

Påvisning av innstrømning av fremmedvann i avløpsledninger ved bruk av fiberoptisk temperatursensor og røyktesting i Trondheim

Av Maryam Beheshti, Vidar Figenschou og Sveinung Sægrov

Maryam Beheshti (Ph.D) er prosjektleder i enhet for Kommunalteknikk, Trondheim kommune. Vidar Figenschou (sivilingeniør) er prosjektleder i enhet for Kommunalteknikk, Trondheim kommune.

Sveinung Sægrov (Dr. ing) er professor ved institutt for bygg- og miljøteknikk i NTNU.

Summary

Detection of unwanted water inflow into the sewer system using fiber optic temperature sensor and smoke testing in Trondheim. Urban sewer systems represent a high asset value and are important infrastructure in our cities. Sewer networks are prone to a significant amount of unwanted water ingress from unknown sources. Infiltration and inflow (I/I) of unwanted water increase the risk of hydraulic overloading of the sewer system, operational time of combined sewer overflows, and unwanted feeding of wastewater treatment plants. I/I of unwanted water in urban sewer systems are significant challenges for sustainable sewer asset management and have negative environmental, public health and economic consequences for cities and sewer systems. Accurate detection of I/I sources is the first step in efficient reduction of unwanted water in urban sewer systems.

This study focused on I/I detection project in a separate sewer network in a catchment in Trondheim, Norway. The project was conducted during a period without snowmelt or ground-water infiltration. Fiber-optic distributed temperature sensing (DTS) was tested for the first time in Norway in this catchment to detect I/I.

To control the results of DTS technology, closed-circuit television inspection (CCTV) inspection and smoke testing were used. DTS was an accurate and feasible method for I/I detection in this study. In this case, the results of CCTV were not successful enough to confirm all the I/I sources detected by DTS, but the results of smoke testing were sufficient. A combination of different I / I detection methods is a valuable tool for obtaining accurate and reliable data.

Sammendrag

Urbane avløpsanlegg utgjør meget store verdier og er en avgjørende infrastruktur for velferden i byene våre. Anleggene er utsatt for betydelig mengde uønsket vanninnstrømning fra ukjente kilder. Infiltrasjon og innstrømning (I/I) av uønsket vann opptar transportkapasitet for avløpsvann, øker hyppighet og mengde av utslipp via overløp og mengde som behandles i renselanlegg. Med dagens innlekking er ikke forvaltningen av avløpsnettet bærekraftig, dvs. det har alvorlige miljømessige, sosiale og økonomiske konsekvenser for byer og avløpssystemer.

Dette studiet er et forskningsprosjekt med hensyn til sikrere og raskere lokalisering av

innlekkingspunkter. Dette er iverksatt i et nedbørfelt i Trondheim i en periode uten snøsmelting og grunnvannsinnekkning. Som en metode for å lokalisere fremmedvannkilder i Lykkjebekken nedbørfeltet, er fiberoptisk temperatursensor teknologi (Distributed Temperature Sensing /DTS) testet for den første gang i Norge. For å kontrollere resultatene fra DTS-teknologi, er inspeksjon vha. kameraundersøkelse (CCTV) og røyktesting benyttet. Installasjonen av fiberoptiske DTS kabler i dette prosjektet har vist seg å være en solid og praktisk metode til I/I-deteksjon. I dette tilfellet var ikke resultatene fra CCTV nøyaktige nok til å finne kildene for I/I, men resultatene fra røyktesting var tilstrekkelige. En kombinasjon av ulike I/I deteksjonsmetoder er et verdifullt verktøy for å få nøyaktige og pålitelige data.

Innledning

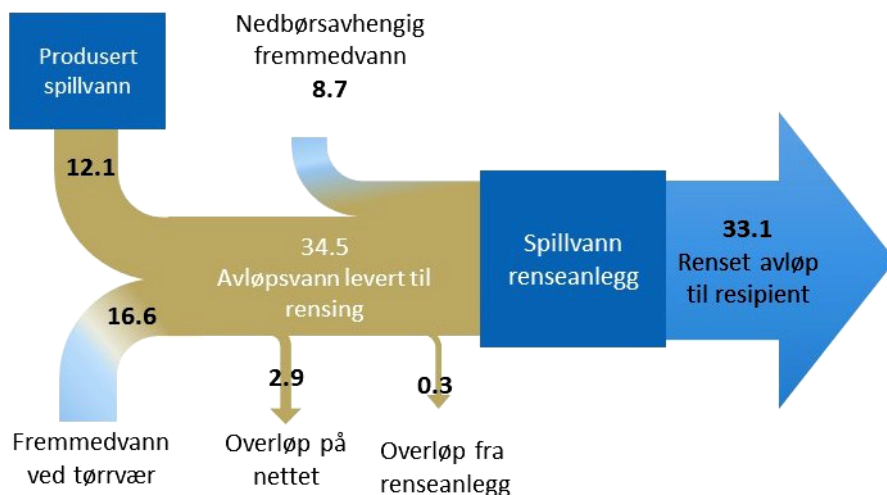
Urbane avløpsanlegg utgjør meget store verdier og er en avgjørende infrastruktur for velferden i byene våre. Infiltrasjon og innstrømning (I/I) av fremmedvann eller uønsket vann opptar transportkapasitet for avløpsvann, øker hyppighet og mengde av utslipp via overløp og mengde som behandles i renseanlegg. Med dagens innlekkning er ikke forvaltningen av avløpsnettets bærekraftig, dvs. det har alvorlige miljømessige, sosiale og økonomiske konsekvenser for byer og avløps-

systemer (Beheshti et al. 2015). I/I fra feilkoblet overvann utgjør ofte rundt 50 % av avløpsvannet (Peters *et al.*, 2002; Langeveld *et al.*, 2012), og grunnvannsinfiltrasjonen kan overstige 50 % (Beheshti et al. 2015, Kracht and Gujer, 2006). Identifisering og fjerning av kildene til I/I bør være en viktig prioritet ved oppgradering av avløpsnett (Beheshti et al. 2015). Effektiv fjerning av I/I av fremmedvann til spillvannssystemet er imidlertid avhengig av omfattende og detaljert forståelse av lokaliseringen av grunnvannsinnekkning og feilkoblinger.

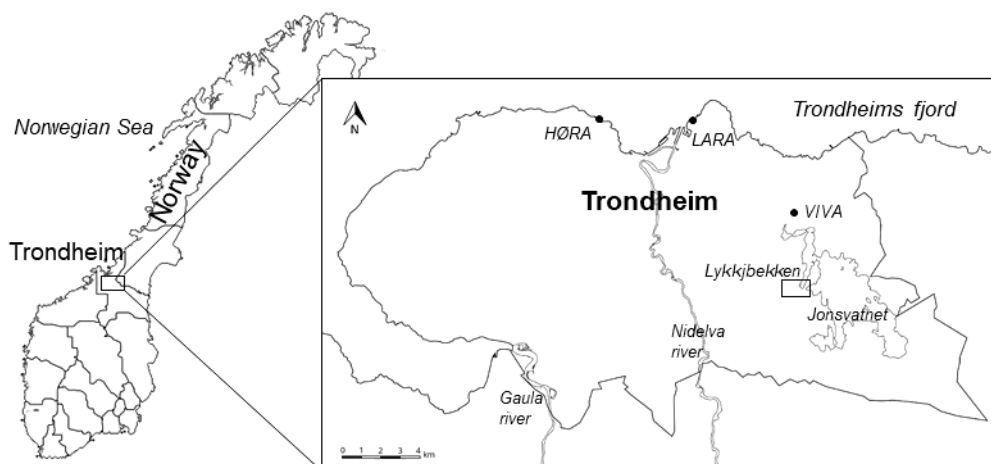
Ifølge en vannbalanse utformet for Trondheim for årene 2009-2011, utgjør I/I fra fremmedvann ved tørrvær rundt 48 % av total mengde avløpsvann som levert til renseanlegg (figur 1). Denne økningen er bemerkelsesverdig, og det er en prioritert oppgave å oppnå bedre kontroll med infiltrasjonen.

Studieområdet

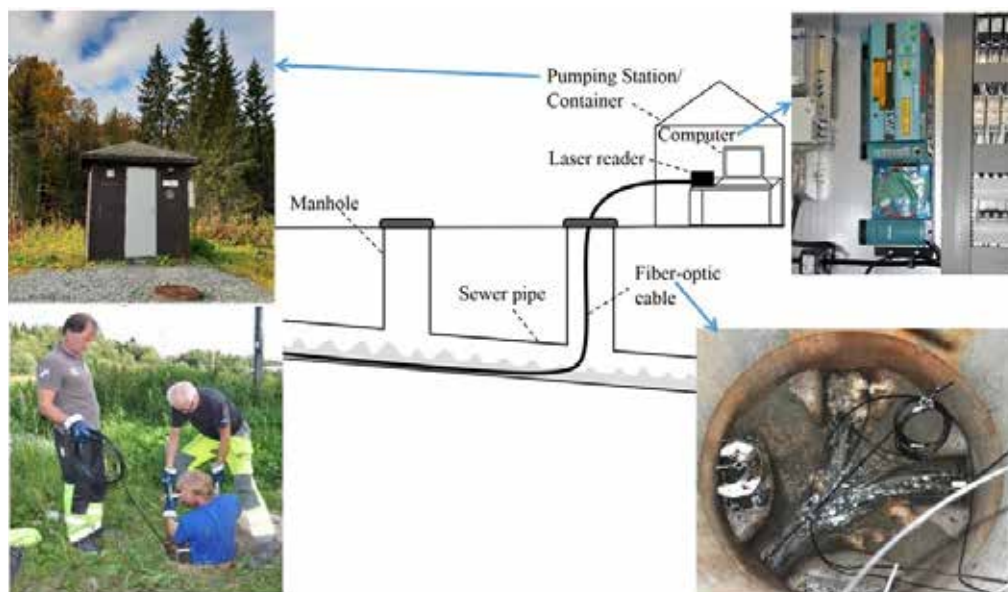
Lykkjebekken nedbørfeltet, som ligger nær Jonsvannet, Trondheims hovedvannkilde, er et landleg område med en pumpestasjon. Figur 2 viser plassering av Lykkjebekken nedbørfeltet i Trondheim. Her har avrenningen økt sterkt i perioder med regn og snøsmelting. Det har vært nære at overløp er aktivisert, noe som ville medført spillvannsforurensning og truet kommunens



Figur 1. Trondheim vannbalanse 2009-2011 [millioner m³/år] (Trondheim kommune hovedplan avløp og vannmiljø 2013-2024); Innlekkning fra fremmedvann ved tørrvær levert til renseanlegg er 48%.



Figur 2. Plassering av Lykkjebekken nedbørsfeltet i Trondheim (Beheshti og Sægrov; 2018b)



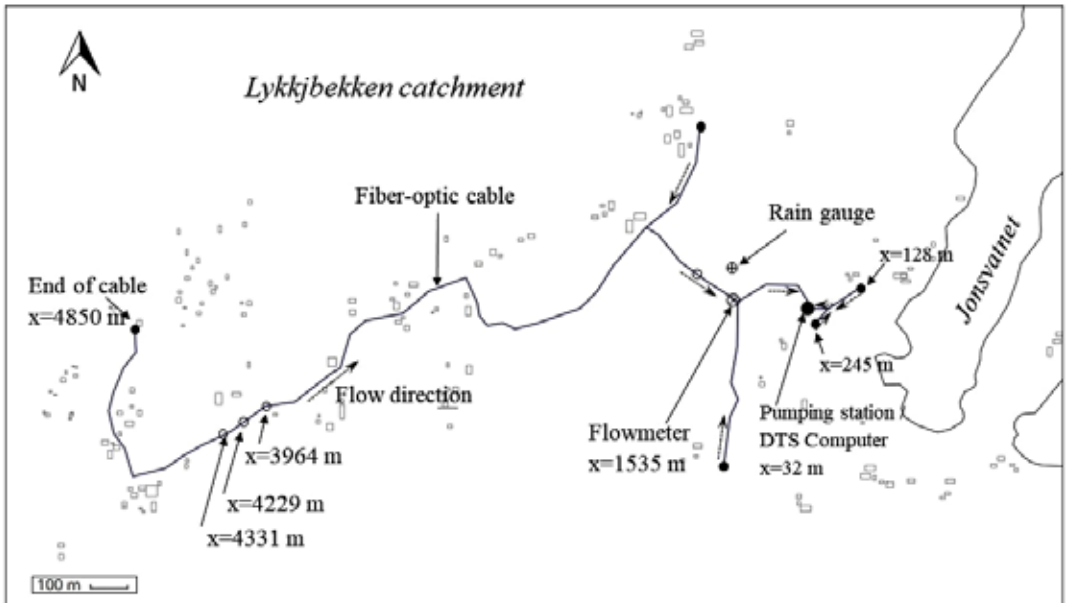
Figur 3. Standard layout for DTS-overvåkningsteknikken ved inverten av en kloakkledning, og kontrollenheten lagret utenfor avløpssystem i pumpestasjonen (Beheshti & Sægrov 2018a) og bilder av målestedet (Beheshti et al. 2019).

hovedvannkilde. Den strategiske plasseringen av dette nedslagsfeltet gjør det til et viktig område for reduksjon av I/I, og et forskningsprosjekt med hensyn til sikrere og raskere lokalisering av innlekkingspunkter er iverksatt. Målet med dette prosjektet er derfor å lokalisere den nøyaktige kilden til fremmedvann via servicetilkoblinger, gjennom defekte rør, rørsjøter, ulovlige/feil påkoblinger eller kumvegger.

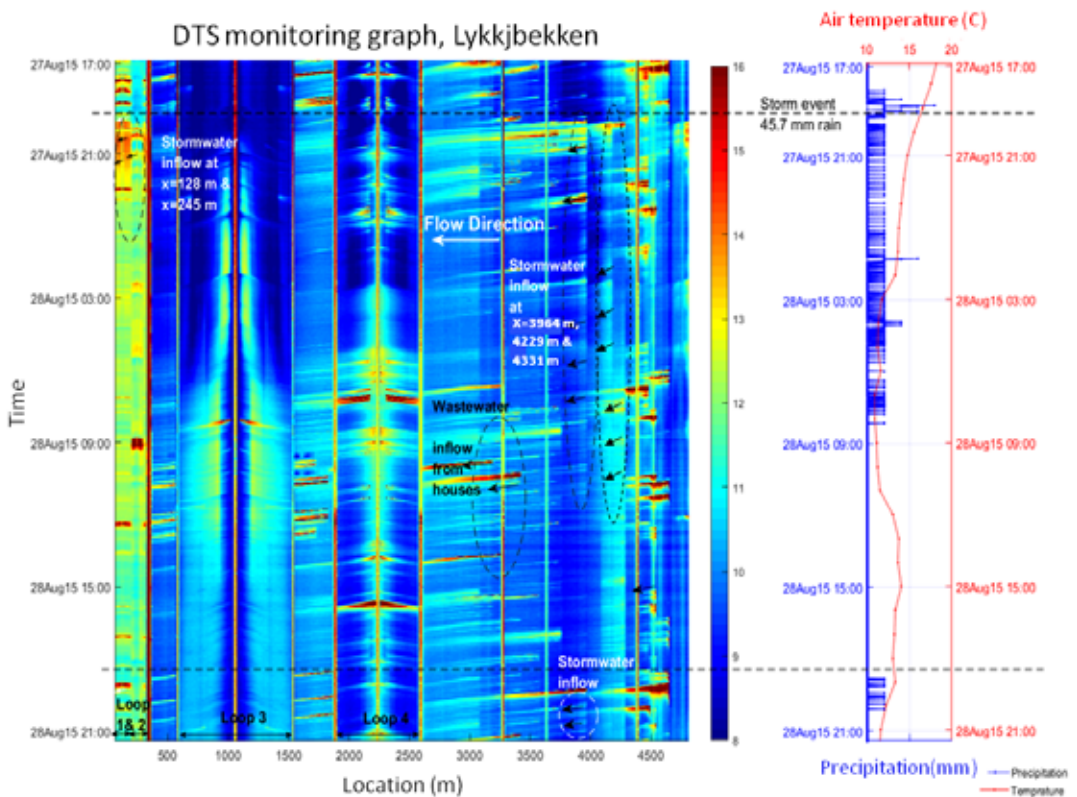
Metode for å lokalisere innlekking og innstrømming

Som en metode for å lokalisere fremmedvannkilder i Lykkjebekken nedbørsfeltet, er fiberoptisk temperatursensor teknologi (Distributed Temperature Sensing /DTS) testet for den første gang i Norge, og verifisert med kameraundersøkelse (CCTV) og røyktesting i dette området.

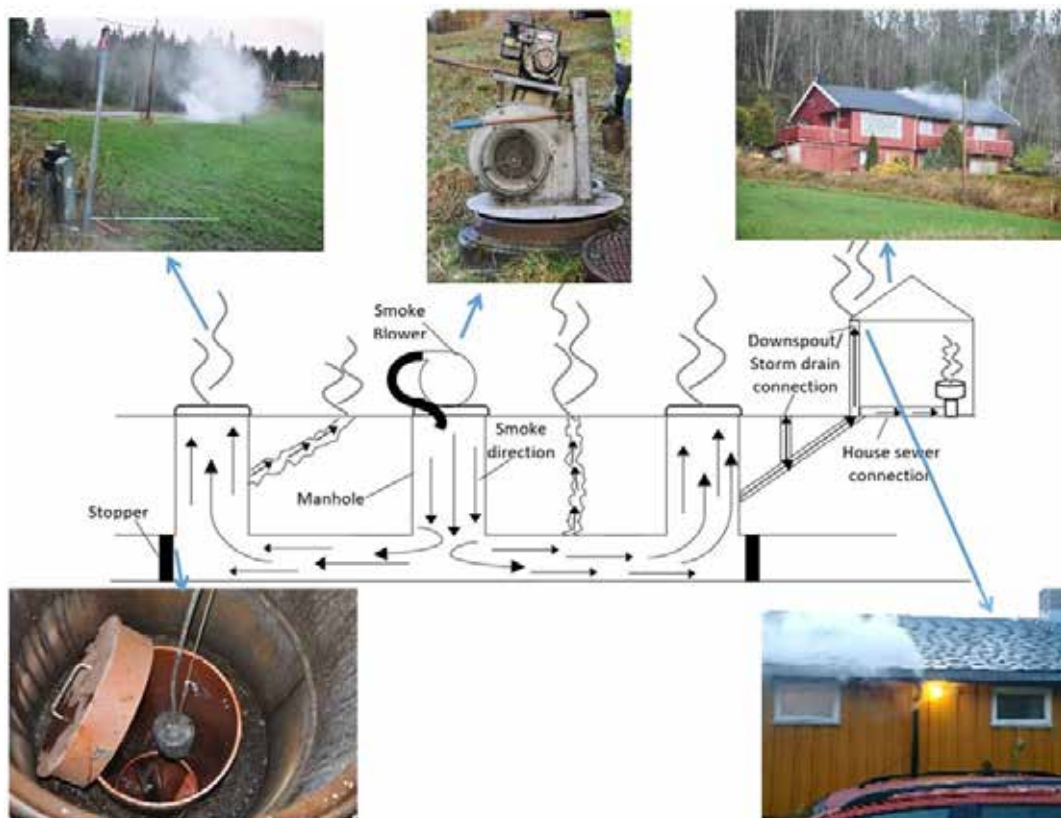
DTS er en relativt ny teknologi for bruk i avløpssystemer. Det grunnleggende med metoden



Figur 4. DTS-kabelinstallasjon i Lykkjebekken med oppdagede punkter med innlekking av fremmedvann I/I.



Figur 5. DTS overvåkingsresultater i avløpssystem av Lykkjebekken den 28. august 2015. X-aksen representerer lengde langs kabelen, målt fra pumpestasjonen. Y-aksen viser tid. Fargene i figuren avslører innlekking der vannet har annerledes farge/temperatur enn øvrig avløpsvann.



Figur 6. Røyktestingmetode for å verifisere potensielle kilder til infiltrasjon og innlekking til avløpssystem (Beheshti et al. 2015) og bilder av målestedet i Lykkjebekken nedbørsfeltet i Trondheim (Beheshti et al. 2019)

er å måle temperatur i opptil flere kilometer lengde i avløpsledningen i kontinuerlig tid langs den fiberoptiske kabelen som fungerer som lineær sensor. Enhver endring i avløpsvann-temperaturen blir registrert, og det nøyaktige stedet for I/I kan bestemmes. Derved kan infiltrasjon og innstrømning av fremmedvann eller ulovlige og feilkoblinger oppdages med stor nøyaktighet. Figur 3 presenteres standardoppsettet for DTS-overvåkingsteknologi i tillegg til noen bilder fra målestedet i Trondheim.

Resultat

I/I-målingene ble gjennomført fra august til november 2015, i en periode uten snøsmelting og grunnvannsinnekkning. Figur 4 viser plassering av DTS-kabelinstallasjon i Lykkjebekken.

Resultatene er presentert i et varmekart der den horisontale akse viser lengden langs fiberoptisk kabel og den vertikale akse presenterer

tiden. I denne studien er temperaturen registrert hvert 18. sekund for hver 50 cm av kabelen i en total lengde på 4800 m i avløpsledningen. Temperaturregistreringene er visualisert i et varmekart (figur 5). Hver piksel i varmekartet viser en registrert temperatur langs kabelen på et bestemt tidspunkt. De registrerte temperaturene (°C) er farget i henhold til fargegradienten på høyre side av DTS-overvåkningsgrafen. Nedbør og lufttemperatur ble målt samtidig for å kontrollere for deres innvirkning på I/I. I figur 5 er innstrømningsretningen fra høyre til venstre. Innstrømningen til avløpsnett med forskjellige temperaturer enn den i-kloakken avløpsvann kan påvises i DTS-overvåkningsgrafen som plutselige hete-enderinger. Varmespredningen er ganske synlig langs avløpsinnstrømmen og illustrert av noen piler i figur 5. Pilens gradient forandrer seg på grunn av hastighet, volum og temperatur på avløpsvannet i avløpet og ytre innstrømning

(Beheshti & Sægrov 2018b). Ved analyse av DTS-målingene er fem potensielle steder for fremmedvann I/I avdekket. De termiske endringene på $x = 128$ m, 245 m, 3964 m, 4229 m og 4331 m på kabelen kan være assosiert med innstrømming av overvann.

For å kontrollere resultatene fra DTS-teknologi, er CCTV inspeksjon og røyktesting benyttet i problematiske deler av nettet som potensielt er utsatt for innlekking. I dette tilfellet var ikke resultatene fra CCTV nøyaktige nok til å finne kilden for I/I, men resultatene fra røyktesting var tilstrekkelige. Røyk som slipper gjennom åpninger og ventiler i avløpssystem, forekom flere steder i nettet (Figur 6). I $x=4331$ m og $x=4229$ m, lekker fremmedvann kontinuerlig inn i avløpsledningen fra en sesongbekk som ligger i nærheten av avløpskummer. I $x = 245$ m, som ligger i enden av kabel, kan innstrømming være forårsaket av overvann fra et område oppstrøms der fiberoptisk kabel ikke har blitt installert.

Konklusjon

Som konklusjon har installasjonen av fiberoptiske DTS kabler i Lykkjebekken nedslagsfelt i Trondheim har vist seg å være en solid og praktisk metode til I/I deteksjon. I tillegg er en kombinasjon av ulike I/I deteksjonsmetoder et verdifullt verktøy for å få nøyaktige og pålitelige data, f.eks. CCTV inspeksjon og røyktesting kan brukes for å underbygge DTS resultater. Til slutt kan resultatene av denne studien støtte beslutningstakere og operatører ved rehabilitering og

punktreparasjon av de problematiske delene av nettet, avhengig av utvalgskriteriene.

Referanser

Beheshti, M. (2019) 'Application of IAM in enhancing the performance of sewer networks, Assessment of Infiltration and Inflow of Extraneous Water', Ph.D Thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway, ISBN 978-82-326-3856-7.

Beheshti, M. and Sægrov, S. (2018a) 'Quantification assessment of extraneous water infiltration and inflow by analysis of the thermal behavior of the sewer network', *Water*, 10(8). doi: 10.3390/w10081070.

Beheshti, M. and Sægrov, S. (2018b) 'Detection of extraneous water ingress into the sewer system using tandem methods- A case study in Trondheim City', *Water Science & Technology*.

Beheshti, M., Sægrov, S. and Ugarelli, R. (2015) 'Infiltration / Inflow Assessment and Detection in Urban Sewer System', *Vann*, (1), pp. 24–34. Available at: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/01/Beheshti.pdf>.

Kracht, O. and Gujer, W. (2006) 'Tracer based quantification of sewer infiltration: experiences using natural isotopes ($\delta^{18}O$, δ^2H)', in *4th Swiss Geoscience Meeting, Bern*.

Langeveld, J. G. *et al.* (2012) 'Monitoring the performance of a storm water separating manifold with distributed temperature sensing', *Water Science and Technology*, 66, pp. 145–150. doi: 10.2166/wst.2012.152.

Peters, W. *et al.* (2002) 'Laboratory investigation on the sewage separation of a manifold', *Rioleringswetenschap*, 2(7), pp. 43–53.

Trondheim kommune (2013) *Hovedplan avløp og vannmiljø 2013-2014*, Trondheim, Norge. doi: 11/27828.