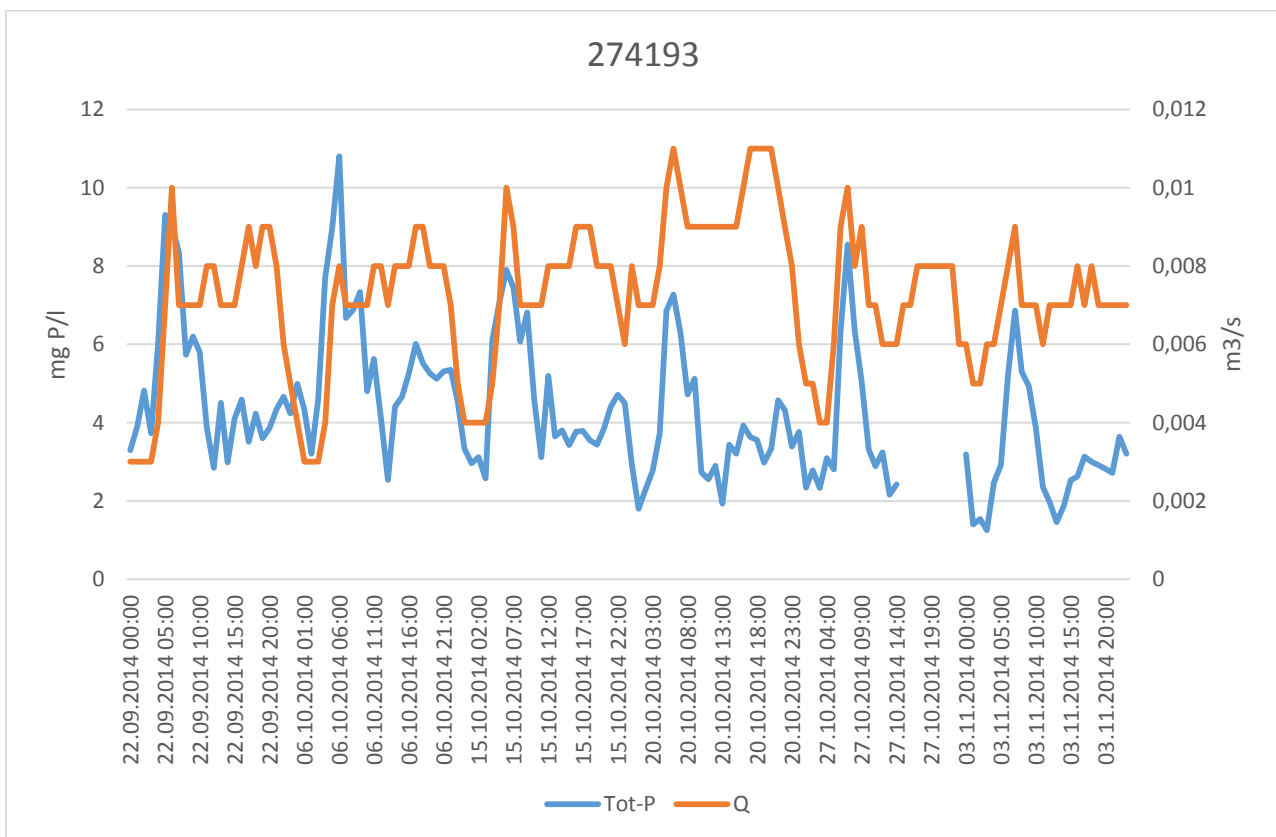
For de tre kummene ble også fosforkonsentrasjonen fra døgnblandprøvene plottet sammen med vannføringen i spillvannsledningen. Det er da ønskelig å se en korrelasjon mellom de to parameterne, ved at fosforkonsentrasjonen synker når vannføringen øker.

I Figur 41 vises korrelasjonen mellom fosforkonsentrasjonen og vannføringen for kum 274119. Man ser hvordan vannføringen øker om morgenen og hvordan da også fosforkonsentrasjonen øker før den faller utover dagen. Vannføringen er gjerne svært konstant utover dagen og har sine topper også på kvelden. Kurven for vannføring har litt dårlig oppløsning fordi dette var det punktet med lavest vannføring og dermed dårligst måleforhold.



Figur 41: Fosforkonsentrasjon og vannføring for kum 274119 fra døgnblandprøver

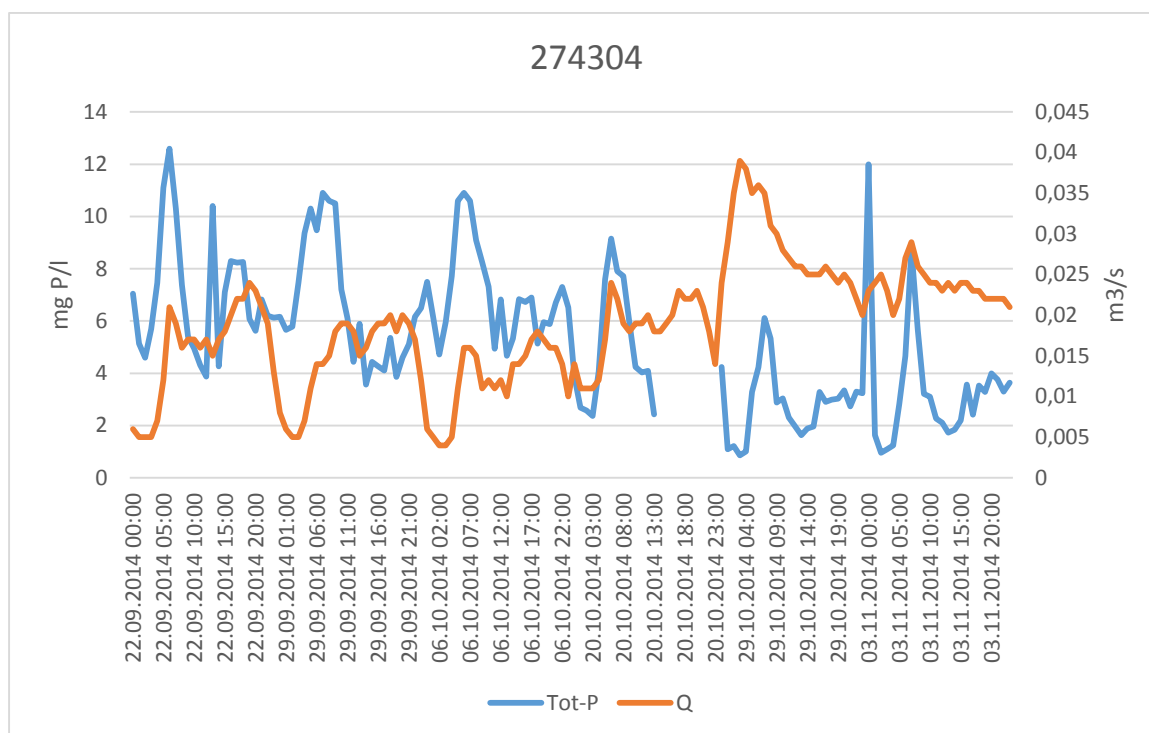
I Figur 42 kan vannføringskurven og fosforkonsentrasjonen for kum 274193 ses. Her er det en bedre korrelasjon mellom vannføring og fosforkonsentrasjonen. Det er også bedre oppløsning på vannføringskurven (Q) noe som har med at det var bedre måleforhold i denne kummen. For 20.10 hvor man finner den høyeste vannføringen er også hvor man finner noen av de laveste fosforkonsentrasjonene.



Figur 42: Fosforkonsentrasjon og vannføring for kum 274193 fra døgnblandprøver

I Figur 43 er vannføringen og fosforkonsentrasjonen for kum 274304 plottet og her er det i

begynnelsen av måleperioden ikke noen god korrelasjon mellom vannføring og konsentrasjon. For den høyeste vannføringen 29.10 er det også lavest fosforkonsentrasjon.



Figur 43: Fosforkonsentrasjon og vannføring for 274304 fra døgnblandprøver

3.4.4 Fremmedvann fra drikkevannsløkkasjer

Ut ifra antallet bosatte og tilreisende kan det spesifikke vannforbruket i de tre ulike delfeltene settes lik tallene i tabell 17 som er vist under. Ut i fra dette spesifikke forbruket er det regnet ut hva lekkasjetapene blir dersom lekkasjeprosenten for området settes til 30% og hvor mye av dette lekkasjetapet som da dreneres til avløpssystemet som fremmedvann dersom denne andelen settes lik 50 % (Ødegaard et al. 2009). Tabellen viser også hva disse innlekkasjemengdene blir i spesifikk innlekking per kilometer rørledning.

Tabell 17: Spesifikt vannforbruk, lekkasjevann og hvor mye som lekker inn i spillvannsnettet som fremmedvann.

Avløps-system	Vannforbruk (l/døgn)			Vann-lekkasjer 30 %	Fremmed-vann 50 %	Spesifikk innlekking l/s*km
	Bosatte	Tilreisende	SUM			
SID 274119	82560	241,5	82801,5	24840	12420	0,20
SID 274193	353120	23092	376211,5	112863	56432	0,29
SID 274304	847360	24239	871598,5	261480	130740	0,30

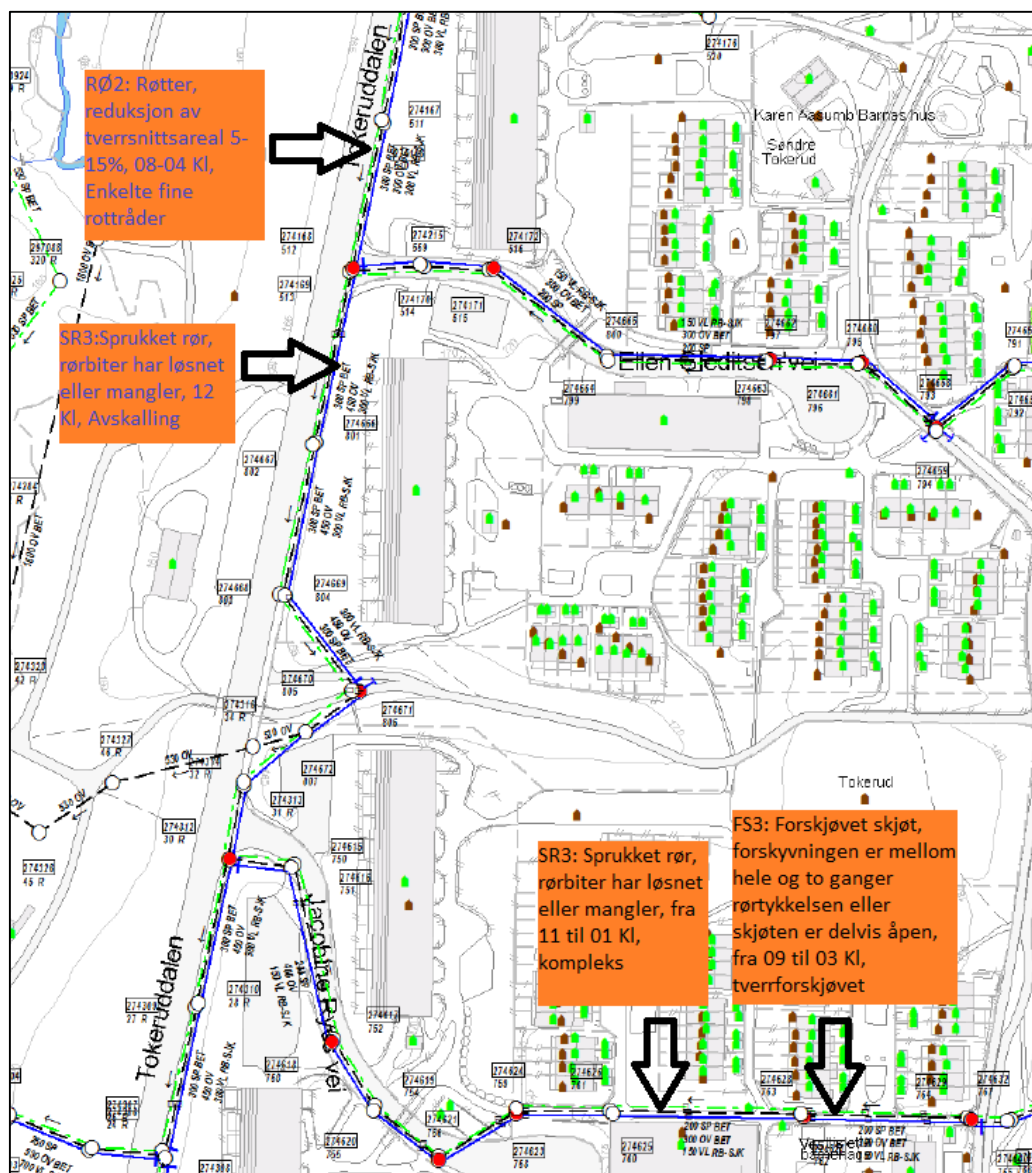
3.5 TV-inspeksjoner

TV-kjøringsrapportene som viser funnene presentert her, ligger vedlagt i vedlegg C.

3.5.1 Tidligere inspeksjoner

Tidligere TV-inspeksjoner foretatt i Tokeruddalen, Jacobine Byes vei og Fossumveien viste blant annet sprukket rør av alvorlig karakter (SR3) i Tokeruddalen. Det var også sprukket rør (SR3) i Jacobine Ryes vei i tillegg til en alvorlig skjøtforskyvning (FS3).

Resultatene er vist i Figur 44 under.



Figur 44: TV-inspeksjon i Tokeruddalen, 2011

3.5.2 Rørinspeksjon foretatt i høst

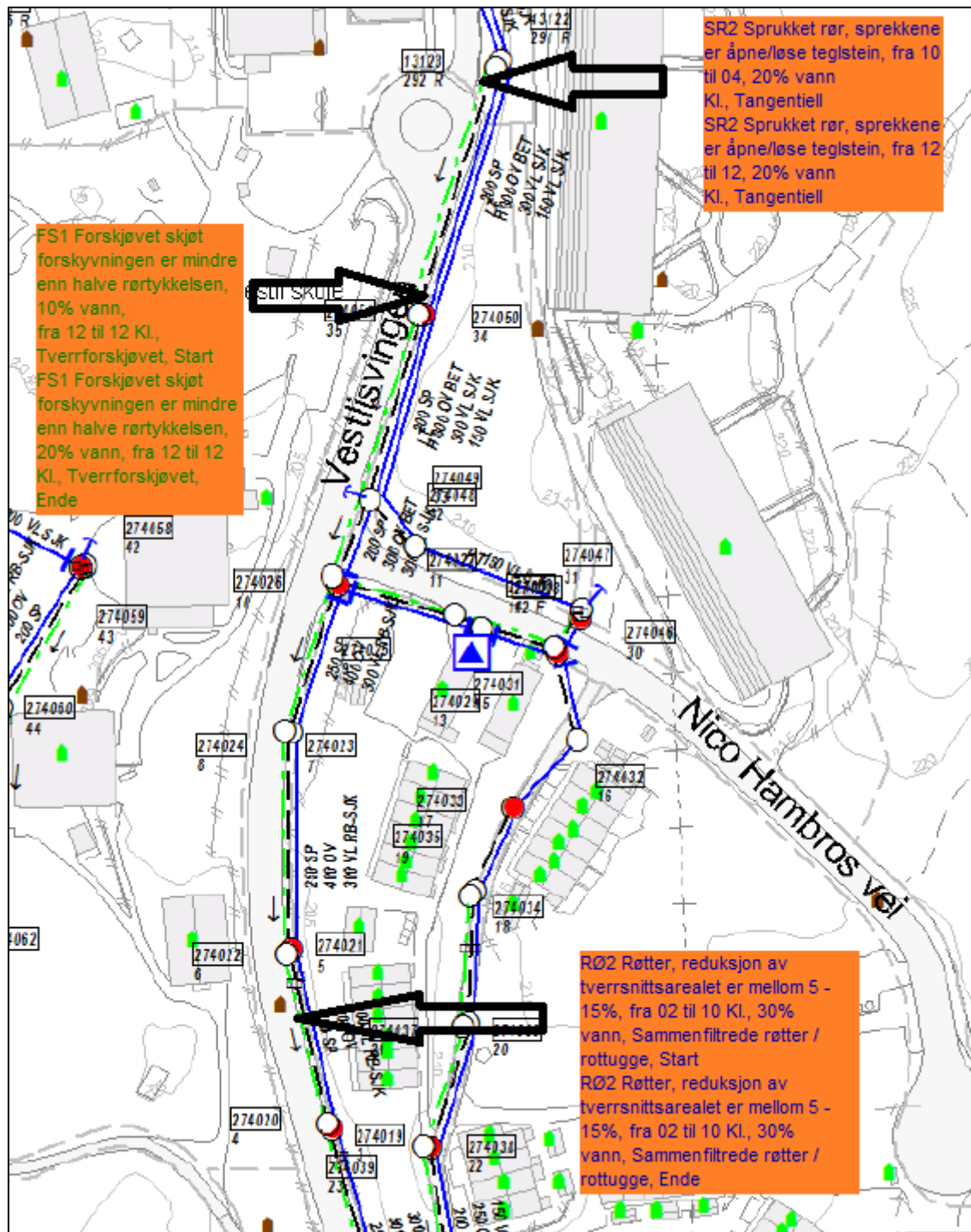
Resultatet fra TV-kjøringen foretatt i november, som vist i Figur 45, viste at det øverst i Vestlisvingen (SID 13123 til 274026) er svært dårlig grunnforhold med store svanker og oppsamling av spillvann. Her vil slam sedimenteres og bli spylt ut ved høy vannføring. Det var også to tilfeller av tverrgående sprekker i røret og to skjøtforskyvninger. Øverst like før kum 13123 var det også en innhugget tilkobling som ikke var registrert i Gemini-VA. Dette kan være en mulig

feilkobling.

Neste strekke hadde også store svanker med høy spillvannstand og sedimentering av grove masser som grus og stein opptil 5-15% av rørets tverrsnittareal. I svankene vil slammet fra spillvannet sedimenteres og spyles ut under større vannføringer.

Lengre nede (SID 274022 til 274020) var det to tilfeller av rotinntrengning og rottugge (sammenfiltrede røtter). Her er det altså hull i røret en plass.

Disse funnene og funnstedene (omtrentlig) er vist i Figur 45 under.



Figur 45: Resultater fra TV-kjøring, Vestlisingen, 13.11.2014

4 Diskusjon

Metoder brukt for å finne fremmedvannsandel og tilføringsgrad burde være i stand til å skille forskjellige fraksjoner av avløpsvannet fra hverandre samtidig som de bør være kostnadseffektive (Bares et al. 2009). Selv om metoden med fortynningsgrad er svært god trenger den likevel vannføringsmålinger ved siden av for å gi noen resultater. Ved hjelp av kun vannføringsmålinger og sammen med nedbørsmålinger vil man kunne skille ut nedbørspåvirket innlekking og infiltrasjon fra grunnvanns- og drikkevannsinnelekking. Dersom man i tillegg har grunnvannsdata og målinger for drikkevannslekkasjer vil man kunne finne de ulike fraksjonene ganske nøye. På den annen side er analyse av fosfor svært nyttig da gjerne for større rensedistrikt som Bekkelaget. Da kan man ut ifra kun fosforanalysen regne ut andel fremmedvann inn til renseanlegget. Dette blir selvfølgelig svært grovt estimat og man finner ikke ulike fraksjoner av fremmedvann.

4.1 Sammendrag av resultater

4.1.1 Fremmedvann og tilføringsgrad i spillvannsnettet

Ut ifra resultatene for gjennomsnittlig fremmedvann fra alle døgn- og ukeblandprøvene, beregning for infiltrasjon av utlekket drikkevann og gjennomsnittlig nedbørspåvirket innlekking viser det at det er en «rest» med fremmedvann som i tabell 18 går under grunnvannsinfiltrasjon. Tabell 18 viser også den gjennomsnittlige tilføringsgraden for de tre delfeltene.

Tabell 18: Sammendrag av mengde fremmedvann og kilder og tilføringsgrad.

SID	Spesifikt fremmedvann	Utlekket drikkevann	Nedbørspåvirket innlekking	Grunnvanninfiltrasjon	Fremmedvann	Tilføringsgrad
	l/s*km	l/s*km	l/s*km	l/s*km	%	%
274119	3	0,20	1,6	1,20	70	98
274193	1,7	0,29	0,5	0,91	56	76
274304	2	0,30	1,5	0,20	47	94

Fremmedvannsinntrengningen er beregnet ut ifra tilført forurensningsmengder, slik at et eventuelt spillvannstap vil gi for lite fremmedvann.

Gjennomsnittlig fremmedvann er gjennomsnittet av fremmedvann for de ukentlige prøvene tatt september til november og viser dermed ikke noe årsgjennomsnitt. Nedbørspåvirket innlekking viser kun gjennomsnittet over en nedbørspåvirket uke. Drikkevannet viser kun antatt lekkasjeprosent på 30%, antatt drikkevannsforbruk på 160 l/p*døgn og en antagelse om at 50% av utlekket drikkevann lekker inn på avløpssystemet.

Ut fra disse tallene vises et grovt estimat på hvor store andeler fremmedvann som kommer fra hvilke kilder. Her er utlekket drikkevann og grunnvannsinfiltrasjon konstante bidrag som ikke er avhengig av nedbør, mens nedbørspåvirket innlekking kun bidrar til å øke andelen fremmedvann når det regner. Siden drikkevanns- og grunnvannsinfiltrasjon er konstante bidrag er det disse to kildene som vil gi mest fremmedvann gjennom et år. Hvor mye er vanskelig å si ut i fra disse tallene da de ikke er representative for et helt år.

Tilføringsgraden for spillvannssystemet er i gjennomsnitt ganske høyt for øverste og nederste kum, mens den for midterste er lavere med 76%. Her ligger barneskolen så dersom det har seg at de spesifikke tallene for skolebarn er feilaktig kan dette være en kilde til feil beregning av antall personenheter på feltet. Det kan også hende at en av sidefeltene til SID 274193 har store defekter som gjør at mye av spillvannet forsvinner til grunnen. Dette kan enten være rundt Inga Bjørnsons

vei, Tokerudberget eller forbi Vestlisvingen barnehage og videre mot Vestli skole.

Under prøvetakningen ble det observert at kum 274193 er svært lekk og at grunnvannstanden rundt denne kummen er høy. Dette skulle da implisere at denne kummen har mye fremmedvann fra konstante tilsig av grunnvann og utlekket drikkevann, noe den også har (56%) men det er også mye som lekker ut av dette delfeltet (76%). Både Inga Bjørnsens vei og Tokerudberget ligger på høyder, noe som kan bety at det er lavere grunnvannsstand der og som kan forklare det store spillvannstapet.

Tidligere TV-kjøringer og rørinspeksjoner fra i høst viste at rørene er i dårlig forfatning med stor korrosjon i rørveggen, sprekker og skjøtforskyvninger i tillegg til store svanker. Dette viser bare nødvendigheten av rehabilitering av spillvannsystemet på Vestli/Tokerud.

4.1.2 Tilføringsgrad fra prøver i overvannsnettet

Tabell 19 viser gjennomsnittlig tilføringsgrad fra de fire prøvene og vannføringsmålingene foretatt i de tre overvannssystemene. Det er ganske høye gjennomsnitt, så det er svært lite av utlekket spillvann som ender i overvannssystemet. Delfelt 274119 og 274193 dreneres til feltet for overvannssystem som ender i kum 274160 og som har gjennomsnittlig 98% tilføringsgrad. Dette kan stemme for det øverste avløpsfeltet som også har 98% tilføringsgrad men ikke for det mellomste som kun har 76% tilføringsgrad i snitt. Det utlekkete spillvannet må derfor ha perkolert videre ned i grunnen eller ha funnet andre veier ut til overflaten, noe som ikke har blitt observert.

Metode for vannføringsmåling som ble benyttet på de to nederste overvannskummene med minst vannføring gir et meget bra resultat da det ikke er noen beregning av selve vannføringen men kun måling av vannføring og tidtaking. For det øverste overvannssystemet som drenerer til 274160 ble det benyttet vannhastighetsmåler hvor vannhastigheten for fire forskjellige punkt ga grunnlaget for å beregne gjennomsnittshastigheten. Dette gir en liten feilkilde på rundt 20% (Øyen 2002).

Tabell 19: Beregnet tilføringsgrad fra prøvetakning i overvannsnettet

SID	274160	274316	274301
Tilføringsgrad %	98	99	99
	99	100	100
	98	99	100
	97	99	99
Gjennomsnitt	98	99	99

4.2 Mulige feilkilder

4.2.1 Døgnblandprøver kontra ukeblandprøver

I sitt debattinnlegg i VANN i 2011 skrev Lasse Vråle at ved analyse av funksjonsdyktighet i et avløpsnett burde ukeblandprøver fremfor døgnblandprøver benyttes da disse gir mindre usikkerhet (Vråle 2011). Ved benyttelse av ukeblandprøve får man jo med prøver for en hel uke og gir så klart et bedre perspektiv, med tanke på ukependling og helgeturer som folk gjerne reiser på. På den annen side får man et bedre overblikk over døgnet med døgnblandprøver med en prøvetakning per time. Da kan man lett se når på døgnet fremmedvannsbidraget er størst. Dette er gjerne på natta. Dette ses ikke så lett i ukeblandprøver men igjen gjelder denne metoden for større rensedistrikt som Bekkelaget Renseanlegg. Da kan man anta at alle bor og jobber innenfor et område og det er dermed lettere å beregne antall personenheter og tilrenning.

4.2.2 Fosforkonsentrasjoner

First flush kan være en grunn til høye fosforkonsentrasjoner under regnvær. Dette kommer av avleiringer av slam fra spillvann i avløpsledningen som under større regnskyll blir vasket ut av de store fremmedvannmengdene som strømmer inn på avløpsnett.

Under TV-kjøringen øverst i Vestlisvingen ble det observert store svanker hvor det var oppstuvning av spillvann. Her vil slammet sedimentere og bli vasket ut når det kommer store vannstrømmer fra fremmedvannsinntrengning. Dette er muligens ikke noe problem videre nedover i feltet hvor det er ganske bra med helning på avløpsrørene. Det er der hvor rørene er lagt med minimal helning fra før at disse svankene vil føre til problemer med oppstuvning.

I en rapport fra 1987 viser Lasse Vråle at de høye fosforkonsentrasjonene inn på enkelte avløpsnett på Romerike under regnvær ikke skyldes first flush som først antatt men utvasking av løst fosfor fra leira i jordsmonnet rundt avløpsnett. Denne fosforen blir vasket ut på grunn av jordsnuing og annen jordbearbeiding i landbruket (Vråle 1987a).

Under prøvetakningen ble det under regntunge perioder observert mye grums i timeprøvene, som leire og sand. Dette kan være omfyllingsmasser fra grøftene som blir vasket inn i avløpsledningen når vannet dreneres inn i rørene. Dette kan være et potensielt stort problem som vil kunne føre til at veidekket sprekker opp grunnet setninger i grunnen. Det vil også kunne oppstå ytterligere setninger på rørene slik at sprekker og skjøtforskyvninger blir forverret og utvaskingen av masser vil kunne øke.

Grunnet disse to årsakene kan man under fosforanalyse av prøver få en høyere fosforkonsentrasjon enn normalt. Dette vises i Figur 33 hvor fosforkonsentrasjon og nedbør er plottet sammen. Her ses en veldig svingning for fosforkonsentrasjonen avhengig av nedbørsmengder. For den største nedbørsmengden kan det ses en oppsving i fosforkonsentrasjonen for både den nederste og midterste prøvetakningskummen. Dette skyldes mest sannsynlig enten first flush eller utvasking av fyllmasser og gir et for lite estimat av fremmedvannandel.

4.2.3 Årlige variasjoner

Drikkevannsforbruket og dermed lekkasjene vil endre seg fra årstid til årstid. På sommeren vil folk bruke mer vann ute til hagevanning og bilvask og dermed er forbruket høyere (Lindholm, O. et al. 2012). Denne variasjonen i forbruk fører til variasjon i trykket på vannforsyningsledningen. Lasse Vråle viste i en SFT-rapport fra 1993 at avløpsmengdene var avhengig av trykket på drikkevannsledningen. Jo mindre trykk på vannledningen jo mindre fremmedvannsmengde (Vråle 1993). På den annen side har det blitt hevdet at vannforbruket er høyere i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret. Disse resultatene kommer fra Sydslogen-undersøkelsene foretatt av Lasse Vråle 1981-83 (Vråle 2011).

Grunnvannstanden endrer seg ved at den er svært lav om våren og høyere på høsten slik at det vil være mer grunnvannsinfiltrasjon på høsten. Dette vil føre til et større konstant bidrag av fremmedvann på høsten enn resten av året. Dette vil selvfølgelig variere fra år til år etter variasjoner i været. Grunnvannsdata bør, dersom tilgjengelig, være med i undersøkelser av fremmedvann (Zhang 2005).

Nedbøren som faller vil også endre seg, fra helt tørt om vinteren dersom det er stabile temperaturer under 0°C, til mer regn på våren, korte intense byger på sommeren og mye regn utover høsten. I tillegg har man snøsmelting om våren noe som vil gi en stor innlekking i feilkoblinger og infiltrasjon av smeltevann til avløpssystemet. Dette vil gi større nedbørsbetinget fremmedvann om våren og om høsten, sammenlignet med de relativt tørre periodene på vinteren og sommeren.

I dette tilfellet var oktober våtere enn normalt for Østlandet. Meteorologisk institutt kunne melde om to til tre ganger mer nedbør enn normalt i 2014 (Rømmetveit 2014). Dette vil si at den nedbørsbetingete inntrengningen av fremmedvann var ekstra høy i oktober når mesteparten av målingene og prøvene ble tatt og det kan også ses ut ifra målingene fra oktober sammenlignet med september hvor vannføringen var mye lavere for alle tre målepunkt. Dette kan ses i Figur 34 i resultatkapittelet.

4.2.4 Spesifikke tall

I denne undersøkelsen ble det valgt å bruke forurensningsbidrag på $1,6 \text{ g}^*\text{P-tot/p}^*\text{døgn}$ med pendlertap. I sin rapport fra 1987 viste Lasse Vråle at ut ifra Sydskogen-undersøkelsene i 1981/1982 var datidens spesifikke tall for høye og foreslo nye spesifikke tall på $1,8 \text{ g/p}^*\text{døgn}$ fosforproduksjon med pendlertap (Vråle 1987b). I en SFT-rapport fra 1996 ble det foreslått å bruke $1,37 \text{ g/p}^*\text{døgn}$ for forurensningsproduksjon fra boliger (Mosevoll et al. 1996). I dag er det mest vanlige å enten bruke $1,8 \text{ g}^*\text{P/p}^*\text{døgn}$ eller $1,6 \text{ g}^*\text{P/p}^*\text{døgn}$. Ved å benytte seg av $1,6$ fremfor $1,8$ ville et eventuelt fremmedvannandel ikke bli overestimert men heller underestimert. Siden $1,6$ er mye høyere enn tall foreslått brukt i SFT sin rapport i 96 vil beregningen av fremmedvann være høyere enn i realiteten.

Barnehagebarn er valgt ut ifra Lasse Vråles rapport, og satt til å tilsvare $0,17 \text{ g/p}^*\text{døgn}$. Her er det også en del bleiebarn som ikke vil gi noen forurensningstilførsel. Barneskolebarn er satt til $0,4 \text{ g}^*\text{P/p}^*\text{døgn}$ og heltidsansatte er satt til $0,6$.

Vannforbruket i husholdningen brukt av Oslo kommune er $160 \text{ l/p}^*\text{døgn}$. Avløpsproduksjonen er satt til å være likt vannforbruket, noe som ikke er ulogisk for dette tilfellet da det er mye blokkbebyggelse med lite hagevanning og bilvask. Alt vannet brukt i en husholdning blir sendt til avløpsnett og ikke infiltrert ned i grunnen eller ledet til overvannssystemet gjennom gatesluk o.l.

Ved valg av spesifikke tall er det mange parametere å ta hensyn til og dette er verdier som aldri vil bli helt korrekte men er heller en tilnærming til virkeligheten. Det er ikke gjort undersøkelser på hvor mange som er hjemmeværende i dette boligområdet eller hvor mange av barna som blir sendt i barnehage. Her er det dermed en god mulighet for at de spesifikke tallene valgt er feil å bruke.

For ukeblandprøver og den ene døgnblandprøven tatt 29.09 i høstferien, er de spesifikke tallene heller vage. Under helg vil det ikke være like mange på jobb og barnehage- og skolebarn vil være hjemme. De fleste barna hører nok til i området, men det er sikkert noen som pendler til området. Under høstferieuka 29.09 til 03.10 var trolig barneskolen stengt og flere familier bortreist. Dette er det svært vanskelig å gjette hvor mange dette gjelder. Da må man i så fall gå nærmere inn og studere hvordan folk som bor i feltet lever.

Beregning av tilføringsgrad er også avhengig av hvor mange personer som bor og oppholder seg i området.

På den annen side vil valg av de spesifikke tallene ha mindre å si for et større utvalg enn for et mindre, så eventuelle feil vil være større for det øverste måle-/prøvepunktet enn for det nederste.

4.2.5 Tilføringsgrad

Resultatene fra fosforanalyser av prøver fra spillvannet og overvannet viste stor forskjell i tilføringsgrad. Nå er ikke verdiene fra disse to systemene direkte sammenlignbare da de omfatter forskjellige boligområder og institusjoner men de kan gi en pekepinn på hva man kan forvente.

Grunnene til at tilføringsgraden er så mye høyere for overvannssystemet enn for spillvannssystemet

(i enkelte tilfeller) er flerfoldige. Den ene enkle grunnen er at mesteparten av spillvannet som lekker ut ikke ender i overvannsrøret men perkolerer nedover i grunnen til grunnvannet.

En av grunnene til lav fosforkonsentrasjon i OV-ledningene kan være at noe av fosforen blir adsorbent til partikler i løsmassene mellom spillvannsrøret og overvannsrøret (Rutsch et al. 2008). Det kunne dermed vært mer hensiktsmessig å teste eksfiltrasjonen med en annen faktor.

En annen grunn kan være at fyllmassene kan være tett leire mellom spillvannsledningen og overvannsledningen. Dermed vil utlekket spillvann renne nedover parallelt med det tette dekket helt til det kan renne ut på overflaten i enden av en bakke eller det kommer til et utett sjikt og kan perkolere ned i grunnen der.

I enkelte tilfeller var det også svært høye tilføringsgrader for prøver tatt i spillvannsledningen. Dette kan skyldes at røret er helt tett, noe som er lite sannsynlig. For tilfellene hvor tilføringsgraden ble beregnet til å være over 100% kan det ha oppholdt seg flere folk der enn som er registrert, eller det kan ha forekommet et tilfelle av first flush eller utvasking av fyllmasser.

4.2.6 Vannføringsberegninger

Vannføringene er beregnet ut ifra loggført vannhastighet og vannivå. Dette krever et visst vannivå som er målbart. I kum 274119 hvor vannføringen ikke var stort større enn 2-5 l/s var vannivået under 2 cm, noe som gjorde vannivåmålingene litt usikre. Dette kan ses ut ifra vannføringsgrafene som ikke har en like høy oppløsning som grafene fra de to andre kummene. Vannføringen i 274119 er svært stabil, noe som mest sannsynlig ikke er tilfellet for et så lite felt. Det vil være svært følsomt for endringer i vannføringen. Det kan også hende at det er en svært stabil av fremmedvann inn dit, slik som prøveresultatene viser, noe som kan forklare den svært stabile vannstrømmen.

Dersom det er kort tid mellom regnfallene (mindre enn en uke), vil regn fra forrige nedbørsepisode som har perkolert ned i grøfta, gi utslag på avrenningsmålingene ved neste nedbørshendelse (Zhang 2005). Dette har nok skjedd mye i denne undersøkelsen da det regnet tett i oktober måned, slik at vannet i grøfta fra et regnfall, ikke rakk å drenere ut før neste regnfall.

4.3 Er fremmedvann et problem eller ikke?

Fremmedvann tar opp kapasitet i avløpsnett og på renseanleggene, øker pumpekostnader, nødoverløp i pumpestasjoner og overløp i fellesavløpssystemer, frakter med seg forurensinger ut av renseanlegg og fører til økte kostnader til drift og investeringer (Lindholm 2012). Det er først og fremst det rene fremmedvannet som er uønsket i avløpssystemene men også fremmedvann sterkt forurenset av tungmetaller og miljøgifter er svært uheldig å få inn på renseanleggene på grunn av biologiske prosesser. Biologiske prosesser er også svært følsomme for temperaturendringer. Innlekking av smeltevann om våren er derfor også uønsket på avløpsrenseanlegg (Vråle 1993).

Et velholdt avløpssystem er viktig for effektiv transport av spillvann til renseanlegg (Shelton et al. 2011). I et avløpssystem med høy andel av fremmedvann og lekkasje, blir avløpstransporten en ineffektiv og kostbar affære med mye forurensingstap til miljøet.

4.3.1 Nedbørsrelatert fremmedvann

Regnvann og takvann bør behandles på overflaten og transporteres åpent til nærmeste resipient (Vråle 1993). Det er det rene fremmedvannet som er et problem. Dette vannet skulle ikke vært lagt til rørsystemet i det hele tatt. Et hustak på 100 m² vil ha en årlig avrenning på 60 m³ dersom den årlige nedbørsmengden er 600 mm (Bäckman 1985).

Kontroll og reduksjon av fremmedvann er direkte relatert til effektiv kontroll av overløp (Crawford et al. 1999). Bortsett fra kapasitetsbegrensninger er fremmedvann et større problem for fellesavløpssystemer enn for rene spillvannssystemer. Likevel ender ofte nyere spillvannssystemer i et fellesavløpssystem og dersom det er mye fremmedvann med spillvannet fra separatsystemet, vil det føre med seg problemer med overløp til fellessystemet.

Ved store regnskyll som fører til store vannføringstopper i avløpssystemet vil man også kunne få kjelleroppstuvninger. Kapasiteten på røret blir sprengt og avløpsvann vil presses oppover i kummer og stikkledninger. Kun i få tilfeller der kapasitetsproblemene er kjent og dokumentert, er det installert tilbakeslagsventil (Thingnes 2014).

4.3.2 Konstante bidrag

Infiltrasjon av grunnvann er et stort problem. Det fører til store fremmedvannmengder over tid og kan også føre til at rørene fort blir gamle og utslitte som følge av at fyllmasser blir skylt vekk rundt rørene og annen infrastruktur (Karpf & Krebs 2011).

Utlekket drikkevann som havner i avløpsledningen (50% ut ifra målinger) vil påføre samfunnet dobbelt kostnad; både gjennom tapt drikkevann og økt avløpsmengde (Ødegaard & Norheim 2012). Dette vil dermed være det bidraget som det vil lønne seg mest å redusere.

4.3.3 Tilføringsgrad

Det er vist i tidligere studier at lav tilføringsgrad har liten virkning på miljøet da mye av det utlekkete spillvannet infiltrerer gjennom masser hvor forurensinger blir adsorbent og fjernet fra vannet som vil perkolere videre ned til grunnvannet. Dette vil dog endre seg over tid ettersom jordsmonnet blir mettet og mister denne renseeffekten. Det kan også oppstå tilstopping på overflaten på grunn av slammet (Rutsch et al. 2008).

Spillvannslekkasjer til grunnvann har ingen lovlige grenser slik som overløp til overflateresipient har (Rutsch et al. 2008). I forurensingsloven (nevnt i innledningskapittelet) står det at ansvarlige (kommunen) skal ha oversikt over eventuelle lekkasjer av betydning men det står ingenting om noen øvre grenser for utslipp før man må sette inn tiltak. Her er det et stort forbedringspotensial, både i loven og i forebygging av forurensing til grunnvann.

4.4 Kilder til fremmedvann

4.4.1 Dårlige grunnforhold og hastig anleggsarbeid

Tokeruddalen, som er bygd på en gammel søppelfylling, med tilkjørte masser fra andre gravearbeider, har svært dårlige grunnforhold. Dette gir lett setninger på rør og kummer, noe som fører til utette overganger mellom rør og kummer og rørskjøter som glir fra hverandre. Med den hastige utbyggingen av drabantbyene rundt Oslo på 60- og 70-tallet, ble kummene bygd ut ifra prinsippskisser, noe som gjør kummene ikke tilpasset terreng og andre lokale forhold. Noen av kummene kan dermed være lekk, som kum 274193. Begge disse forholdene er kilder til utette avløpssystem og dermed både fremmedvannsinntak og spillvannstap.

I en tysk undersøkelse fra 2011 ble det vist hvor essensiell virkning alderen til rørene hadde på infiltrasjonen av grunnvann (Karpf & Krebs 2011). I etterkrigstiden var betongkvaliteten dårlig og selv om gummipakningen kom i 1972 ble ikke pakningene gode før på 80-tallet. Røranlegg lagt på 50-, 60- og 70-tallet har dermed en større antatt fremmedvanninntrengning enn rør lagt før eller etter.

4.4.2 Private stikkledninger

Private stikkledninger er gjerne lagt på samme tid som hovedledningen og har dermed samme forfatning som de kommunale ledningene. Disse er gjerne ikke skiftet ut og det er heller ikke praksis å skifte ut private stikkledninger når hovedledninger rehabiliteres. Stavanger kommune har begynt med kommunal overtakelse av private stikkledninger, noe som fører ansvaret for lekkende stikkledning fra forbruker til kommune (Oslo kommune 2013b).

De private stikkledningsnetter i Oslo er like langt som det kommunale nettet. Dersom man regner med lengden private stikkledningen vil man kunne få langt lavere spesifikk innlekking av fremmedvann enn ved kun å regne med kommunens ledninger.

På Vestli og Tokerud er mye av bosetningen i blokker og rekkehus, noe som kan gi en litt lavere andel av lengde på stikkledninger enn dersom det hadde vært et felt med kun eneboliger.

4.4.3 Konstante bidrag

Å skille det nedbørbetingete innlekkingsvannet fra annen infiltrasjon har vist seg å ikke være altfor vanskelig. Det er verre å skille de konstante bidragene fra hverandre, som utlekket drikkevann fra grunnvannsinfiltrasjon.

Dersom det er et stort grunnvannstilsig i området med et høyt grunnvannsspeil, vil dette føre til et større bidrag av konstant grunnvannsinfiltrasjon enn i andre områder. Dette vil også kunne variere, som nevnt tidligere, over året.

Utlekket drikkevann er et stort problem i Norge og målinger viser at hele 50% av utlekket drikkevann finner veien til avløpsledningen som ligger under drikkevannsledningen i samme grøft.

4.4.4 Feilkoblinger

Feilkoblinger er svært vanlig i VA-Norge. I slike tilfeller har rørleggeren lagt drens-, tak- og overvannsstikk til spillvannsledningen og spillvannsstikket til overvannsledningen. Slike tilfeller er dermed dobbelt uheldige ved at man får både mye fremmedvann inn på spillvannsledningen og spillvann på overvannsledningen. Dette er nok ikke tilfelle på Vestli/Tokerud da stikkprøver i overvannet viste en høy tilføringsgrad.

4.5 Eventuelle tiltak

Det er ønskelig med en så høy tilføringsgrad og en så lav fremmedvannsandel som mulig. I sitt brev til fylkesmannen i Oslo og Akershus, anbefaler Oddvar Lindholm at for rørstrekninger med en spesifikk infiltrasjonsmengde på over 0,4 l/s*km bør det settes inn en innsats for å redusere denne mengden (Lindholm 2011). For alle tre delfeltene i denne undersøkelsen ligger drikkevann- og grunnvannsinfiltrasjon over denne grensen.

Dersom det er foretatt undersøkelser på fremmedvannsinntaket før eventuelle tiltak har blitt utført og man ønsker å finne oppnådd effekt på tiltaket, bør undersøkelser gjøres i samme tidsperiode, på samme tid av året, som tidligere studie (Zhang 2005).

4.5.1 Rørrehabilitering

For Oslo kommune lønner det seg å utvide Bekkelaget renseanlegg fremfor å fornye rørsystemet (Olsen 2014). Rehabilitering av avløpssystemer for å redusere fremmedvann er både svært dyrt og virkningsgraden usikker. Ingeniører trenger sikre kilder for at tiltak har vist seg suksessfulle (Staufer et al. 2012).

I en studie fra Sveits klarte forskerne å vise til 23,9 reduksjon av infiltrasjon ved rehabilitering av et rørsystem sammen med drenering av bakkesiden. Reduksjonen av innlekkasjer og infiltrasjon fra nedbørhendelser viste seg ikke sikre da det er et svært lite årlig volum fra regn som ender i avløpssystemene som fremmedvann (Staufer et al. 2012).

I samme studie pekte de på at dersom rørrehabilitering reduserte spillvannstap, så ville dette tapet også bli redusert slik at den totale vannføringen eventuelt ikke ville minke så mye selv om fremmedvannsføringen ble redusert (Staufer et al. 2012). Det kan dermed sies at rørrehabilitering går hånd-i-hånd med både fremmedvannsinntak og tilførringsgrad.

Rørrehabilitering kan gjøres ved hjelp av no-dig-metoder, noe som ikke gir mulighet til å skifte ut fyllmasser dersom disse er dårlige, som i tilfellet med Vestli og Tokerud.

4.5.2 Lokal overvannsdiskonering (LOD)

Overvann som renner av på overflaten, ender enten ned i gatesluk eller feilkoblinger til avløpssystemet. Det kan også perkolere ned i grøfta og lekke inn i utette rørskjøter eller kumringer. Dette bør unngås og kan det gjøres ved lokal overvannsdiskonering hvor overflatevannet blir samlet opp og fordrøyd på overflaten og enten ledet til nærmeste resipient eller infiltrert til grunnen. Dersom det skal infiltreres bør dette gjøres i god avstand fra eventuelle grøfter med avløpsledninger i.

4.5.3 Senkning av grunnvannstand

Dersom den konstante innlekkingen er stor, som i dette tilfellet kan man vurdere å drenere grøfta. Dette kan gjøres ved å legge en drensledning ved siden av avløpsledningen (Lindholm 2011). Det er da viktig å sørge for tette spillvannsledninger for å ha så høy tilførringsgrad som mulig og hindre at man får spillvannstap til drensledningen, hvis ikke vil man måtte rense drensvannet før det slippes ut til resipient.

Dersom man legger drensledning vil man risikere å kunne få setninger som en følge av at vannet blir drenert ut av jordsmonnet. Setninger ville kunne skade annen infrastruktur som vannledninger, veier og bygninger. Dersom drensledninger blir lagt er det viktig med gode fyllmasser som frakter vann effektivt ned til drensledningen og i tillegg ikke får setninger når vannet forsvinner fra porene.

4.5.4 Separering av avløpssystem

Dersom det er fellesavløpssystem bør man vurdere å separere overvannet fra spillvannet. Dette er ikke relevant for denne undersøkelsen. I området hvor et eldre fellessystem skal legges om til separatsystem er det viktig å sørge for at det ikke blir gjort noen feilkoblinger, at det blir brukt gode, drenerende fyllmasser og at grunnvannsstanden blir holdt under spillvannsledningen ved å f.eks. legge en drensledning ved siden av SP-ledningen. Oslo kommune har også sett gode resultater fra et separatsystem på Holmlia hvor spillvannsledningen er lagt med PVC-rør med gummimuffer (Oslo kommune 2013a).

4.5.5 Retting av feilkoblinger

Feilkoblinger fører til direkte nedbørsbetiget innlekking. Dette kan igjen føre til overløp fra fellessystem og nødoverløp i pumpestasjoner under regnbyger av stor intensitet. Feilkoblinger bør finnes og rettes. Å finne disse kan gjøres ved TV-kjøring, ved tilsetning av sporstoff eller ved bruk av røyktester (Lindholm 2011).

4.5.6 Tetting av drikkevannslekkasjer

Tetting av drikkevannslekkasjer vil være det tiltaket som vil lønne seg mest da drikkevann som lekker inn på avløpsledningen påfører samfunnet dobbel kostnad. Dette er også et felt som Oslo kommune har satt stort fokus på i de senere år på grunn av stor befolkningsvekst og begrensede vannressurser.

5 Konklusjon

Selv om avløpssystemet på Vestli/Tokerud er et rent separatsystem kommer det store mengder fremmedvann inn på systemet. Bidragene kommer både fra utlekket drikkevann (konstante bidrag), gjennom utette rørskjøter, fra feilkoblinger og innlekkinger fra utette kumringer og -lokk samt sprekker og andre defekter på spillvannsledningen. Øverst i feltet er den konstante tilrenningen fra grunnvann eller andre kilder størst mens det for hele feltet sett under ett er de nedbørspåvirkete tilrenningene som er størst.

Tiltak som å drenere grøftene for grunnvann og drikkevann kan være effektive på øvre del av feltet, mens det for nedre del av feltet bør settes inn tiltak for å finne feilkoblinger og direkte innlekkinger og få rettet opp eller tettet disse. Man kan eventuelt strømpekjøre spillvannsledningene for å hindre inn- og utlekking som et midlertidig tiltak.

Utlekking bør unngås da det er uvisst hvor dette spillvannstapet ender og hvilke miljøpåvirkninger slike forurensningstap vil få. Dette bør det også settes større fokus på i lovverket.

Separatsystem lagt på 60- og 70-tallet i Tokeruddalen er i dårlig stand som følge av rask utbygging, dårlige grunnforhold, uegnede fyllmaterialer og dårlige betongrør og gummipakninger. Det bør derfor settes fokus på lignende anlegg rundt i Oslo, som mistenkes å kunne ha samme problematikk, ved å utføre målinger og vurdere om det bør settes inn tiltak der.

5.1 Forslag til videre studier

Her er noen forslag til videre studier som kan utføres av andre mastergradsstudenter.

5.1.1 Grunnvannsinfiltrasjon

En ideell dataserie for måling av vannføring burde vare i tre til seks måneder, med minst fem eller seks regneperioder som klart økte vannføringen i spillvannsledningen (Zhang 2005). Måleserien for denne undersøkelsen ble på rundt to måneder, så det kan være interessant å utvide denne dataserien med målinger og prøver fra våren.

Disse målingene vil kunne gi svar på hvor mye grunnvann som lekker inn på høsten kontra våren, noe som det ikke er funnet grunnlag for i denne oppgaven. Dette fordi grunnvannsstanden er antatt lavere på våren enn på høsten etter en kald vinter med tele i bakken.

5.1.2 Utvasking av fyllmasser

Ettersom det forekom høye verdier av fosfor selv under regnvær og med høye vannføringer, kunne det vært interessant å finne ut av om disse høye konsentrasjonene skyldes first flush eller utvasking av fyllmasser. En slik undersøkelse kan gjøres gjennom vannføringsmålinger og prøvetakninger som her men prøvene kan testes for enten aluminium- (Vråle 1987b) eller litium-konsentrasjoner (Lindholm 2014). Det kan da også diskuteres om fosformålinger i avløpet er en tilstrekkelig metode for å finne fremmedvannsinntrengning.

6 Kilder

- ADS Environmental Services. (2014). *FlowShark Triton*. Huntsville, AL: ADS Environmental Services. Tilgjengelig fra: <http://www.adsenv.com/products/flowshark-triton> (lest 16.11.2014).
- Align Survey cc. (2014). *Pipe CCTV and profiling*. Tilgjengelig fra: <http://www.alignsurvey.co.za/pipecctv.html> (lest 21.11.2014).
- Bares, V., Stransky, D. & Sykora, P. (2009). Sewer infiltration/inflow: long-term monitoring based on diurnal variation of pollutant mass flux. *Water Science and Technology*, 60 (1): 1-7.
- Brennhovd, B. (2014). Målt og modellert avrenning. Analyse av ledningsnett og urbanstasjon på Vestli i Oslo. Ås: NMBU.
- Bäckman, H. (1985). *Infiltration/inflow in separate sewer systems: some aspects on sources and a methodology for localization and quantification of infiltration into sanitary sewers caused by leaking storm sewers*, b. 6. Göteborg: School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers tekniska högskola. 1 b. (flere pag.) : ill. s.
- Bäckman, H., Hellström, B. G., Jaryd, A. & Jonsson, Å. (1997). Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem. I: VA-FORSK (red.). *VA-FORSK RAPPORT*. Stockholm: VAV AB.
- Commonwealth of Massachusetts. (1993). *Guidelines for Performing Infiltration/Inflow Analyses and Sewer System Evaluation Survey*. Department of Environmental Protection. Boston: Executive Office of Environmental Affairs.
- Crawford, D., Eckley, P. & Pier, E. (1999). *Methods for estimating inflow and infiltration into sanitary sewers*. New Applications in Modeling Urban Water Systems, Monograph 7, b. 7. Gulph: Computational Hydraulics International. 299-315 s.
- Fredriksen, C. B. (2014). Rapport - Analyse av vann. Oslo: ALS Laboratory Group Norway AS.
- Godt Vann Drammensregionen. (2009). Felles hovedplan for vannforsyning, Drammensregionen. Faktabok basert på 2007-data. Drammen.
- Jantsch, T. G., Lindholm, O., Hult, F. & Strand, K. R. (2006). Forekomst av organiske miljøgifter i overvann. *VANN*, 1-2006: 305-319.
- Johansen, T. A. (2001). *Under byens gater: Oslos vann- og avløpshistorie*. Oslo: Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. 263 s. : ill. ; 29 cm s.
- Johansen, T. A. & Kollhøj, J. P. (2004). *Det viktige vannet: norsk vann- og avløpshistorie*. [Oslo]: Interconsult ASA. 271 s. : ill. ; 28 cm s.
- Karpf, C. & Krebs, P. (2011). Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. *Water Research*, 45 (10): 3129-3136.
- Lindholm, O. (2011). *Fremmedvann i kommunale avløpssystemer*. Brev til Fylkesmannen i Oslo og Akershus.
- Lindholm, O. (2012). *Fremmedvann i avløpsnettet*. Ås: Institutt for Matematiske realfag og Teknologi ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. *Norsk Vann Rapport*. Hamar: Norsk Vann BA. 53 (122) s.
- Lindholm, O. (2014). *Personlig meddelelse*.
- Lindholm, O. G. & Bjerkholt, J. T. (2011). Store fremmedvannmengder i norske avløpsrenseanlegg. *VANN*, 46 (1): 5-11.
- Lindholm, O. G., Bjerkholt, J. T. & Lien, O. (2012). Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett. *VANN*, 1: 11.
- Liptak, T. (2014). *Leggeteknikker brukt på Vestli-utbyggingen på 70-tallet*. Oslo: VAV (4.11.2014).
- Lund, J. M. (2014). *Folkemengde i Oslo og fordeling av vannproduksjon og forbrukerkategorier og lekkasjetap i perioden 2000-2013*. VAV.
- Miljødepartementet. (2005). *Forurensingsloven*: Lovdata.
- Mosevoll, G., Andreassen, L. & Jacobsen, J. (1996). Forurensningsregnskap for avløpssektoren.

- Oslo: Statens forurensningstilsyn.
- Målegruppa avløp. (2014). *Prinsippskisse måleutstyr med sensorer*. Oslo: Vann- og avløpsetaten.
- Målegruppe avløp. (2014). *Casella*. Oslo: Vann- og avløpsetaten.
- NGU. (2014). *Løsmassekart*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (lest 31.10.2014).
- Nilo, S. (2014). *Personlig meddelelse* (30.10.2014).
- NIVUS GmbH. (2014). *PCM 4*. Eppingen, Tyskland: NIVUS GmbH. Tilgjengelig fra: <https://www.nivus.com/products/flow-measurement/polluted-media/transmitters/pcm-4-transmitter> (lest 16.11.2014).
- Olsen, M. (2014). *Fremmedvann*. Oslo: VAV.
- Oslo kommune. (2013a). *Delrapport 7 - Fremmedvann i Oslo*. Oslo: Vann- og avløpsetaten.
- Oslo kommune. (2013b). *Hovedplan avløp og vannmiljø*. Vann- og avløpsetaten. Oslo.
- Robosnap. (2014). *Inspection Cameras*: robosnap.com.au. Tilgjengelig fra: http://www.gopixpic.com/338/inspection-cameras/http://robosnap.com.au/ccdata/images/smallMain_8_18*.png/ (lest 21.11.2014).
- Rommetveit, A. (2014). *Også oktober var mild*: NRK. Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/nyheter/1.12022298> (lest 03.11.2014).
- Rutsch, M., Rieckermann, J., Cullmann, J., Ellis, J. B., Vollertsen, J. & Krebs, P. (2008). Towards a better understanding of sewer exfiltration. *Water Research*, 42 (10–11): 2385-2394.
- Shelton, J. M., Kim, L., Fang, J. S., Ray, C. & Yan, T. (2011). Assessing the Severity of Rainfall-Derived Infiltration and Inflow and Sewer Deterioration Based on the Flux Stability of Sewage Markers. *Environmental Science & Technology*, 45 (20): 8683-8690.
- Stauffer, P., Scheidegger, A. & Rieckermann, J. (2012). Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow. *Water Research*, 46 (16): 5185-5196.
- Teledyne Isco. (2014). *3700C Compact Portable Sampler*. Lincoln (lest 05.12.2014).
- Thingnes, K. A. B. (2014). *Tilbakeslagsventiler*. Oslo (09.12.2014).
- Torres, M. F. (2013). *Fremmedvann i Oslo kommune: evaluering av fremmedvannets volum, kilder og sammenheng med målbare egenskaper til avløpsnett*. Ås: [M.F. Torres]. 116 s. s.
- Vråle, L. (1987a). *Forurensnings-inntak via fremmedvann i avløpsnett*, b. 2050. Oslo: NIVA. 63 s. : ill. s.
- Vråle, L. (1987b). *Forurensningsmodell for avløpsvann fra boliger: bestemmelse av spesifikke tall*, b. 2030. Oslo: NIVA. 1 b. (flere pag.) : diagr. s.
- Vråle, L. (1988). *Sjøvann som hjelpekoagulant ved kjemisk rensing av avløpsvann*, b. 79/88. [Trondheim]: Programmet. VI, 80 s. : ill. s.
- Vråle, L. (1993). *Konsekvenser av inntak av fremmedvann i avløpsledninger*, b. 93:09. Oslo: Statens forurensningstilsyn. 58 s. : ill. s.
- Vråle, L. (2011). *Fremmedvann - Et stort problem for norske ledningsnett og renselanlegg*. VANN, 03: 408-418.
- Zhang, Z. (2005). Flow data, inflow/infiltration ratio, and autoregressive error models. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 131 (3): 343-349.
- Ødegaard, H., Rusten, B., Storhaug, R. & Paulsrud, B. (2009). *Veiledning for dimensjonering av avløpsrensianlegg*, 168/2009. Hamar: Norsk Vann.
- Ødegaard, H. & Norheim, B. (2012). *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann. 704 s. : ill. s.
- Øyen, E. (2002). *Metoder og rutiner i målefunksjonen: Hastighet-areal metoden*. Upublisert manuskript.

7 Vedlegg

Vedlegg A Resultater fra prøvetakning

Tabell 20: Timesdata Tot-P, Q og mengde P, 22.09.2014

Dato og time	274119			274193			274302		
	P-total (mg/l)	Q (m3/s)	P (g/t)	P-total (mg/l)	Q (m3/s)	P (g/t)	P-total (mg/l)	Q (m3/s)	P (g/t)
22.09.2014 00:00	3,92	0,003	42	3,3	0,003	36	7,04	0,006	152
22.09.2014 01:00	2,27	0,003	25	3,91	0,003	42	5,14	0,005	93
22.09.2014 02:00	2,54	0,002	18	4,82	0,003	52	4,6	0,005	83
22.09.2014 03:00	1,74	0,002	13	3,73	0,003	40	5,7	0,005	103
22.09.2014 04:00	1,79	0,003	19	6,02	0,004	87	7,46	0,007	188
22.09.2014 05:00	3,08	0,004	44	9,31	0,007	235	11,1	0,012	480
22.09.2014 06:00	6,95	0,004	100	9,04	0,01	325	12,6	0,021	953
22.09.2014 07:00	6	0,004	86	8,34	0,007	210	10,3	0,019	705
22.09.2014 08:00	7,32	0,004	105	5,73	0,007	144	7,38	0,016	425
22.09.2014 09:00	5,09	0,004	73	6,2	0,007	156	5,41	0,017	331
22.09.2014 10:00	4,43	0,004	64	5,8	0,007	146	4,95	0,017	303
22.09.2014 11:00	2,1	0,003	23	3,88	0,008	112	4,31	0,016	248
22.09.2014 12:00	2,58	0,003	28	2,85	0,008	82	3,87	0,017	237
22.09.2014 13:00	1,88	0,003	20	4,51	0,007	114	10,4	0,015	562
22.09.2014 14:00	1,42	0,003	15	2,99	0,007	75	4,26	0,017	261
22.09.2014 15:00	1,47	0,004	21	4,11	0,007	104	7,11	0,018	461
22.09.2014 16:00	2,23	0,004	32	4,59	0,008	132	8,29	0,02	597
22.09.2014 17:00	3,95	0,004	57	3,51	0,009	114	8,23	0,022	652
22.09.2014 18:00	2,86	0,004	41	4,23	0,008	122	8,26	0,022	654
22.09.2014 19:00	2,86	0,004	41	3,6	0,009	117	6,08	0,024	525
22.09.2014 20:00	3,55	0,005	64	3,86	0,009	125	5,62	0,023	465
22.09.2014 21:00	2,67	0,004	38	4,34	0,008	125	6,82	0,021	516
22.09.2014 22:00	2,7	0,004	39	4,66	0,006	101	6,2	0,019	424
22.09.2014 23:00	3,17	0,003	34	4,24	0,005	76	6,13	0,013	287

Tabell 21: Timesdata Tot-P, Q og mengde P, 29.09.2014

Døgn og time	274119			274193			274302		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P (g/t)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P (g/t)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P (g/t)
29.09.2014 00:00	3,38	0,003	37	3,42	0,005	62	6,16	0,008	177
29.09.2014 01:00	1,63	0,002	12	3,77	0,003	41	5,66	0,006	122
29.09.2014 02:00	2,4	0,002	17	4,14	0,003	45	5,78	0,005	104
29.09.2014 03:00	1,38	0,002	10	3,98	0,003	43	7,46	0,005	134
29.09.2014 04:00	1,13	0,003	12	6,17	0,004	89	9,36	0,007	236
29.09.2014 05:00	5,87	0,003	63	8,74	0,007	220	10,3	0,011	408
29.09.2014 06:00	3,69	0,004	53	8,11	0,008	234	9,47	0,014	477
29.09.2014 07:00	9,19	0,004	132	9,54	0,008	275	10,9	0,014	549
29.09.2014 08:00	5,15	0,004	74	8,77	0,008	253	10,6	0,015	572
29.09.2014 09:00	4,37	0,004	63	6,79	0,009	220	10,5	0,018	680
29.09.2014 10:00	3,67	0,004	53	6,86	0,009	222	7,21	0,019	493
29.09.2014 11:00	3,03	0,004	44	3,04	0,009	98	6,12	0,019	419
29.09.2014 12:00	3,41	0,004	49	4,53	0,009	147	4,44	0,018	288
29.09.2014 13:00	1,2	0,003	13	5,07	0,009	164	5,89	0,015	318
29.09.2014 14:00	1,04	0,003	11	3,11	0,009	101	3,57	0,016	206
29.09.2014 15:00	2,52	0,004	36	2,77	0,009	90	4,44	0,018	288
29.09.2014 16:00	2,51	0,004	36	4,53	0,009	147	4,27	0,019	292
29.09.2014 17:00	1,82	0,004	26	5,91	0,009	191	4,1	0,019	280
29.09.2014 18:00	2,49	0,004	36	3,34	0,009	108	5,35	0,02	385
29.09.2014 19:00	2,35	0,004	34	4,84	0,009	157	3,86	0,018	250
29.09.2014 20:00	1,42	0,004	20	4,18	0,009	135	4,6	0,02	331
29.09.2014 21:00	1,92	0,004	28	4,86	0,009	157	5,11	0,019	350
29.09.2014 22:00	3,32	0,004	48	6,98	0,008	201	6,16	0,017	377
29.09.2014 23:00	4,73	0,003	51	4,05	0,006	87	6,5	0,012	281

Tabell 22: Timesdata tot-P, Q og mengde P, 06.10.2014

Døgn og time	274119			274193			274302		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)
06.10.2014 00:00	3,72	0,002	27	4,99	0,004	72	7,5	0,006	162
06.10.2014 01:00	4,28	0,002	31	4,32	0,003	47	6,14	0,005	111
06.10.2014 02:00	2,16	0,002	16	3,21	0,003	35	4,72	0,004	68
06.10.2014 03:00	2,57	0,002	19	4,6	0,003	50	5,96	0,004	86
06.10.2014 04:00	3,88	0,003	42	7,71	0,004	111	7,72	0,005	139
06.10.2014 05:00	6,37	0,003	69	8,98	0,007	226	10,6	0,011	420
06.10.2014 06:00	7,72	0,004	111	10,8	0,008	311	10,9	0,016	628
06.10.2014 07:00	10,3	0,003	111	6,67	0,007	168	10,6	0,016	611
06.10.2014 08:00	7,4	0,003	80	6,88	0,007	173	9,09	0,015	491
06.10.2014 09:00	4,31	0,003	47	7,34	0,007	185	8,25	0,011	327
06.10.2014 10:00	7,18	0,003	78	4,8	0,007	121	7,31	0,012	316
06.10.2014 11:00	2,99	0,003	32	5,63	0,008	162	4,94	0,011	196
06.10.2014 12:00	3,85	0,003	42	4,12	0,008	119	6,83	0,012	295
06.10.2014 13:00	2,06	0,003	22	2,54	0,007	64	4,67	0,01	168
06.10.2014 14:00	1,49	0,003	16	4,41	0,008	127	5,33	0,014	269
06.10.2014 15:00	3,56	0,003	38	4,66	0,008	134	6,84	0,014	345
06.10.2014 16:00	2,66	0,004	38	5,25	0,008	151	6,73	0,015	363
06.10.2014 17:00	4,69	0,003	51	6,01	0,009	195	6,9	0,017	422
06.10.2014 18:00	2,87	0,004	41	5,52	0,009	179	5,14	0,018	333
06.10.2014 19:00	3,76	0,004	54	5,26	0,008	151	5,95	0,017	364
06.10.2014 20:00	4,35	0,003	47	5,12	0,008	147	5,88	0,016	339
06.10.2014 21:00	1,47	0,004	21	5,31	0,008	153	6,7	0,016	386
06.10.2014 22:00	2,67	0,003	29	5,35	0,007	135	7,3	0,014	368
06.10.2014 23:00	5,53	0,002	40	4,53	0,005	82	6,52	0,01	235

Tabell 23: Døgndata for tot-P, Q og mengde P, 07.10.2014-14.10.2014

Dager og timer	274119			274193			274302		
	P-tot, mg/l	Q, m3/s	Tot-P, g/døgn	P-tot, mg/l	Q, m3/s	Tot-P, g/døgn	P-tot, mg/l	Q, m3/s	Tot-P, g/døgn
08.10.2014 06:00	2,7	0,004	719	3,07	0,008	1790	6,78	0,018	9251
09.10.2014 03:00	3,83	0,003	979	3,42	0,008	1958	15,7	0,018	21873
10.10.2014 00:00	1,74	0,004	545	5,27	0,010	3794	8,36	0,027	16824
10.10.2014 21:00	1,57	0,005	560	2,41	0,013	2360	2,35	0,037	6599
11.10.2014 18:00	2,69	0,004	717	3,69	0,008	2365		0,020	
12.10.2014 15:00	2,55	0,005	909	4,53	0,011	3881	8,88	0,032	21323
13.10.2014 12:00	3,01	0,004	910	4,25	0,012	3902		0,026	
14.10.2014 09:00	2,57	0,003	620	3,86	0,009	2640		0,018	

Tabell 24: Døgndata tot-P, Q og mengde P, 15.10.2014

Døgn og time	274119			274193		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)
15.10.2014 00:00	1,92	0,002	14	3,34	0,004	48
15.10.2014 01:00	2,16	0,002	16	2,96	0,004	43
15.10.2014 02:00	0,643	0,002	5	3,12	0,004	45
15.10.2014 03:00	0,845	0,002	6	2,58	0,004	37
15.10.2014 04:00	1,22	0,002	9	6,11	0,005	110
15.10.2014 05:00	3,02	0,003	33	7,07	0,007	178
15.10.2014 06:00	3,74	0,004	54	7,9	0,01	284
15.10.2014 07:00	5,09	0,003	55	7,45	0,009	241
15.10.2014 08:00	7	0,003	76	6,07	0,007	153
15.10.2014 09:00	4,43	0,003	48	6,81	0,007	172
15.10.2014 10:00	3,36	0,003	36	4,59	0,007	116
15.10.2014 11:00	4,14	0,003	45	3,12	0,007	79
15.10.2014 12:00	1,93	0,003	21	5,19	0,008	149
15.10.2014 13:00	2,74	0,003	30	3,65	0,008	105
15.10.2014 14:00	1,53	0,003	17	3,8	0,008	109
15.10.2014 15:00	2,9	0,003	31	3,43	0,008	99
15.10.2014 16:00	3,03	0,004	44	3,77	0,009	122
15.10.2014 17:00	2,99	0,004	43	3,79	0,009	123
15.10.2014 18:00	3,36	0,004	48	3,55	0,009	115
15.10.2014 19:00	3,19	0,004	46	3,44	0,008	99
15.10.2014 20:00	1,67	0,004	24	3,85	0,008	111
15.10.2014 21:00	3,8	0,004	55	4,41	0,008	127
15.10.2014 22:00	3,35	0,004	48	4,71	0,007	119
15.10.2014 23:00	3,38	0,003	37	4,5	0,006	97

Tabell 25: Timedata P-tot, Q, P-mengde, 20.10.2014

Døgn og time	274119			274193			274302		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)
20.10.2014 00:00	3,43	0,002	25	2,93	0,008	84	3,89	0,014	196
20.10.2014 01:00	2,87	0,002	21	1,8	0,007	45	2,69	0,011	107
20.10.2014 02:00		0,002	0	2,3	0,007	58	2,57	0,011	102
20.10.2014 03:00		0,002	0	2,77	0,007	70	2,36	0,011	93
20.10.2014 04:00		0,002	0	3,72	0,008	107	4,07	0,012	176
20.10.2014 05:00		0,003	0	6,86	0,01	247	7,6	0,017	465
20.10.2014 06:00	6,81	0,003	74	7,27	0,011	288	9,15	0,024	791
20.10.2014 07:00	9,04	0,003	98	6,28	0,01	226	7,9	0,022	626
20.10.2014 08:00	5,21	0,002	38	4,72	0,009	153	7,72	0,019	528
20.10.2014 09:00	4,59	0,002	33	5,12	0,009	166	5,93	0,018	384
20.10.2014 10:00	3,54	0,003	38	2,73	0,009	88	4,24	0,019	290
20.10.2014 11:00	2,09	0,003	23	2,55	0,009	83	4,03	0,019	276
20.10.2014 12:00	1,3	0,002	9	2,9	0,009	94	4,09	0,02	294
20.10.2014 13:00	1,73	0,002	12	1,93	0,009	63	2,43	0,018	157
20.10.2014 14:00	0,942	0,002	7	3,44	0,009	111		0,018	0
20.10.2014 15:00	2,34	0,002	17	3,21	0,009	104		0,019	0
20.10.2014 16:00	2,13	0,003	23	3,93	0,01	141		0,02	0
20.10.2014 17:00	0,982	0,003	11	3,63	0,011	144		0,023	0
20.10.2014 18:00	2,49	0,003	27	3,56	0,011	141		0,022	0
20.10.2014 19:00	2,58	0,003	28	2,98	0,011	118		0,022	0
20.10.2014 20:00	1,29	0,003	14	3,33	0,011	132		0,023	0
20.10.2014 21:00	2,16	0,003	23	4,57	0,01	165		0,021	0
20.10.2014 22:00	2,96	0,003	32	4,32	0,009	140		0,018	0
20.10.2014 23:00	3,72	0,002	27	3,39	0,008	98		0,014	0

Tabell 26: Timedata for tot-P, Q og P-mengde, 27.10.2014

Døgn og time	274119			274193		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)
27.10.2014 00:00	2,84	0,002	20	3,76	0,006	81
27.10.2014 01:00	2,12	0,002	15	2,34	0,005	42
27.10.2014 02:00	1,34	0,002	10	2,78	0,005	50
27.10.2014 03:00	1,05	0,002	8	2,33	0,004	34
27.10.2014 04:00	1,01	0,002	7	3,09	0,004	44
27.10.2014 05:00	1,6	0,002	12	2,81	0,006	61
27.10.2014 06:00	2,98	0,003	32	6,32	0,009	205
27.10.2014 07:00	5,73	0,003	62	8,55	0,01	308
27.10.2014 08:00	9,21	0,003	99	6,36	0,008	183
27.10.2014 09:00	5,96	0,002	43	5,04	0,009	163
27.10.2014 10:00	1,79	0,003	19	3,31	0,007	83
27.10.2014 11:00	1,52	0,002	11	2,89	0,007	73
27.10.2014 12:00	5,02	0,002	36	3,24	0,006	70
27.10.2014 13:00	3,64	0,002	26	2,16	0,006	47
27.10.2014 14:00	0,783	0,002	6	2,42	0,006	52
27.10.2014 15:00	0,45	0,002	3		0,007	0
27.10.2014 16:00	1,35	0,003	15		0,007	0
27.10.2014 17:00	3,97	0,003	43		0,008	0
27.10.2014 18:00	1,64	0,003	18		0,008	0
27.10.2014 19:00	4,57	0,003	49		0,008	0
27.10.2014 20:00	1,96	0,003	21		0,008	0
27.10.2014 21:00	3,82	0,003	41		0,008	0
27.10.2014 22:00	1,25	0,003	14		0,008	0
27.10.2014 23:00	1,8	0,003	19		0,006	0

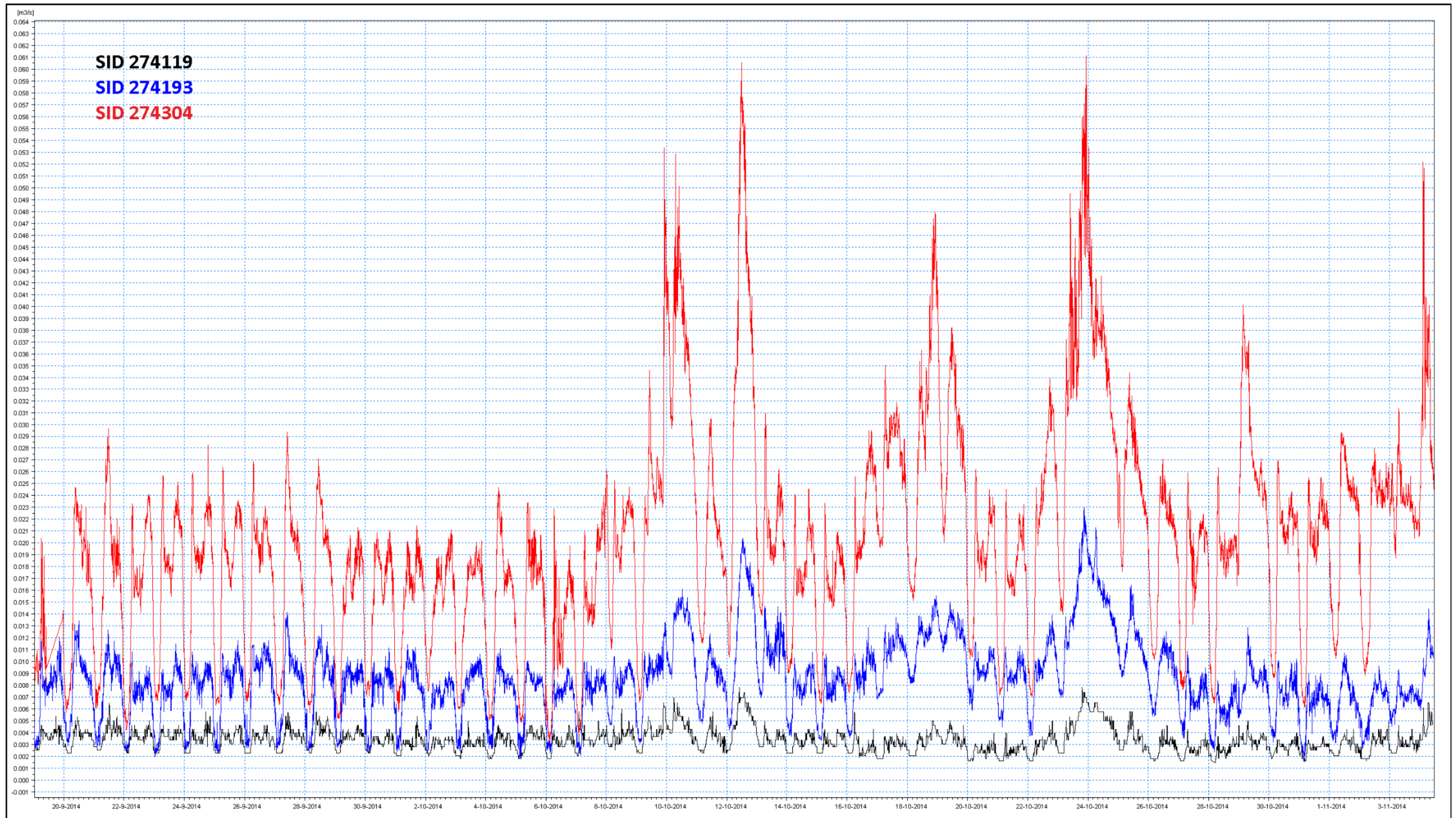
Tabell 27: Timedata for tot-P, Q og P-mengde, 29.10.2014

Døgn og time	274119			274302		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)
29.10.2014 00:00	1,76	0,004	25	4,24	0,024	366
29.10.2014 01:00	1,4	0,004	20	1,09	0,029	114
29.10.2014 02:00	0,386	0,004	6	1,21	0,035	152
29.10.2014 03:00	0,229	0,004	3	0,863	0,039	121
29.10.2014 04:00	0,637	0,003	7	1,01	0,038	138
29.10.2014 05:00	0,455	0,003	5	3,29	0,035	415
29.10.2014 06:00	0,985	0,004	14	4,23	0,036	548
29.10.2014 07:00	3,7	0,004	53	6,11	0,035	770
29.10.2014 08:00	5,88	0,004	85	5,33	0,031	595
29.10.2014 09:00	4,54	0,003	49	2,88	0,03	311
29.10.2014 10:00	1,16	0,003	13	3,04	0,028	306
29.10.2014 11:00	9,31	0,003	101	2,3	0,027	224
29.10.2014 12:00	10,8	0,003	117	1,96	0,026	183
29.10.2014 13:00	3,48	0,003	38	1,63	0,026	153
29.10.2014 14:00	1,24	0,003	13	1,89	0,025	170
29.10.2014 15:00	0,054	0,003	1	1,96	0,025	176
29.10.2014 16:00	0,111	0,003	1	3,29	0,025	296
29.10.2014 17:00	3,28	0,004	47	2,91	0,026	272
29.10.2014 18:00	2,16	0,004	31	2,99	0,025	269
29.10.2014 19:00	1,2	0,004	17	3,03	0,024	262
29.10.2014 20:00	1,27	0,003	14	3,34	0,025	301
29.10.2014 21:00	2,24	0,004	32	2,73	0,024	236
29.10.2014 22:00	3,88	0,003	42	3,3	0,022	261
29.10.2014 23:00	2,05	0,003	22	3,24	0,02	233

Tabell 28: Timesdata for tot-P, Q og mengde-P, 03.11.2014

Døgn og time	274119			274193			274302		
	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)	P-tot (mg/l)	Q (m3/s)	P-tot (g/time)
03.11.2014 00:00	2	0,003	22	3,19	0,006	69	12	0,023	994
03.11.2014 01:00	1,61	0,002	12	1,4	0,005	25	1,63	0,024	141
03.11.2014 02:00	0,861	0,002	6	1,54	0,005	28	0,959	0,025	86
03.11.2014 03:00	0,376	0,002	3	1,25	0,006	27	1,09	0,023	90
03.11.2014 04:00	0,649	0,002	5	2,47	0,006	53	1,24	0,02	89
03.11.2014 05:00	1,12	0,002	8	2,92	0,007	74	2,82	0,022	223
03.11.2014 06:00	1,71	0,003	18	5,21	0,008	150	4,66	0,027	453
03.11.2014 07:00	5,55	0,004	80	6,86	0,009	222	8,74	0,029	912
03.11.2014 08:00	3,94	0,003	43	5,3	0,007	134	5,64	0,026	528
03.11.2014 09:00	3,56	0,003	38	4,93	0,007	124	3,21	0,025	289
03.11.2014 10:00	1,74	0,003	19	3,87	0,007	98	3,1	0,024	268
03.11.2014 11:00	2,47	0,003	27	2,36	0,006	51	2,27	0,024	196
03.11.2014 12:00	1,42	0,003	15	1,97	0,007	50	2,11	0,023	175
03.11.2014 13:00	1,51	0,003	16	1,46	0,007	37	1,73	0,024	149
03.11.2014 14:00	1,01	0,003	11	1,87	0,007	47	1,84	0,023	152
03.11.2014 15:00	1,78	0,003	19	2,53	0,007	64	2,19	0,024	189
03.11.2014 16:00	2,4	0,003	26	2,63	0,008	76	3,57	0,024	308
03.11.2014 17:00	2,52	0,004	36	3,13	0,007	79	2,42	0,023	200
03.11.2014 18:00	1,28	0,004	18	3	0,008	86	3,53	0,023	292
03.11.2014 19:00	1,27	0,003	14	2,91	0,007	73	3,29	0,022	261
03.11.2014 20:00	1,75	0,003	19	2,82	0,007	71	4	0,022	317
03.11.2014 21:00	1,45	0,003	16	2,72	0,007	69	3,76	0,022	298
03.11.2014 22:00	3,62	0,003	39	3,64	0,007	92	3,3	0,022	261
03.11.2014 23:00	2,02	0,003	22	3,21	0,007	81	3,64	0,021	275

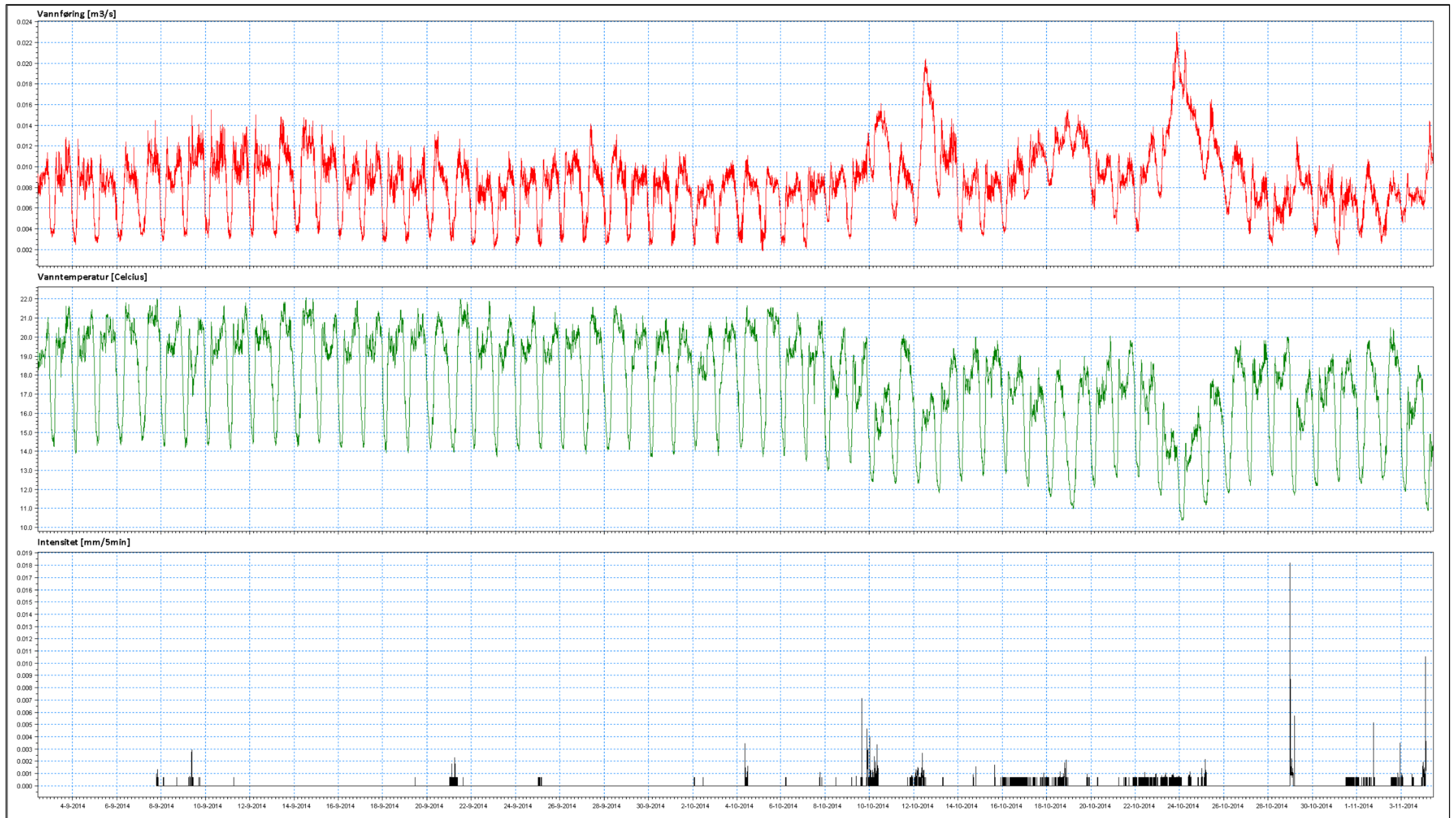
Vedlegg B Grafer fra målinger



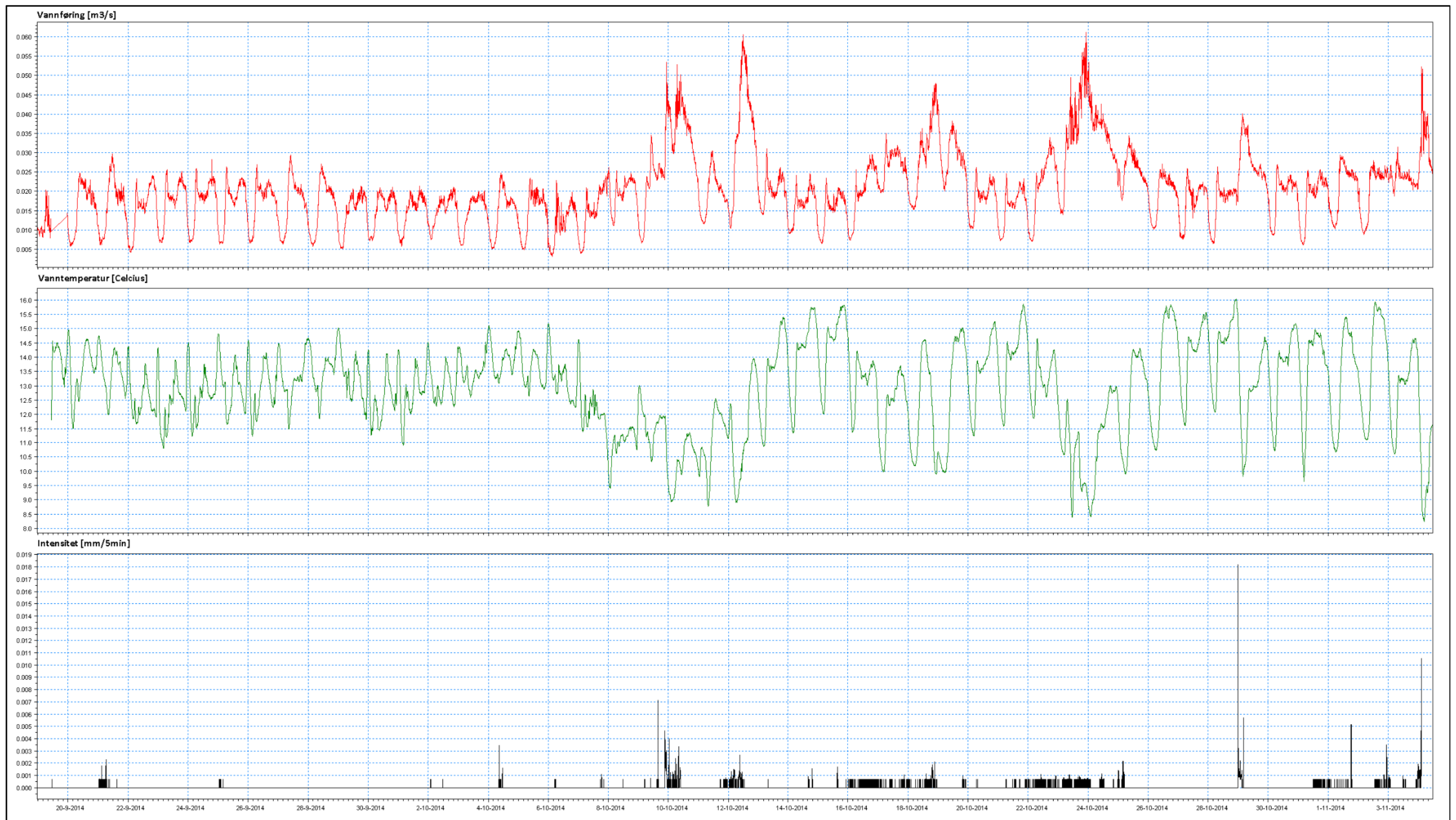
Figur 46: Vannføringskurver for de tre målekummene



Figur 47: Vannførings- og temperaturmålinger for spillvannet i kum 274119 plottet sammen med nedbørsmengde



Figur 48: Vannførings- og temperaturmålinger for spillvannet i kum 274193 plottet sammen med nedbørsmengde



Figur 49: Vannførings- og temperaturmålinger for spillvannet i kum 274302(274304) plottet sammen med nedbørsmengde

Vedlegg C Rapporter fra TV-inspeksjoner

Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato: 06.06.2011	Oppdragsgivers referanse:	Avrenning Ingen avrenning	Operatør Ståle Malnes	Streknummer: 12	Ledningsidentitet: 292043
Tilstede E	Inspeksjonsbil Tv1	Kameratype Fw 125	Meter start:	Standard: 145/2005	Skadepoeng: 285

Fra gate/vei : Til gate/vei : Beliggenhet : Ledningstype:	Jacobine Ryes vei Sidegate Spillvann	Fra kart: Til kart: Medie nr: Lagingsmedie:	Oppstrøms: Nedstrøms Insp. retning: Insp lengde (m) :	274629 274628 Motstrøms 2,46 m
Rengjørt: Formål: Type foring : Foringsmateriale :	Ikke rengjørt Mistanke om driftsmessige problemer	Insp metode: Vannreg tiltak: Dimensjon: Rørmateriale:	Rørinspeksjon med videokamera Ingen tiltak S 200mm Betong	

Anmerkning : **Betydelig forskyvning med antatt utlekk.**

1:50	Posisjon	Kode	Observasjon	Foto	Vann
	0,00	SI	Start inspeksjon -		10%
	0,00	VN	Vannivå 5%		10%
	0,00	S1 KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 04 til 08 Kl., Start		10%
	2,45	FS3	Forskjøvet skjøt forskyvningen er mellom hele og 2 ganger rørtykkelsen eller skjøten er delvis åpen, fra 09 til 03 Kl., Tverrforskjøvet	274629_2746281223_00_06062011_A.JPG, 274629_2746281223_20_06062011_B.JPG	10%
	2,45	E1 KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 04 til 08 Kl., Ende		10%
	2,46	IA	Inspeksjon avbrutt Andre, Ønsket punkt nådd.		10%

Foto fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

 Dato :
06.06.2011

Oppdragsgivers referanse :

 Fra gate/vei:
Jacobine Ryes vei

 Strekknummer :
12

 Ledningsidentitet:
292043


Foto: 274629_274628122300_06062011_A.JPG
 2,45m, Forskjøvet skjot forskyvningen er mellom hele og 2
 ganger rørtykkelsen eller skjøten er delvis åpen, fra 09 til 03 Kl.,
 Tverrforsjøvet



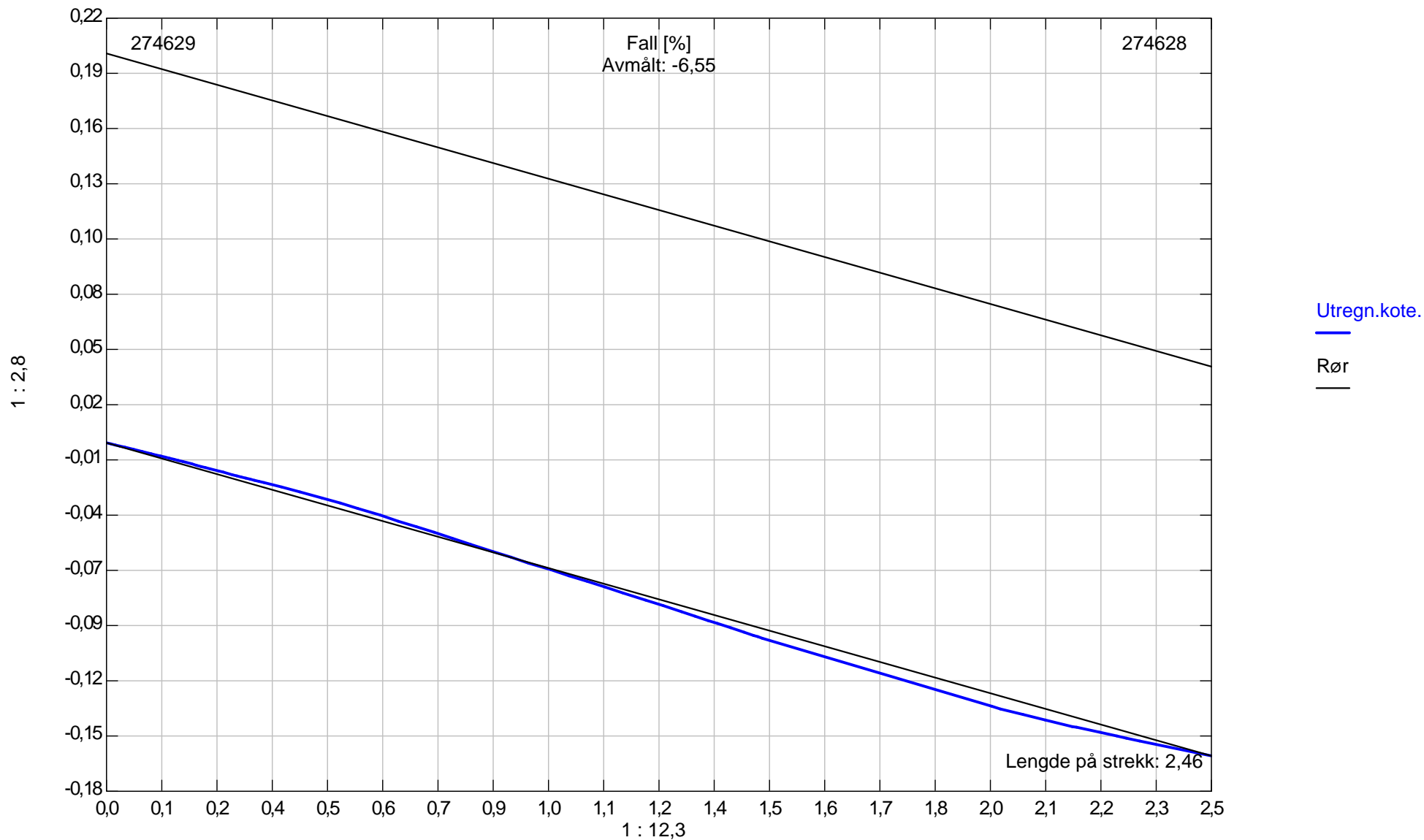
Foto: 274629_274628122320_06062011_B.JPG
 2,45m, Forskjøvet skjot forskyvningen er mellom hele og 2
 ganger rørtykkelsen eller skjøten er delvis åpen, fra 09 til 03 Kl.,
 Tverrforsjøvet

Sted:

Gate/vei: **jacobine Ryes vei**

Dato: **06.06.2011**

Visa: **Ståle Malnes**



Rør Form: **sirkulært** Rør høyde[mm]: **200** Rør-bredde[mm]: **0**



Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato: 02.02.2011	Oppdragsgivers referanse: Oluf	Avrenning Snøsmelting	Operatør Tom Jørgensen	Streknummer: 59	Ledningsidentitet: 292005
Tilstede J	Inspeksjonsbil VAV 473	Kameratype SKZ100SV	Meter start:	Standard: 145/2005	Skadepoeng: 15

Fra gate/vei : TOKERUDDALEN	Fra kart:	Oppstrøms: 274169
Til gate/vei : TOKERUDDALEN	Til kart:	Nedstrøms: 274667
Beliggenhet : Sidegate	Medie nr:	Insp. retning: Medstrøms
Ledningstype: Spillvann	Lagringsmedie: Andre	Insp lengde (m) : 58,58 m

Rengjørt: Ikke rengjørt	Insp metode: Rørinspeksjon med videokamera
Formål: Stikkprøveundersøkelse	Vannreg tiltak: Ingen tiltak
Type foring :	Dimensjon: S 300mm
Foringsmateriale :	Rørmateriale: Betong

 Anmerkning : **Stopper PGA kloakstopp.**

1:306	Posisjon	Kode	Observasjon	Foto	Vann
	0,00	SI	Start inspeksjon -		20%
	3,85	DS	Dårlig sikt Damp		20%
	3,85	VN	Vannivå 20%		20%
	21,79	TK	Tilkopling Innhugget tilkopling 09 Kl.		20%
	21,79	VS10	Vann fra stikkledning 5%		20%
	22,11	VN	Vannivå 30%		30%
	30,66	VN	Vannivå 40%		40%
	33,31	VN	Vannivå 50%		50%
	37,20	VN	Vannivå 60%		60%
	38,59	SR3	Sprukket rør, Rørbiter har løsnet eller mangler/teglstein mangler fra sin opprinnlige posisjon, 12 Kl., Avskalling		60%



Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato : 02.02.2011	Oppdragsgivers referanse : Oluf	Avrenning : Snøsmelting	Operatør : Tom Jørgensen	Streknummer : 59	Ledningsidentitet : 292005
Tilstede : J	Inspeksjonsbil : VAV 473	Kameratype : SKZ100SV	Meter start:	Oppstrøm: 274169	Nedstrøm: 274667

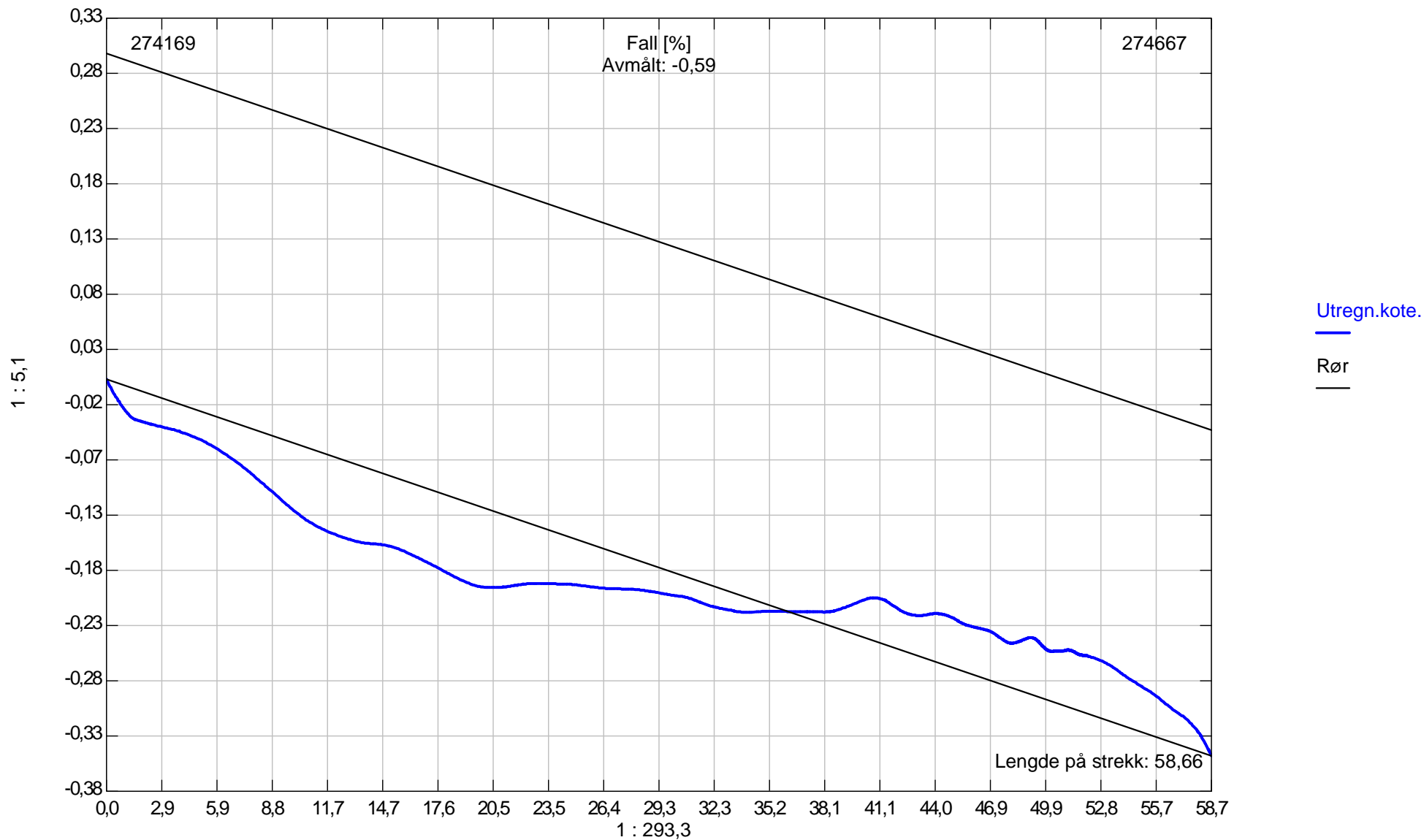
1:306	Posisjon	Kode	Observasjon	Foto	Vann
	43,39	VN	Vannivå 70%		70%
	47,24	VN	Vannivå 80%		80%
	49,67	VN	Vannivå 90%		90%
	51,53	S1 UB2	Utfelling/Belegg, reduksjon i tverrsnittsarealet er mellom 5 - 15%, fra 11 til 01 Kl., Fett, Start		90%
	51,99	DS	Dårlig sikt Kamera under vann		90%
	58,57	E1 UB2	Utfelling/Belegg, reduksjon i tverrsnittsarealet er mellom 5 - 15%, fra 11 til 01 Kl., Fett, Ende		90%
	58,58	IF	Inspeksjon fullført -		100%

Sted:

Gate/vei: TOKERUDDALEN

Dato: 02.02.2011

Visa: Tom Jørgensen



Rør Form: sirkulært Rør høyde[mm]: 300 Rør-bredde[mm]: 300

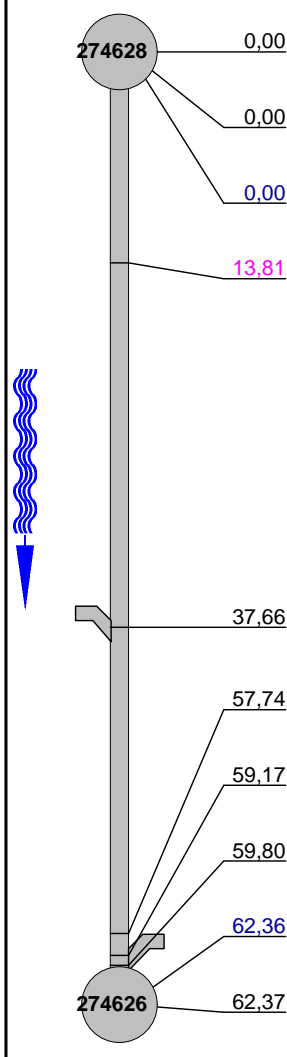
Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato: 06.06.2011	Oppdragsgivers referanse:	Avrenning Ingen avrenning	Operatør Ståle Malnes	Streknummer: 13	Ledningsidentitet: 292038
Tilstede E	Inspeksjonsbil Tv1	Kameratype Fw 125	Meter start:	Standard: 145/2005	Skadepoeng: 112

Fra gate/vei : Til gate/vei : Beliggenhet : Ledningstype:	Jacobine Ryes vei Sidegate Spillvann	Fra kart: Til kart: Medie nr: Lagingsmedie:	Oppstrøms: 274628 Nedstrøms: 274626 Insp. retning: Medstrøms Insp lengde (m) : 62,37 m
Rengjørt: Formål: Type foring : Foringsmateriale :	Ikke rengjørt Mistanke om driftsmessige problemer	Insp metode: Vannreg tiltak: Dimensjon: Rørmateriale:	Rørinspeksjon med videokamera Ingen tiltak S 200mm Betong

Anmerkning :

1:495	Posisjon	Kode	Observasjon	Foto	Vann
	0,00	SI	Start inspeksjon -		10%
	0,00	VN	Vannivå 5%		10%
	0,00	S1 KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 04 til 08 Kl., Start		10%
	13,81	SR3	Sprukket rør, Rørbiter har løsnet eller mangler/teglstein mangler fra sin opprinnlige posisjon, fra 11 til 01 Kl., Kompleks		10%
	37,66	TK	Tilkopling Prefabrikkert grenrør. 03 Kl.		10%
	57,74	VN	Vannivå 10%		10%
	59,17	TK	Tilkopling Prefabrikkert grenrør. 09 Kl.		10%
	59,80	VN	Vannivå 5%		10%
	62,36	E1 KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 04 til 08 Kl., Ende		10%
	62,37	IF	Inspeksjon fullført -		10%

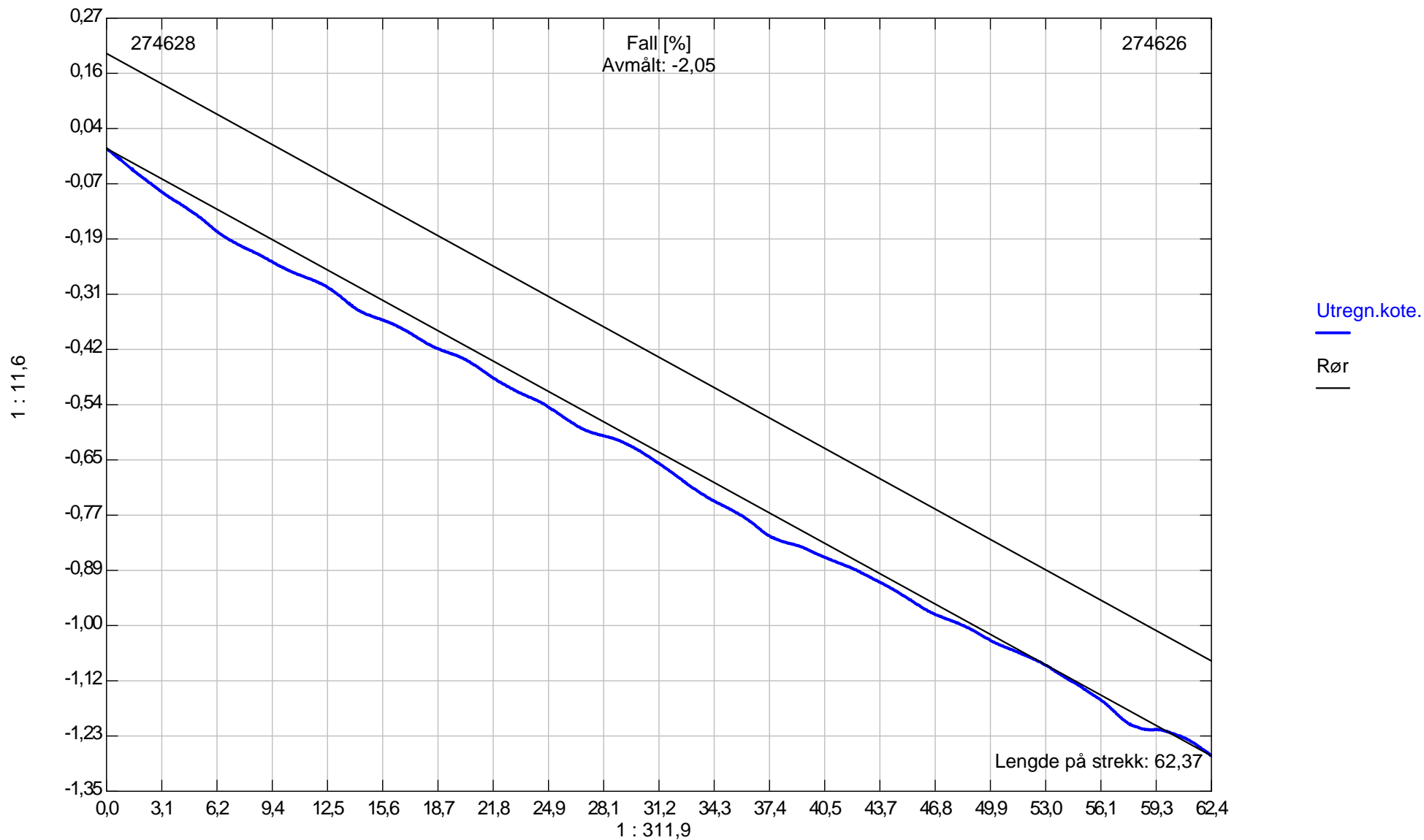


Sted:

Gate/vei: **Jacobine Ryes vei**

Dato: **06.06.2011**

Visa: **Ståle Malnes**



Rør Form: **sirkulært** Rør høyde[mm]: **200** Rør-bredde[mm]: **0**

Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato: 13.11.2014	Oppdragsgivers referanse: Ida Johanne Gammelsæt	Avrenning Regn	Operatør Ingunn Solberg	Streknummer: 1	Ledningsidentitet: 291890
Tilstede Ståle Malnes	Inspeksjonsbil Tv-1	Kameratype lpek 140	Meter start:	Standard: 145/2005	Skadepoeng: 0

Fra gate/vei : Til gate/vei : Beliggenhet : Ledningstype:	Vestlisvingen Sidegate Spillvann	Fra kart: Til kart: Medie nr: Lagringsmedie:	101014_1	Oppstrøms: Nedstrøms Insp. retning: Insp lengde (m) :	13123 274051 Motstrøms 56,06 m
--	---	---	-----------------	--	---

Rengjort: Formål: Type foring : Foringsmateriale :	Ikke rengjort Stikkprøve Undersøkelse	Insp metode: Vannreg tiltak: Dimensjon: Rørmateriale:	Rørinspeksjon med videokamera Ingen tiltak sirkulært 200 mm Betong
---	--	--	---

Anmerkning :	Korrosjon, sprukket rør.
--------------	---------------------------------

1:414	Posisjon	Kode	Observasjon	MPEG	Foto	Vann
	0.00	SI	Start inspeksjon -	00:00:00		10%
	0.00	S1	KO2 Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 12 til 12 Kl., Start	00:00:34		10%
	0.00	S2	FS1 Forskjøvet skjøt forskyvningen er mindre enn halve rørtykkelsen, fra 12 til 12 Kl., Tverrforskjøvet, Start	00:00:41		10%
	1.50	VN	Vannivå 20%	00:01:03		20%
	1.56	E2	FS1 Forskjøvet skjøt forskyvningen er mindre enn halve rørtykkelsen, fra 12 til 12 Kl., Tverrforskjøvet, Ende	00:10:20		20%
	6.36	VN	Vannivå 5%	00:01:51		5%
	10.50	VN	Vannivå 10%	00:02:26		10%
	12.19	VN	Vannivå 5%	00:02:41		5%
	17.12	VN	Vannivå 10%	00:03:21		10%
	18.49	VN	Vannivå 5%	00:03:36		5%
	24.01	VN	Vannivå 50%	00:04:16		50%
	25.63	VN	Vannivå 5%	00:04:48		5%
	51.88	VN	Vannivå 10%	00:07:51		10%

Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato : 13.11.2014	Oppdragsgivers referanse : Ida Johanne Gammelsæt	Avrenning : Regn	Operatør : Ingunn Solberg	Streknummer : 1	Ledningsidentitet : 291890
Tilstede : Ståle Malnes	Inspeksjonsbil : Tv-1	Kameratype : lpek 140	Meter start:	Oppstrøm: 13123	Nedstrøm: 274051

1:414	Posisjon	Kode	Observasjon	MPEG	Foto	Vann
	<u>52.42</u>	TK	Tilkopling Innhugget tilkopling 09 Kl.	00:08:04		10%
	<u>52.42</u>	VS	Vann fra stikkledning 5%	00:08:11		10%
	<u>52.42</u>	SR2	Sprukket rør, sprekkene er åpne/løse teglstein, fra 10 til 04 Kl., Tangentiell	00:08:36		20%
	<u>54.38</u>	VN	Vannivå 5%	00:09:09		5%
	<u>55.16</u>	SR2	Sprukket rør, sprekkene er åpne/løse teglstein, fra 12 til 12 Kl., Tangentiell	00:09:50		20%
	<u>56.06</u> E1	KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 12 til 12 Kl., Ende	00:10:16		20%
	<u>56.06</u>	IF	Inspeksjon fullført -	00:10:20		20%

Seksjon: 1

Inspeksjon: 1

Sted:

Gate/vei: Vestlisvingen

Dato: 13.11.2014

Visa: Ingunn Solberg

13123

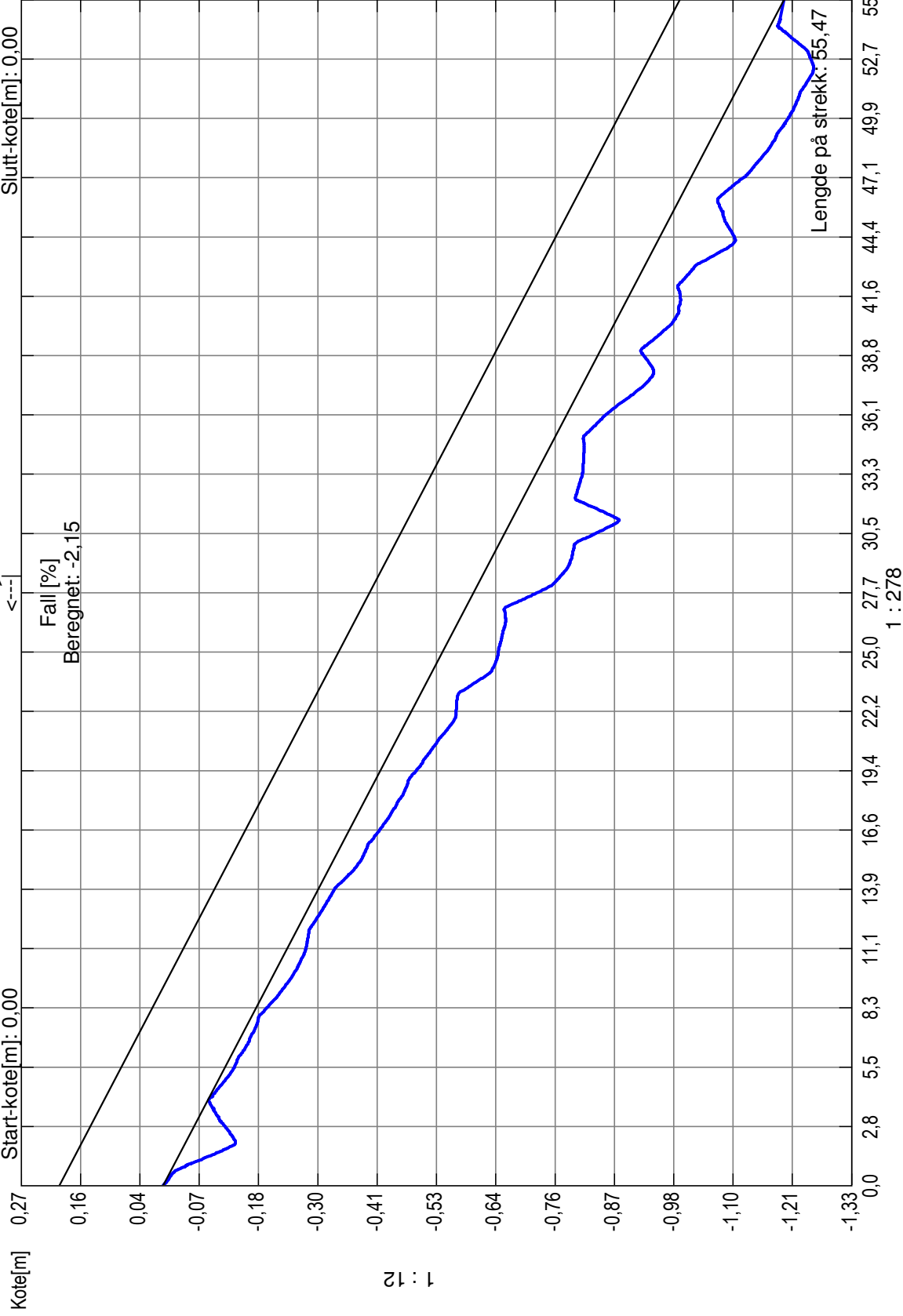
Start-kote[m]: 0,00

↗↘

Slutt-kote[m]: 0,00

Fall [%]
Beregnet: -2,15

274051



Rør Form: sirkulært Rør diameter[mm]: 200,00 Rør-bredde[mm]: 0,00

Rapport fra inspeksjon / Inspeksjon: 1

Dato: 13.11.2014	Oppdragsgivers referanse: Ida Johanne Gammelsæt	Avrenning Regn	Operatør Ingunn Solberg	Streknummer: 5	Ledningsidentitet: 290980
Tilstede Ståle Malnes	Inspeksjonsbil Tv-1	Kameratype Ipek 140	Meter start:	Standard: 145/2005	Skadepoeng: 0

Fra gate/vei : Til gate/vei : Beliggenhet : Ledningstype:	Vestlisvingen Sidegate Spillvann	Fra kart: Til kart: Medie nr: Lagringsmedie:	101014_1	Oppstrøms: Nedstrøms Insp. retning: Insp lengde (m) :	274022 274020 Medstrøms 37,77 m
Rengjort: Formål: Type foring : Foringsmateriale :	Ikke rengjort Stikkprøve Undersøkelse	Insp metode: Vannreg tiltak: Dimensjon: Rørmateriale:	Rørinspeksjon med videokamera Ingen tiltak sirkulært 250 mm Betong		

Anmerkning : **Korrosjon, Røtter.**

1:300	Posisjon	Kode	Observasjon	MPEG	Foto	Vann
	0.00	SI	Start inspeksjon -	00:00:00		10%
	0.00	S1 KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 12 til 12 Kl., Start	00:00:21		10%
	2.62	VN	Vannivå 20%	00:00:50		20%
	3.64	VN	Vannivå 30%	00:01:00		30%
	5.18	S2 RØ2	Røtter, reduksjon av tverrsnittsarealet er mellom 5 - 15%, fra 02 til 10 Kl., Sammenfiltrede røtter / rottugge, Start	00:01:18		30%
	6.14	VS	Vann fra stikkledning 10%			10%
	6.14	TK	Tilkopling Prefabrikkert grenrør. 09 Kl., røtter i tilkobling.	00:03:19		30%
	6.88	TK	Tilkopling Prefabrikkert grenrør. 03 Kl., Røtter i tilkobling.	00:04:04		10%
	6.90	E2 RØ2	Røtter, reduksjon av tverrsnittsarealet er mellom 5 - 15%, fra 02 til 10 Kl., Sammenfiltrede røtter / rottugge, Ende	00:07:53		30%
	37.77	E1 KO2	Korrosjon/Slitasje Synlig tilslag (rørveggen er betydelig påvirket), I betongrør er tilslagsmaterialet tydelig blottlagt, fra 12 til 12 Kl., Ende	00:07:12		10%
	37.77	IF	Inspeksjon fullført -	00:07:16		10%

Seksjon: 5

Inspeksjon: 1

Sted:

Gate/vei: Vestlisvingen

Dato: 13.11.2014

Visa: Ingunn Solberg

274022

Start-kote[m]: 0,00

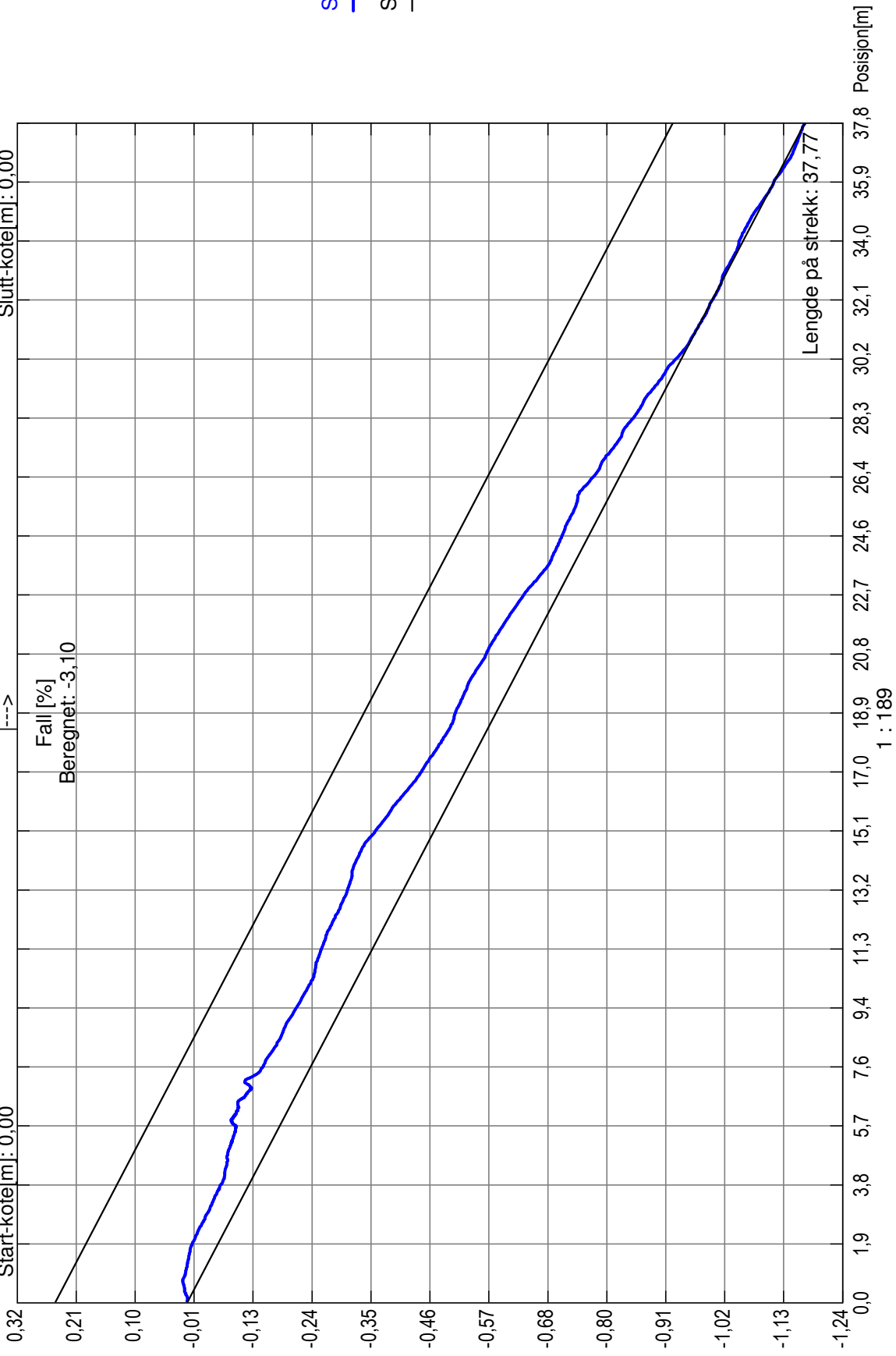
--->

Fall [%]
Beregnet: -3,10

274020

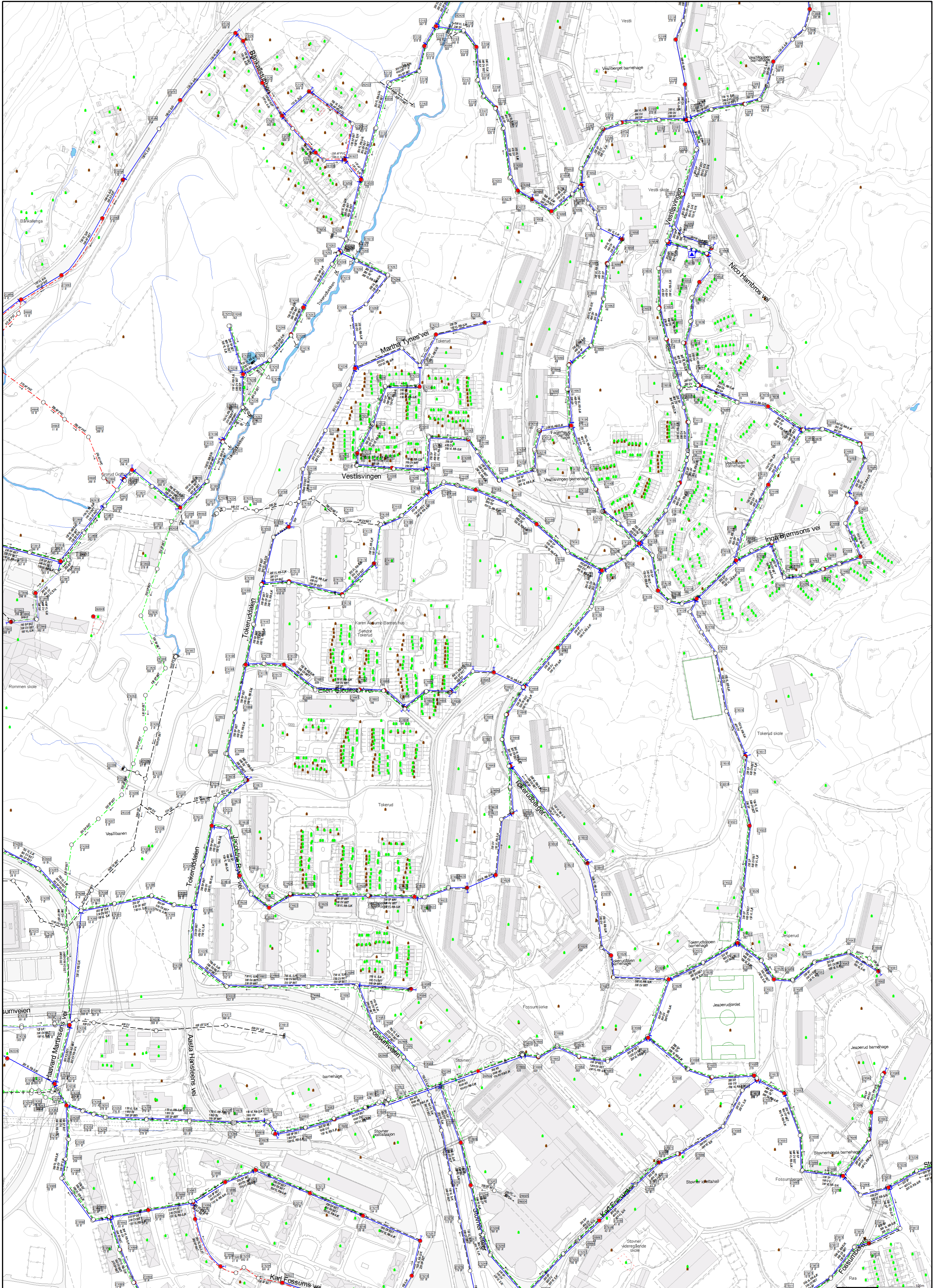
Slutt-kote[m]: 0,00

Kote[m]



Rør Form: sirkulært Rør diameter[mm]: 250,00 Rør-bredde[mm]: 0,00

Vedlegg D Kart i A1 over Vestlifeltet



1800-1900 — Andre

1901-1940 —

1941-1960 —

1961-1970 —

1971-1990 —

1991-2002 —

Beliggenhet og høyder må oppfattes som orienterende

Oslo kommune
Vann- og avløpsvesen
Tel: 02 180

2014.09.04
32

32-2-516-135-31

1:2000



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no