



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2021 30 stp**

Fakultet for matematiske realfag og teknologi

# **Fremmedvann og temperaturmålinger i avløpssystemet til Asker kommune**

Infiltration & inflow and temperature measurements  
in the sewer of Asker municipality

**Ole Jakob Orlie**

Vann- og miljøteknikk

Takk til

Først og fremst vil jeg takke Gud. For hva Han har laget, livet Han har gitt og den Han er.

Jeg vil og takke hovedveileder Ph.D og postdoktor Vegard Nilsen sammen med ekstern veileder, Ph.D og sivilingeniør Kristin Jenssen Sola. Takk for ideer, hjelp med planlegging og forbedring av måter å gjøre ting på. For å sette av tid, både i tide og utide, og dele av kunnskapen deres som om det var glass med vann. Takk for at dere har vært med å gjøre denne oppgaven mye bedre enn den ellers hadde blitt.

I tillegg må en takk rettes til tidligere og nåværende ansatte i Asker som har lagt til rette for at man kan bruke gode verktøy, finne nyttige data og sette det sammen. Dagens ansatte skal ha stor takk for at de hjalp med mange forskjellige problemer og både relevante og urelevante spørsmål. Spesiell takk til Carla De Jong for å stille opp på så mange spørsmål om arcmap og vise interesse. Takk også til ROSIM for å legge til rette for bruk av temperaturdata og norsk vannbransje for mye gratis tilgjengelig kunnskap. Takk også for de gode minnene jeg sitter igjen med fra medstudenter.

Takk til familie og venner for støtte og at dere viser interesse. Takk til tidligere forelesere, NMBU, fakultetet for matematiske realfag og teknologi, og studieretningen Vann- og miljøteknikk. Det har vært et bra sted å studere. Takk for mange spennende emner i programmet og dyktige, inspirerende folk til å lære dem av.

## Sammendrag

Siden 70-tallet har det blitt gjort undersøkelser i Norge med kamera, røyk, vannmålere og sporstoffer for å få kontroll på alt vannet som strømmer inn i avløpsledningene i Asker. Med tanke på å ta beslutninger med avløpssystemet i kommuner er det essensielt å ha informasjon om forskjellige muligheter og funksjonaliteten i ledningsnett. Etersom mange meter ledning over hele Norge er planlagt å skiftes ut de neste tiårene vil det kunne komme mange til gode å vite hvilke tiltak som kan gjøres i dag for å ha oversikt over andel av, og mulige årsaker til, fremmedvann framover.

Denne oppgaven sikter seg inn på å informere om andeler og tendenser knyttet til fremmedvann i Asker kommune de senere årene. Den vil undersøke enkle måter å spore og anslå mengder fremmedvann på, og diskutere hvilke egenskaper, forhold og hendelser som kan bidra til å forklare hvordan vannet kommer inn i ledningssystemet. Spesielt har oppgaven sett på om og hvordan temperaturmålinger kan brukes sammen med vannføringsmålinger for å påvise mengder av vann som uønsket havner inn i spillvannsnett.

Det har blitt samlet inn en rekke datasett tilhørende hvert målepunkt som er undersøkt for assosiasjoner til fremmedvann. Funnene viser at det er god assosiasjon mellom fremmedvann og temperaturmålinger for gjennomsnitt både over lange og korte perioder. Fremmedvann de siste 40 årene i Asker og omegn har ikke endret seg mye, men har de to siste årene hatt en ørliten økning. Dette blir vurdert å ha mye med nedbørsituasjonen i perioden å gjøre. Andeler fremmedvann i Asker kommune sitt ledningsnett har i tillegg til overraskende mye korrelasjon med temperatur, blant annet vist god assosiasjon med alder på ledningsnett. For nordlige deler av området ble det funnet assosiasjon mellom fremmedvann og areal på avløpsfeltets nedbørfelt. Det ble også funnet spesielt liten lineær korrelasjon mellom mengde fremmedvann og total lengde ledninger samt antall ledninger i avløpsfeltene.

Med automatiske (online-) loggede temperaturmålinger sammen med andel fremmedvann beregnet av vannbalanse-metoden for mange avløpsfelt, ble det forsøkt å estimere andel fremmedvann i et målepunkt, kun med temperaturmålinger fra punktet. Dette ble gjort både ved å holde andel fremmedvann konstant på et gjennomsnitt over årene og ved å se på andel fremmedvann hvert år. På grunn av at det kun er gjort et forsøk, må dette regnes som noe usikkert, men forsøket gav en feilmargen på kun 0.02 for den metoden med best resultat og 0.06 for den andre metoden. Det største avviket fra andel beregnet med vannbalanse-metoden lå på 14.4% når man varierte andel fremmedvann hvert år, mens det største avviket for metoden som kun varierte temperatur over årene var på 11% av mengde fremmedvann.

De senere år har det blitt gjort en rekke studier i forbindelse med årsaker til mengder av fremmedvann, varmtvannsforbruk i husholdninger og måter å oppdage fremmedvannproblemer på en effektiv måte. Ved å gjengi kunnskap fra slike temperaturstudier har det blitt anslått ett mulig intervall på 21-26.2°C, som sannsynlig avløpstemperatur ut fra husholdninger i Asker. I tillegg er lekkasje til overløp og utslipp fra skadede ledninger anslått å ligge på mellom 4 og 6% hvert år siden 2016.

Nedstengningen av samfunnet i mars 2020 ble antatt å forårsake økt minstestrømning av vann i ledningsnett. Noen uregelmessige hendelser som var vanskelig å forklare på noen annen måte ble observert her, men det er nødvendig med mer undersøkelse for å se om det er mulig å hente ut nyttige data som lokale pendlerbidrag.

## Abstract

Since the late 1970's there have been executed projects in Norway with CCTV, smoke, flow-meter and tracers to achieve control over all the water that flows into the sewer network in Asker municipality. To make good decisions for the sewer system is it essential to have information about possibilities and functionality of the pipe-system. Since many meters of pipes are planned to be sanitized in Norway the next decades it would be of a high value for a lot of people to know which actions that can be done today, to cause an enhanced overview of, and possible causes of I/I-water in the future.

This thesis will inform about share of I/I and tendencies I/I in Asker municipality are showing the last years. It will examine easy ways to track and estimate amounts of I/I water, and discuss which traits, circumstances and incidents that can help explain how the unwanted water are entering sewer-systems. The thesis are especially investigating how temperature-data together with data about waterflow can be utilized to assess shares of unwanted I/I water in the sewer.

A long list of different parameters related to each water-flow measurer, has been gathered and tested for correlation I/I-water. The results shows that it is good correlation between I/I-water and temperature-measurements, both on long and short periods of time. In the last forty years, the I/I-water in Asker has been very stable, but the last two years has seen a small increase. The reason for that is assumed to be mainly due to increased precipitation in the last two years. Amounts of I/I-water in Asker municipality's pipe-system have together with surprisingly high correlation with temperature, shown good association with age per meter for certain decades. For areas north in Asker are area the strongest correlated parameter. It was also found especially small correlation with amount of pipes and total length of them.

With online temperature-sensors together with I/I estimated from the water balance-method, it was examined whether it is possible to predict the I/I in one manhole, only with temperature-data from the sensor. This was executed both by keeping the share of I/I on a average level over the years, and by varying it together with temperatures every year. The results must be accounted uncertain since only one set of data was examined. Standard deviation of the best fitting method showed 0.02 and the other method showed 0.06. The biggest margin of fail was 0.144, and the other method that used only an average I/I over the years gave 11% deviation from the water-balance calculations.

The last years have seen a number of studies interconnected with reasons for I/I-water, hot water consumption in households and ways to detect problems with I/I water. Benefitting from some of this knowledge, it has been made an assumption of between 21 and 26.2°C as a probable sewer temperature right from households. In addition to this, the leakage to overflows and from damaged pipes have been estimated to 4-6% of household consumption every year since 2016.

It is an theory that the minimum flow of water through sewer pipes during the lock-down in 2020 increased due to lower commuting and higher presence of people in households. Some observed irregularities was difficult to explain with anything else than the shut-down. The results wasn't all agreeing, so more work should be executed to see if it is possible to assess the local share of water lost from households by commuters.



## Innhold

Innledning og forskningsspørsmål.....	1
Forskningsspørsmål.....	2
Gjennomgang av litteratur .....	3
Ledningsnett i Norge.....	3
Separate og kombinerte ledningsnett.....	3
Vannforbruk .....	3
Fremmedvann .....	4
Måter å beregne fremmedvann .....	4
Temperatur i avløpsvann.....	5
Temperaturer i avløpsvann i nordlige strøk .....	6
Andre studier med temperaturmålinger i Europa .....	8
Temperatur i avløpsvannet når det forlater husholdninger .....	10
Hva spiller inn på temperatur i avløpsvann nedover ledningsnettet?.....	15
Temperaturendringer i trykksatte ledninger.....	15
Regne på temperatur og vannføring .....	16
Temperatur i lekkasjesøk .....	17
DTS (Distributed temperature sensing).....	17
Et knippe kommuneplaner i Norge og hva de sier om fremmedvann .....	18
Metode.....	18
Studieområde.....	18
Prosess med å samle inn og håndtere data .....	23
Grad av representative data.....	23
Manuelle temperaturmålinger.....	23
Teknisk.....	24
Kalibrering av termometer (TENMA 72-2065A).....	24
Temperatur i Asker.....	24
Avløpssoner .....	26
Tilstandsrapport på ledningsnett og vannføringsmålere .....	28
Enkel tilstandsrapport på ledningsnett.....	28
Enkel tilstandsrapport om vannføringsmålinger.....	32
0-verdier og minusverdier fra vannføringsmålinger .....	32
Hastighet i vannføring og likhet mellom to punkter som ligger 900 meter unna hverandre .....	37
Situasjon rundt fremmedvann i Asker og omegn.....	38
Situasjon rundt fremmedvann i Asker-området .....	38
VEAS (vestfjorden avløpsselskap).....	39

Fosforbruk .....	39
Fremmedvannandel inn til VEAS .....	40
Variasjon i årsnedbør og fosforkonsentrasjon sett i sammenheng med hverandre.....	41
Nedbør.....	42
Resultater og diskusjon .....	45
Fremmedvann i kommunen .....	45
Lekkasjer fra ledningssystem.....	49
Korrelasjon mellom fremmedvann og andre parametere .....	49
Negativ korrelasjon til fremmedvann .....	49
Positiv korrelasjon med fremmedvann .....	53
Vannføringsmålinger i og rundt nedstengning av samfunnet i 2020.....	57
Nedbør og vannføring i mars-juli 2018-2021 .....	57
Analyse av automatiske temperaturmålinger .....	59
Gjennomsnittstemperaturer og vannføring.....	59
Periodevise sammenhenger mellom temperatur og fremmedvann .....	60
I hvilken grad man kan finne fremmedvann med automatiske temperaturmålinger .....	65
Manuelle temperaturmålinger.....	70
Utfyllende og overordnet diskusjon av resultater .....	71
Vannføringsmålinger .....	71
Nedbørmålinger .....	71
Fremmedvann .....	71
Spekulasjoner .....	72
Lekkasjer.....	72
Temperatur og fremmedvann.....	72
Manuelle temperaturmålinger.....	73
Bearbeide data .....	73
Konklusjon .....	74
Videre arbeid .....	74
Anbefalinger om videre arbeid.....	74
Anbefaling om tiltak i Asker kommune i forbindelse med fremmedvann, temperatur og ledningsalder .....	75
Feilkilder .....	75
Vannføringsmålinger .....	75
Automatiske temperaturmålinger.....	76
Manuelle temperaturmålinger.....	76
Verifisering .....	76

Kilder.....	77
Vedlegg.....	81
Del 1.....	81
Avløpssoner.....	81
Del 2, Fremmedvann og nedbør.....	89
resterende drenerende målepunkter .....	89
Del 3, Diverse figurer som ikke fikk plass.....	93
Del 1, Oversikt over utregning av årsspesifikt forhold mellom korrelasjonsmetoden og vannbalanse-metoden.....	93
Del 2, uferdige figurer fra nedstengning i 2020 for 2535.....	94
Del 3, 0-verdier og minus-verdier.....	95
Del 4, fordeling av vannføring per total ledningslengde, areal og pe.....	96
Vannføring per ledningslengde: .....	96
Vannføring per areal:.....	97
Vannførling per pe:.....	99
Punkter med ulike forhold på x-aksen: .....	101
Del 5, Fordeling av ledningslengde og alder samt antall ledninger .....	102

Figur 1	Temperaturmålinger i Søren Jaabekk's gate i april 1983 (Wedum, 1984).	7
Figur 2	Temperaturmålinger i Søren Jaabekk's gate i juni 1983 (Wedum, 1984).	7
Figur 3	Temperatur i Valer på vei inn til Kasper mottak i mars 2003 (Iversen et al., 2003).	8
Figur 4	Avløpstemperaturer i Østerrike i 2005 (Simperler, 2015).	9
Figur 5	Temperatur på avløpsvann fra litteratur i sentral-Europa (SIMPERLER 2015).	9
Figur 6	Oversikt over avløpsrensaneanlegg som tar seg av mer og mindre enn 150 000 PE60, og temperaturmålinger i innløp mellom desember og februar i tre år (2009-2012) (SIMPERLER 2015).	10
Figur 7	Foreslåtte produksjonsmønster og temperaturprofil for gråvann på ukedager og helger (Øvreik, 2018).	11
Figur 8	Energi til varmtvann i helger og ukedager (Øvreik, 2018).	11
Figur 9	Døgnvariasjoner i varmtvannsforbruk i leiligheter som staten gir de som trenger et sted å bo i forhold til leiligheter der folk bor som eier leiligheten selv (Ivanko, Walnum, Sørensen, & Nord, 2020).	12
Figur 10	Gjennomsnittlig månedlig forbruk av varmtvann i 49 leiligheter (Ivanko et al., 2020).	12
Figur 11	Gjennomsnittlig bruk av varmtvann i ulike klynger med data (Ivanko et al., 2020).	13
Figur 12	Figur som viser antall hus (y-aksen) med ulike forbruk i liter per dag (x-aksen) (George et al., 2015).	14
Figur 13	Hvordan en storm-hendelse ser ut i perspektiv av temperatur i en avløpsledning en vinternatt i Ede i Nederland under måling med DTS. Presisjon på omtrent 0.15°C (Schilperoort & Clemens, 2009).	17
Figur 14	Oversikt over vannføring og nedbørmålere sammen med høydekoter. Hvit er lavt og jo mer blått, jo høyere er det. Kommunegrense i grønt. Høydekoter brukt er med oppløsning på 1 meter.	19
Figur 15	Oversikt over vannområde og befolkning i Asker øst inndelt i personer per ruter på 250mx250m (62 500m <sup>2</sup> ) (Selvik, 2019).	20
Figur 16	Illustrasjon som viser områder påvirket av diffus lekkasje av avløpsvann (Vann og vannmiljø, 2021).	21
Figur 17	Type terreng og tetthet av bosetning i Asker (Vann og vannmiljø, 2021).	22
Figur 18	Posisjon for grunnmålingstemperaturer (Elvebakk, 2012)	25
Figur 19	Temperatur og temperaturgradient nedover jordprofilen i området mellom Blakstad og Slemmestad 2. desember 2004 og 25. november 2006 (Elvebakk, 2012). Vist med 20 m akkumulerte endringer i temperatur og 100m til høyre og i midten (Elvebakk, 2012).	25
Figur 20	Avløpssoner i tidligere Asker kommune. 1:80 000.	26
Figur 21	Avløpssoner i tidligere Røyken kommune. 1:80 000.	27
Figur 22	Avløpsledninger i rødt, 25 meters høydekoter i blått med gradering, Nedbørmålestasjoner i blått og vannføringmålepunkter i rødt. Merk forholdet mellom kart og virkelighet er 1:150 000.	28
Figur 23	Alder og ledningslengde og antall ledninger per november 2021 for kum nr. 19 i Asker.	29
Figur 24	Alder og ledningslengde og antall ledninger per november 2021 for kum nr. 19 i Asker.	29
Figur 25	Sortert ledningsalder for ledninger i Vakås-området.	32
Figur 26	Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 176530, plottet med døgn-nedbør for Spikkestad og Vardåsen mellom mars 2018 og august 2021.	33
Figur 27	Minusverdier for vannføring i 176530, plottet med nedbør for Spikkestad mellom 30.09.19 og 03.10.19.	34
Figur 28	0-verdier for vannføring i 176292, plottet med nedbør for Sydsbogen mellom januar 2021 og august 2021. Siste perioden rettes antagelig av utstyrsleverandør etter hvert.	34
Figur 29	Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 174283, plottet med nedbør for Spikkestad og Vardåsen mellom mars 2018 og august 2021.	35
Figur 30	0-verdier for vannføring i 2535, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom januar 2021 og august 2021.	36

Figur 31 Verdier av 0 for vannføring i 2535, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom 03.08.16 og 08.08.16.....	36
Figur 32 Oversiktsbilde over avløpsledninger og avstand mellom 7600 og 160376. (Høydedata.no) .	37
Figur 33 Hvordan vannføring i 7600 korrelerer med vannføring i 160376 .....	37
Figur 34 Oversikt som viser hvordan avløpsvannets konsentrasjon av fosfor har vært inn til VEAS....	41
Figur 35 Total-P inn til VEAS og vektet nedbør fra Asker SN19710 og Blindern sett i forhold til hverandre. (2011-2021) .....	42
Figur 36 Total-P inn til VEAS og vektet nedbør fra Asker SN19710 og Blindern sett i forhold til hverandre. (2007-2021) .....	42
Figur 37 Oversikt over årsnedbør for nedbørmålere i Asker siden 2015. Målingene viser total nedbør mellom august og august. Sydsbogen skole er vektet og gir et unøyaktig bilde. ....	43
Figur 38 Nedbør per måned for nedbørstasjoner i Asker. ....	43
Figur 39 Oversikt over maksverdier av ulike tidsintervaller for de forskjellige nedbørstasjonene. ....	44
Figur 40 Gjennomsnittlige målinger av nedbør og andel målinger med regn i måleserier. Høyde er i meter hhv fra Mellom-Nes til Spikkestad: 30, 163, 115, 196, 20, 117, 139 meter. ....	44
Figur 41 Skalert oversikt over målepunkter for vannføring og nedbør. Mørkeblå punkter er nedbørmålere.....	45
Figur 42 Fremmedvann gjennom hvert vannføringsmålepunkt, hvert år siden oppstart av måleserier. ....	46
Figur 43 Oversikt over årsnedbør for nedbørmålere i Asker mellom 2015 og 2021. Målingene viser total millimeter nedbør mellom august og august. Andel fremmedvann er lagt inn i fiolett.....	47
Figur 44 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2017-2018.....	47
Figur 45 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2018-2019.....	48
Figur 46 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2019-2020.....	48
Figur 47 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2020-2021.....	48
Figur 48 Negativ korrelasjon mellom ledningers alder, lengde og fremmedvann.....	51
Figur 49 Hvordan temperatur og temperatur sammen med vannføring korrelerer med fremmedvann. ....	52
Figur 50 Korrelasjon mellom ledningslengde og andel fremmedvann totalt. ....	54
Figur 51 Vannføringsparametere og korrelasjon med total fremmedvannandel.....	55
Figur 52 Hvordan andre parametere korrelerer positivt med fremmedvann. ....	56
Figur 53 Vannføring og nedbør i 7600 i 2019 året før nedstengning.....	57
Figur 54 Vannføring og nedbør i 7600 under nedstengning i 2020. ....	58
Figur 55 Vannføring og nedbør i mars 2021for 7600, året etter nedstengning.....	58
Figur 56 Fremmedvann for måned og gjennomsnittlig temperatur August - Desember 160376 2017-2021.....	60
Figur 57 Fremmedvann for måned og gjennomsnittlig temperatur Vår april-juli 160376 2017-2021 .	61
Figur 58 Fremmedvann for måned og gjennomsnittlig temperatur vinter januar-mars 160376 2017-2021.....	61
Figur 59 Korrelasjon døgn fremmedvann og døgn temperatur .....	62
Figur 60 Korrelasjon mellom temperaturer for 2535 og 160376 sett sammen. ....	63
Figur 61 Månedlig sammenligning av nedbør og fremmedvann i 6490 og 160376.....	63
Figur 62 Gjennomsnittlig temperatur og fremmedvann i snitt for målepunkter over hele perioden (uten 2535). ....	64
Figur 63 Fordeling av vannføring per total ledningslengde. ....	66
Figur 64 Fordeling av vannføring per person for avløpsfeltet.....	66
Figur 65 Manuelt målte temperaturer og automatisk målte temperaturer i kummer oppstrøms vannføringsmålere. ....	71

Tabell 1 Temperatur på drikkevann i Asker kommune. ....	13
Tabell 2 Tørrværstilskudd og tilsvarende fremmedvannandel for Asker og Slemmestad i 1983 og 1984. ....	38
Tabell 3 Fremmedvannandeler for Asker basert på data fra 1984, 2008, 2010 og 2016. Merk at tallet fra 2010 er justert til $140 \text{ l}/(\text{PE} \cdot \text{d})$ for å lettere kunne sammenlignes i denne tabellen. Originale data er hentet fra (Vråle, 1984), (Lindholm 2011) og (Jenssen Sola, Bjerkholt et al. 2018). ....	39
Tabell 4 Oversikt over påslipp til VEAS på 70- og 80- tallet (Vråle, 2011), ta høyde for både dårlige målepunkter, forenklinger og unøyaktigheter. Noen av industripåslippene kan være satt kunstig høyt. PE står for personheter fra både industri og husholdninger (Vråle, 1984). Det står for 70 g $\text{BOF}_7/\text{døgn}$ . ....	40
Tabell 5 Fremmedvann for hvert målepunkt over hele tidsserien.....	45
Tabell 6 Lekkasetall fra overløp og ledningsmangler for Asker og Røyken sammen. ....	49
Tabell 7 Temperaturer i vannføringen for 160376 mellom februar og mai 2018-2021. ....	58
Tabell 8 Oversikt over temperatursnitt og temperatur sett i forhold til respektiv vannføring på tidspunktet for målingen.....	59
Tabell 9 Hvor nærme man kan anslå fremmedvann ut fra Temperaturmålinger over et år. Gitt at man har data fra målepunkter som ligger langt nede i avløpsfeltene å sammenligne med. Punktene brukt er 160376, 6490, 1530, 10286, 8399 da det er funnet gjennomsnittlige temperaturer hvert år for disse målepunktene. ....	69
Tabell 10 Hvor nærme man kan anslå fremmedvann ut fra Temperaturmålinger i 3779 over et år. Gitt at man har data fra lignende målepunkter å sammenligne med. Kun data fra tre ganske lignende områder. Fremmedvann som sammenlignes med er her totalt for punktet for hele perioden det er i drift. Alle punktene brukt her ble startet opp innenfor en halv måneds tid i juni-juli 2017. Korrelasjonen er gitt fordi ikke alle måleseriene var mulig å få 100% til å korrelere med hverandre selv når punktet 3779 ble variert mot de andre. ....	69



## Innledning og forskningsspørsmål

En beretning fra 1. mosebok forteller at Gud sa at det skulle bli en hvelving som skiller vann fra vann, vannet over himmelen fra vannet under den (Gud). Til forveksling likt hva vannbransjen i Norge ønsker å gjøre i disse dager; å skille fremmedvann fra spillvann. Fremmedvann er et begrep som ofte brukes for å beskrive alt vann i spillvannsførende ledninger som ikke er spillvann (Jenssen Sola et al., 2019; Lindholm, 2011). Dette vannet, fremmedvannet, utgjør en utfordring i mange norske kommuner fordi det reduserer funksjonaliteten til avløpssystemene våre.

Å senke fremmedvannmengder er stikk i strid med hvordan norsk natur virker å samarbeide med spillvannsnettene våre. Vann kommer seg gjennom der det får mulighet og det gjør det til gagns her til lands (Oddvar G. Lindholm, 2011). Det bør likevel reduseres mange steder, blant annet på grunn av at fremmedvannet opptar sårt tiltrengt kapasitet i ledninger og renseanlegg. De neste tiårene virker det som det er vilje til å investere mange kroner for å utbedre ledningssystemer og renseanlegg (Brevik, 2021; Mattilsynet, 2019). Dette behovet reiser seg på grunn av strenge krav om forurensningsutslipp og i noen tilfeller, økende hydraulisk belastning fra samfunn og miljø generelt.

Fremmedvannmengder varierer over flere forskjellige tidsperioder innad i året og over året sett over ett. I perioder vil det enkelte steder kunne overstige normal vannstrøm mer enn 10 ganger (Vråle, 1984). Er det mye fremmedvann vil det gå mer vann gjennom pumper som fører til høyere energikostnader og mer slitasje på utstyr. Samtidig vil det oftere gå så mye vann at ledninger, pumper og renseanlegg ikke klarer å bearbeide vannmengdene, slik at fortynnet avløpsvann slippes urensset ut til resipienter, eller stuver seg opp til uønskede steder. Renseanlegg får også dårligere renseseffekt dersom det må rense store volum uttynnet avløpsvann (Vråle, 2011). Dette kan i sårbare områder føre til at rensegraden kommuner blir pålagt å overholde av øvrige myndigheter ikke blir oppfylt (Lovdata, 2007, lovdata; Berge 2021).

For å sette fokus på problemene rundt fremmedvann, skaffe seg oversikt og skjønne dem, har mange kommuner mer eller mindre frivillig (Haraldsen, 2013) startet å overvåke vannføring i avløpsnettene. Dette er for om mulig å gjøre tiltak som hjelper mot påfølgende uheldige konsekvenser. Samtidig blir det utarbeidet målsetninger både blant statsforvaltere og i kommunene om å redusere fremmedvann ned mot 30%, og med 30% nasjonalt innen 2030 (Weng, Grimsgaard 2012; Norsk Vann 2017).

Bedrevann er et prosjekt som samler inn data fra omtrent 70% av kommunalt tilknyttede innbyggere i Norge, fordelt på 76 kommuner. For kommuner som er med i prosjektet Bedre Vann er det beregnet at det på landsbasis er en fremmedvannsandel på 58 %, for kommuner med delvis fellessystem i 2019 (BedreVann, 2020). Fremmedvann er ikke bare en utfordring for kommuner med mye fellessystem, det er også en utfordring for noen av kommunene som separerer store deler av ledningsnettene. For disse kommunene utgjorde gjennomsnittlig fremmedvannstilførsel 34 %.

Denne oppgaven kommer til å handle mye om Asker og fremmedvannet i deres spillvannsnett. De er en av kommunene som er med i bedreVann-prosjektet og som baserer arbeidet sitt på tilbakemeldinger fra bedreVANN sammen med FN's bærekraftsmål (Funderud, 2020). Siden 2020 har de jobbet mye med en ny temaplan som vil kaste lys over videre planer for avløpshåndtering og som i desember 2021 er på høring.

Noen deler av Asker kommune har et ledningsnett som kun er separat. Likevel undres man på hvorfor det er så lav separasjonsgrad på avløpsvannet, når hele nettet er separert (Jenssen Sola,



Bjerkholt, Lindholm, & Ratnaweera, 2021; Vråle, 1984). I utgangspunktet skal separate ledningssystemer være mindre påvirket av nedbør (Bruaset, Rygg, & Sægrov, 2018). Undersøkelser i områder rundt Asker (Mellom Arendal, Bergen og Hamar) viser at det gjerne kommer fremmedvann inn i avløpsnettets som en konsekvens av nedbør, ledningsnett-løsninger med avløpsvann og overvann sammen, alder på ledningsnett og drikkevannlekkasjer (Jenssen Sola et al., 2019). Kan noen av disse parameterne forklare fremmedvannmengder også i Asker kommune?

I en hovedplan fra tidligere Røyken kommune spekuleres det i om at utette kummer, dårlige skjøter i betongledninger, fellesledninger og eldre pumper gir høy fremmedvannandel (Bakken, Andersen, & SWECO, 2016). Det ble satt opp mål om å opparbeide seg et system for å dokumentere tap fra ledninger i avløpsnettets (Bakken et al., 2016) og i mangel på gode data på fremmedvann ble det vedtatt å oppnå «en lavere andel fremmedvann». Dette må kunne gjøres på en mer kunnskapsbasert måte i fremtiden og derfor er det i denne rapporten blitt gjort undersøkelser for å gi bedre lokale anslag på fremmedvannandelene i dette området og noen områder lengre nord i Asker. Disse områdene (Asker, Røyken, Tofte) var før separate kommuner, men er nå slått sammen til Asker kommune.

Det finnes flere måter å undersøke fremmedvann på. Man kan blant annet gjøre temperaturmålinger med sensorer fra fiber-optiske kabler som man legger langs vannføringen i avløpsledningene (Beheshti & Sægrov, 2018), måle en type tracer i vannet (Beheshti & Sægrov, 2018; Lindholm 2011; Solberg, 2017), eller se på vannføringsmålinger og anta hvor mye det burde vært i vannføring ut fra lekkasjer, og forbruk fra husholdninger, næringsvirksomhet og industri. Denne oppgaven vil bruke sistnevnte metode, med vannføringsmålinger, sammen med temperaturmålinger manuelt og automatisk fra 38 300 (40%) av Asker kommunes innbyggere. Slik vil kanskje enkle og billige måter å oppdage fremmedvann i avløpsnettets bli videreutviklet.

Siden 2020 har samfunnet i Norge vært stengt ned og dette har ført til mange endringer; fra redusert avfall fra flyplasser, mer individuell tilstedeværelse hjemme, og mange andre aspekter både nasjonalt, globalt og lokalt (Melbøe, Hirsti, Gjærum, & Kane; Nordengen, 2021; Onstad, 2021; Steinset, 2021). Sett i lys av mønstre for utslipp av avløpsvann vil dette bli sett på. Håpet er å finne tendenser som en konsekvens av nedstengning sett ved enkelte vannføringsmålere i og rundt 2020 i avløpsnettets i Asker.

Med dette som bakgrunn er det valgt å utforme noen forskningsspørsmål som oppgaven skal redegjøre for:

## Forskningsspørsmål

1. Hvor store er de gjennomsnittlige fremmedvannmengdene i utvalgte avløpssoner i Asker?
  - 1.1. Hvilke karakteristika ved de ulike avløpsfeltene korrelerer best med gjennomsnittlige fremmedvannandeler sammen med nedbør?
  - 1.2. Hvordan endrer fremmedvann-andelene seg over tid?
  - 1.3. Kan det hentes ut noe informasjon av forandringer i vannføring under nedstengning av samfunnet i 2020?
2. Kan man bruke online-logget temperatur i vannføringen som en indikasjon på fremmedvannmengder?
3. Vil sporadiske vannføringsprøver av temperatur kunne påvise hvor fremmedvann lekker inn i ledningsnettets?
4. Hvilke historiske anslag på fremmedvann kan man finne i området Asker og inn til VEAS

- 4.1. Hva kan man se av forhold mellom fosfor inn til VEAS og nedbør i området til ledningsnettets mot renseanlegget? (VEAS står for Vestfjorden avløpsseksjon)

## Gjennomgang av litteratur

### Ledningsnett i Norge

Norge har et ledningsnett som stort sett består av en overvannsledning, en avløpsledning og en vannledning. De samarbeider om å føre vann til forbruker, fra forbruker og bort fra der vannet kan utgjøre risiko. Ofte ligger ledningene i samme grøft og med varierende, og noe kort avstand til hverandre. Vannledninger er satt under trykk og de fleste avløpsledninger og overvannsledninger drives av selvføll. Normalt skal det være en eller flere kummer omtrent hver 40. meter som tilbyr tilgang til de ulike ledningsnett.

Ledningsnettets har per mars 2020 omtrent 39 000 km registrerte kommunale spillvannsledninger. Disse ligger ofte i nærheten og i samme grøft som mange av de omtrentlig 19 520 km overvannsledninger og 49 650 km vannledninger. I tillegg står private stikkledninger for omtrent like mange km som kommunale avløpsledninger. Kommunale avløpsledninger inkluderer både 32 000 km separate avløpsledninger og 7 000 km fellesledninger for avløp og spillvann (SSB, 2021). Avløpsledningene frakter 85% av Norges innbyggeres avløpsvann.

For å sikre trygge vannledninger og unngå overvann i avløpet, ligger gjerne avløpsledninger midt i grøfta på den ene siden eller midt imellom, over overvannsledningene, men under vannledningene. Dette gjøres stort sett bare i Norge, men likevel er Norge blant landene med mest fremmedvann i avløpsnettets (Jenssen Sola et al., 2019).

### Separate og kombinerte ledningsnett

Som nevnt innledningsvis strebes det over hele Norge etter å «lukke» ledningsnettets. Med dette mener man å skille spillvannsnett fra overvannsnett. Dette er for å kunne håndtere ulike forurensninger i vannet effektivt og på ulike måter samt at separate ledningsanlegg gir mindre fare for tilbakeslag i kjellere og lavere kostnader for renseanlegg og pumper (Ødegaard, 2014, p. 580). For eksempel vil man at vann med mye patogene smittestoffer skal holdes unna menneskelig aktivitet og vann med mindre av denne typen forurensning vil man lede på trygge måter til nyttige formål eller ut i gode resipienter og hav (Oddvar Lindholm et al., 2008). I forhold til temperatur og fremmedvann, kan man se betydelige forskjeller i separate og kombinerte ledningsnett. Dette er blant annet vist og diskutert av Jenssen Sola et al. (2019); Torres (2013) og Simperler (2015).

### Vannforbruk

På slutten av 1900-tallet ble det gjennomført undersøkelser av hva faktisk spesifikt forbruk egentlig er i Norge (Vråle, 1984; Vråle, 1985). Historisk har dette vært satt rundt 200 l/pd eller høyere, på bakgrunn av avløpsmengder inn til renseanlegg og vannproduksjon over hele Norge. Det ble funnet at det i noen nybyggede områder (blant annet et område som ligger i avløpsfeltet til vannføringspunkt «174934» i Asker) er forbløffende lave forbruk i forhold til hva man gikk ut fra til vanlig (Vråle, 1984; Vråle, 1985; Vråle & Dupont, 2012). I dag finner man at spesifikt vannforbruk stort sett ligger på 130-145 liter i døgnet per person (heretter omtalt som [l/pd]) basert på hva man ser fra vannmålere i Norge (Ødegaard, 2014) og i Sverige (Vatn, 2021). Å bruke 140 l/pd har noen slagkraftige støttespillere (Vråle & Dupont, 2012). Blant annet er det anbefalt av Norsk Vann (Sivertsen, Bomo, & SINTEF, 2016), brukt i Norsk Vann-prosjektet (BedreVann, 2020) og brukt i en phd-oppgave i Asker-området (Jenssen Sola, Bjerkholt, Lindholm, & Ratnaweera, 2018). Med bakgrunn i dette og tidligere studier i Asker kommune, vil 140 l/pd bli brukt i denne oppgaven. Sett ut fra målinger fra Sydslogen i Asker er dette bortimot blink (Vråle, 1985; Vråle & Dupont, 2012).

Andre kommuner og rapporter legger gjerne den spesifikke avløpsproduksjonen fra husholdninger noe høyere, som 160 l/pd (Engan, 2021), (Oddvar G. Lindholm, 2011) og (Gammelsæter, 2015). Noen steder ville 140 l/pd blitt veldig feil, men antagelsen er at i Asker kommune er den faktiske produksjonen rundt dette. I områder der man ikke har noe oversikt burde det likevel brukes høyere andeler som en sikkerhet ved dimensjonering av ledningssystem og renseanlegg. I områder med mange enkeltboende kan 140 l/pd fort bli et dårlig estimat.

Det ble også funnet av (Vråle, 1984) at dersom man dividerer tilførslene til SRV (påslippsledning til VEAS) med totalt antall hydrauliske PE får man 1.16 gP/(pd). Den gang brukte man 200 l/pd. Tar man et gjennomsnittlig P- forbruk på 1.7 gP/(pd), (se avsnitt mengde fosforbruk), får man at dimensjonerende forbruk avløpsvann er 136.5 l/(pd).

## Fremmedvann

Fremmedvann består volummessig hovedsakelig av vann fra en svakt varierende strøm av grunnvannsforekomster, men også av mer flyktige strømmer av grunnvann, overflatevann fra nedbør og snøsmelting (Jenssen Sola et al., 2019; Norconsult\_AS, 2021; Oddvar G. Lindholm, 2011). Dette kommer inn i avløpsledninger ved feilkoblinger, svikt i ledninger og kummer samt ved sluk i fellessystemer. I tillegg har man høyvann, fordampning, frysing og intersepsjon som mer indirekte påvirker fremmedvannsandelene i avløpsnett. I tillegg til avløp fra husholdninger mottar avløpsnett vann som kommer fra andre kilder. Dette blir ofte karakterisert som fremmedvann når man har separate avløps- og overvannsledninger, men også blant noen når det er mye fellessystem også (Oddvar G. Lindholm, 2011). Slikt vann gir både fordeler og ulemper i et ledningsnett, men skal i utgangspunktet ikke være i avløpsledninger i separate distribusjonssystemer. Det kan bidra til økte kostnader for drift og anlegging av renseanlegg og pumpestasjoner og naturen vil kunne bli nødt til å håndtere mer direkte utslipp av fortynnet avløpsvann til vannforekomster (Jenssen Sola, Bjerkholt, Lindholm, & Ratnaweera, 2020).

Å observere hvordan fremmedvann endrer seg kan si noe om tilstanden i distribusjonsnett. Blant det man kan anslå noe av ut fra fremmedvannandeler og observasjon av fremmedvann er ledninger og kummer sin generelle tilstand i et nettverk, feilkoblinger og lekkasje i drikkevannsledninger (Jenssen Sola et al., 2019). Mønstre for grunnvannstrømninger, nedbørshendelser i og oppstrøms område og temperaturforhold er faktorer som virker inn på andel fremmedvann. I Norge har vi i gjennomsnitt rundt en meter nedbør som fordeler seg ved hjelp av tyngdekraft på hvert punkt i landet. Dette vannet vil bevege seg nedover mot havet og enkelt områder får da mye mer gjennomstrømning enn andre. Dersom det ligger ledninger der vannet samler seg på vei nedover vil man kunne få mye innlekking.

Gitt f.eks. at man har en skråning som heller mot en fjellside i et terreng som leder vannet vinkelrett på skråningen ned mot havet. Da vil mesteparten av vannet fra nedbørsfeltet til terrenget helle mot fjellsiden. Dersom det ligger ledninger og kummer inntil fjellsiden nederst i skråningen vil denne fort kunne være under grunnvannsspeilet i store deler av tida. Om grunnvannsspeilet hever seg vil trykket inn i ledningen øke og man får mer innlekking enn man vanligvis har. Her vil det og spille inn hva slags grunnforhold man har og hvilke partier som er dekket av ikke-permeable lag og lignende.

## Måter å beregne fremmedvann

To brukte metoder å anslå andelen fremmedvann i et avløpsnett på er sporstoff- og vannbalanse-metodene (Lindholm, 2011; Vråle og Fagrådet, 1994). Sporstoff-metoden går ut på å velge seg et sporstoff som man stoler på at finnes mer eller mindre jevnt utover måleperioden. Et mye brukt sporstoff er fosfor som man gjerne finner en viss mengde av per liter avløpsvann (ofte rundt 1.8g)(Oddvar G. Lindholm, 2011). Om en finner konsentrasjonen av sporstoff i avløpsvannet og vet

hvor mye det egentlig skulle vært per liter, kan man skalere opp faktisk fosforkonsentrasjon fra antall PE og sammenligne det med fosforkonsentrasjon i avløpsvannet. Dermed kan det beregnes hvor mye vann man må ha fått inn på ledningsnett. Dette forutsetter at man kan anslå konsentrasjon fosfor med god nøyaktighet og at det gjøres antagelser på mengde vann som lekker ut eller fosfor som lekker inn på vei gjennom ledningsnett. Den andre metoden er å se på hvor mye vann som går gjennom ledningene og anslå hvor mye vann som skulle ha gått der. Dette gjør man gjerne ved å ta et gitt forbruk per person og gange opp med antall personer og legge til bidrag fra industri.

### Formler:

Sporstoff metoden:

$$\frac{1 - \text{Faktisk konsentrasjon sporstoff i avløpsvann}}{\text{Antatt konsentrasjon sporstoff fra PE}} * 100 = \text{Fremmedvann (I/I) [\%]}$$

*Formel 1 Sporstoff-metoden*

(Jenssen Sola, Bjerkholt et al. 2018; Lindholm 2011)

Vannbalanse-metoden:

$$\frac{\text{Vannmengde målt i ledningsnett} - \text{Antatt vannmengde fra bevisst påslipp}}{\text{Vannmengde målt i ledningsnett}} = I/I \quad [\%]$$

*Formel 2 Vannbalanse-metoden*

*I/I* - «infiltrasjon & inflow» (i praksis infiltrasjon og feilkobling per total mengde volumstrøm)

(Jenssen Sola, 2018; Fagrådet og Vråle, 1994)

Vannbalanse-metoden egner seg bra under norske forhold når det er en grei mengde vann i rørene, men kan gi litt begrensede resultater ved lav eller rask vannføring (under 5 cm og over 3 m/s) siden vannføringsmålere kan ha dårlig deteksjon da, og det blir mye usikkerhet i dataene (Beheshti & Sægrov, 2018; Jenssen Sola et al., 2021; G. Lindholm, Nordeidet, Ratnaweera, & Aasgaard, 1999). Det er og nyttig å analysere nedbør og lufttemperatur sammen med vannføringsmålingene for å se hvordan ledningsnett reagerer på nedbør og anslå grunnvannsendringer på temperatur og mengde (Beheshti & Sægrov, 2018).

Stort sett vil det i denne oppgaven sees bort fra lekkasjer fra avløpsledningene og overløp når det beregnes fremmedvann, men dette fører til unøyaktigheter i begge formlene. I vannbalanse-formelen vil det påvirke fremmedvannverdiene så det blir mindre, mens for sporstoff-metoden vil det føre til mindre konsentrasjon av sporstoff på punktet man observerer konsentrasjonen og følgende høyere fremmedvannverdier enn det kanskje ellers er. Det er og verdt å nevne at sporstoff metoden med fosfor som sporstoff nok regnes som mer nøyaktig enn vannbalanse-metoden (Beheshti, Sægrov, & Ugarelli, 2015; Jenssen Sola et al., 2018). Det vil og benyttes personekvivalenter kun fra boliger i mange av beregningene i oppgaven, da mange av de undersøkte områdene antas å ikke motta eller motta veldig lite avløpsvann fra industri.

## Temperatur i avløpsvann

De siste årene har forskning på temperatur i avløpssystemer tatt seg litt opp (Simperler, 2015). Når man ser på temperatur i avløpsledninger er det stort sett i forbindelse med å nyttiggjøre seg energien i varmegjenvinning (Alejandro Figueroa, et al. 2021; Bischofsberger & Seyfried, 1984;

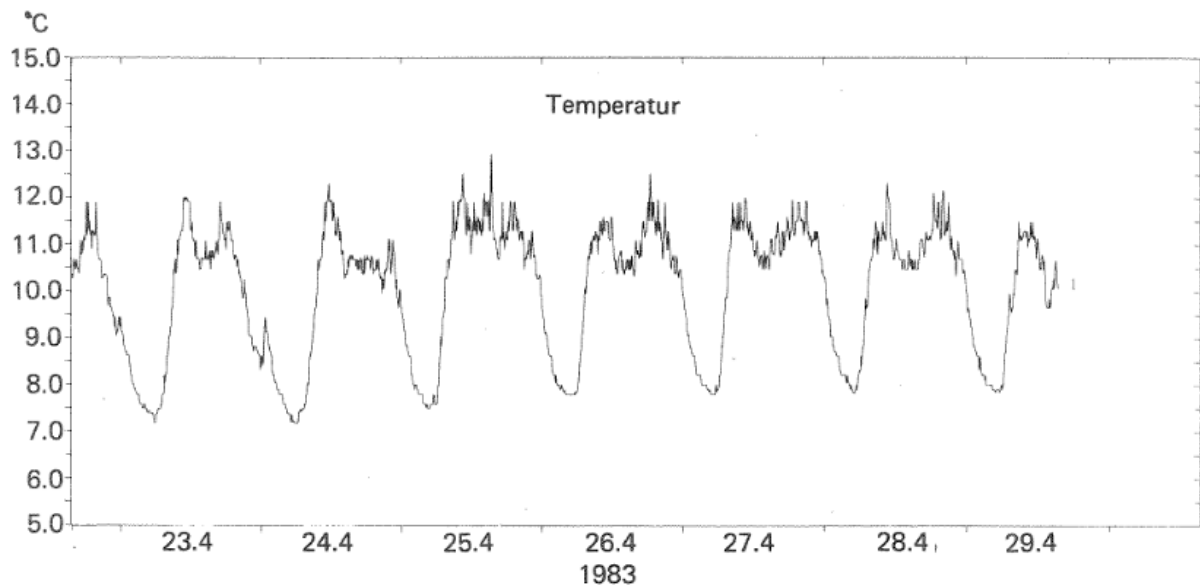
Dürrenmatt & Wanner, 2014; Øvrevik, 2018), lekkasjesøk og innlekking (Beheshti & Sægrov, 2018; Panasiuk et al., 2019; Selker & Selker, 2018), avløpsvann i overløp (Hofer et al., 2018), ledningsnettets innflytelse på avløpsrensing (Sallanko & Pekkala, 2008), eller i forbindelse med undersøkelse av potensialet for korrosjon i rørene (Thiyagarajan, Kodagoda, Ranasinghe, Vitanage, & Iori, 2018; Ward et al., 2011). Det er ikke unaturlig at det har et bredt spekter av funksjonsområder da temperaturmålinger både er enkelt å gjøre (Haimi, Mulas, Corona, & Vahala, 2013), og svært nyttig i mange sammenhenger (Childs, Greenwood, & Long, 2000).

Når det kommer til korrosjon, registrering av overløp, være en parameter for avløpsvann-rensing og på en måte i lekkasjesøk, fungerer temperaturmålinger som en virtuell sensor som sier noe om potensialet for noe annet. Da er det ikke egentlig temperaturen man er ute etter, men effekten temperaturen har på noe annet, eller årsaker til at temperaturen er som den er.

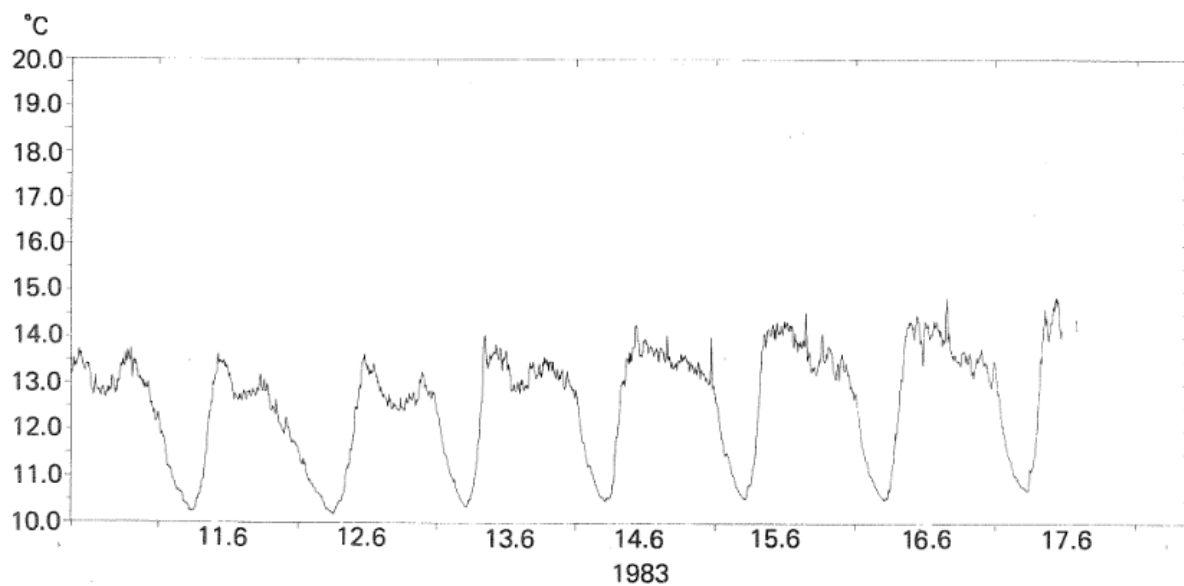
I forbindelse med varmegjenvinning ble det i 1984 gjort en studie på separate og kombinerte avløpsledninger i Hamburg mellom April og Mai. Den viste en gjennomsnittlig temperatur som varierte mellom 12°C og 21°C (Bischofsberger & Seyfried, 1984, hentet fra; Simperler, 2015). De fant lite forskjell på temperatur, men de fant faktisk en grad celsius høyere gjennomsnittstemperatur i kombinerte ledningssystemer enn i separate og at avløpsvannet som kom inn i ledningene kjapt fikk en temperatur som korrelerte med grunnvannstemperaturen. Videre er det gjort flere studier rundt temperatur i avløpsvann i senere tid i sentrale og sydlige områder i Europa (Cipolla & Maglionico, 2014; Simperler, 2015). I nordlige strøk er vi nok mindre representert, men et kort litteratursøk gav i det minste noe fra Canada (George, Pearre, & Swan, 2015), Norge, (Plósz, Liltved, & Ratnaweera, 2009; Wedum, 1984) og Finland (Sallanko & Pekkala, 2008).

#### Temperaturer i avløpsvann i nordlige strøk

I Norge ble det tatt temperaturmålinger enda tidligere enn undersøkelsen i Tyskland, men i litt mindre skala og studien var mer fokusert mot ammonium (Wedum, 1984). Studien ble gjennomført mellom 22. og 29. april (Figur 1) og 10.-17 juni 1983 (Figur 2) i Søren Jaabekks gate. Det ble anslått at 74% av arealet med avløpsledninger var fellessystem. De 5 første dagene viste at det var korrelasjon mellom temperatur og vannføring (Figur 1). Dette er bra i samsvar med studier gjort i sentrale områder i Europa og med folk som har gjennomført undersøkelser med DTS (Distributed temperature sensing) i Norden (Beheshti & Sægrov, 2018; Sandberg, 2021; Tomperi, Koivuranta, Kuokkanen, & Leiviskä, 2017). Dataene i analysen fra 1983 kommer fra målinger der det er gjort nøye oppfølging av utstyr hver uke. Tallene de fant fra denne vesle studien viste at hvis du sammenligner temperaturen i juni og i april for dette området i Oslo så er maksimumstemperaturen om dagen ganske lik, mens minimumstemperaturen har økt med rundt 2°C.

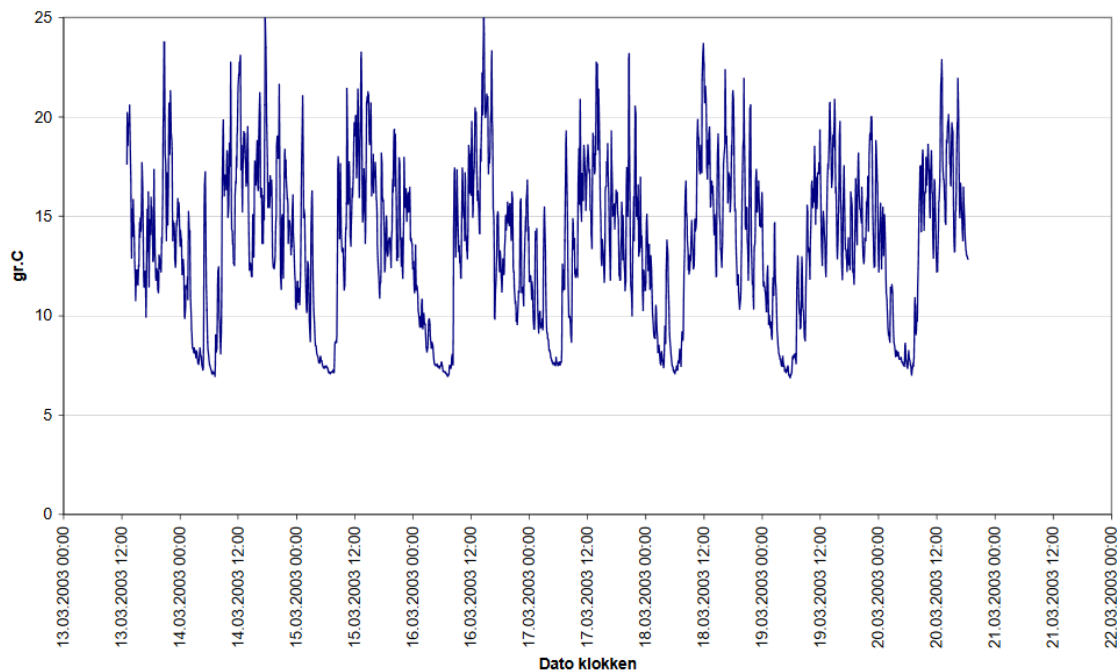


Figur 1 Temperaturmålinger i Søren Jaabekk's gate i april 1983 (Wedum, 1984).



Figur 2 Temperaturmålinger i Søren Jaabekk's gate i juni 1983 (Wedum, 1984).

Videre er det gjort undersøkelser i forbindelse med en utslippssøknad i et lite avløpsreanseanlegg i Valer (Figur 3) mellom 20 februar og 22. mars i 2003 (Iversen, Johansen-Stene, & Oredalen, 2003). De målte mellom 7 og 27 °C fra 20.februar til 20. mars. Så høye verdier (26.5°C) ble også beskrevet av (Simperler, 2015) i innløp og utløp av 16 overløpspunkter (og to kummer) i et 23 km langt kombinert ledningsnett i Østerrike. Opplysningen var måling hvert tredje minutt.



Figur 3 Temperatur i Valer på vei inn til Kasper mottak i mars 2003 (Iversen et al., 2003).

I Valer ble minimumstemperaturen utover i mars lavere (fra 10°C ned mot 7°C), mens maksimumstemperatur varierte mer (Iversen et al., 2003). Lufttemperaturen økte gradvis så antagelig skyldes variasjonene i vanntemperatur innlekking av snøsmeltet vann. Dette kan man blant annet se ved at maksimumtemperaturen synker kraftig uka etter regnhendelsen i perioden. Ellers i Norge er det i tre forskjellige perioder på 40, 50 og 55 dager funnet gjennomsnittstemperaturer på 11.54, 9.72 og 13.83 i Trondheim i 2013 (Daniele Di Trapani, 2013). Her er perioden med den laveste gjennomsnittstemperaturen i en typisk snøsmeltingsperiode og enkeltmålinger kom opp i 18°C for den siste perioden (Daniele Di Trapani, 2013).

#### Andre studier med temperaturmålinger i Europa

I England ble det foretatt en liten studie som viste avløpsvann-temperaturer i avløpsnettene hvert 5. minutt over en to-måneders periode mellom februar og april. De fant verdier mellom 12 og 17°C og at to kummer skilt av en strekning på 19.6 km, viste systematisk mellom 0.5 og 2°C forskjell fra hverandre. Antagelig var dette på grunn av den ene var i nær tilknytning til industriell aktivitet. Det virket og å være korrelasjon mellom omkringliggende omgivende temperatur i luften og temperaturen i avløpsvannet (Romanova, Mahmoodian, & Alani, 2014). Videre fant de at forskjellen på utløpstemperaturen i avløpsvannet og temperaturen i lufta i kummene var på gjennomsnittlig 3.5°C.

Simperler (2015) laget en fin liten oversikt over funn av rapporter knyttet til avløpstemperatur i sentral-europa og fra eget temperatureksperiment gjengitt i Figur 4 og Figur 5;



	Mean temperature [°C]	Maximum temperature [°C]	Minimum temperature [°C]
March	7.8	11.0	6.7
April	9.6	12.6	8.5
May	12.0	14.6	10.6
June	14.2	16.6	12.5
July	15.5	17.8	13.6

Figur 4 Avløpstemperaturer i Østerrike i 2005 (Simperler, 2015).

Location	Time	Mean temperatures
Hamburg	April 1982 – May 1983	12 - 21 °C
Bologna	October 2005 – March 2006	11 - 16 °C
Zurich	January 2005 – December 2006	10 – 20 °C
Ede	December 2008	12 – 14 °C
Woensdrecht	April – May 2011	14 – 17 °C
Wuppertal	August – September 2011	14 – 17 °C
Antwerp	February – August 2012	12 – 20 °C

Figur 5 Temperatur på avløpsvann fra litteratur i sentral-Europa (SIMPERLER 2015).

Som en kan ser i Figur 5, er det bare to serier som viser målinger over mer enn et år (Zurich og Hamburg), og det er vanskelig å sammenligne disse dataene på grunn av at tidsseriene er forskjellige. Likevel gir figuren et bilde av hvilket spenn man kan forvente å ha avløpsvanntemperaturer når man måler i forskjellige områder i Europa. Data i perioder sterkt påvirket av nedbør er her tatt bort. I Sveits slås det og fast at temperaturen holder seg mellom 10 og 20 °C (Dürrenmatt & Wanner, 2014).

En studie Simperler (2015) viser til fra Wien som ble gjort mellom 2009 og 2012 på omtrent 26% av avløpsmengdene i landet må også nevnes. Den viste at det i Østerrike er stor forskjell på temperaturen inn på mindre og større avløpsrenseanlegg. De anleggene som betjente færre folk hadde som vist i Figur 6 betydelig mindre temperatur enn det vannet som hadde opprinnelse fra mange mennesker. Dette virker kanskje noe merkelig, spesielt om det samme hadde vært tilfelle i Norge. Da det er mindre fosfor inn til større renseanlegg enn mindre renseanlegg her (Oddvar G. Lindholm, 2011). Men det kan nok ha flere ulike årsaker; som bedre kvalitet knyttet til «stordriftsfordeler», tetthet og størrelse på ledninger i forhold til tilknyttede personer, tid/lengde avløpsvannet transporteres før det blir målt (Sallanko & Pekkala, 2008), nærhet til fjell, oppvarming byer opplever på grunn av at stråling blir fanget (varmeøyer) (Slørdal & Larssen, 2001; Taha, 1997) og industri i tilknytning til ledningssystemet (Haimi et al., 2013).



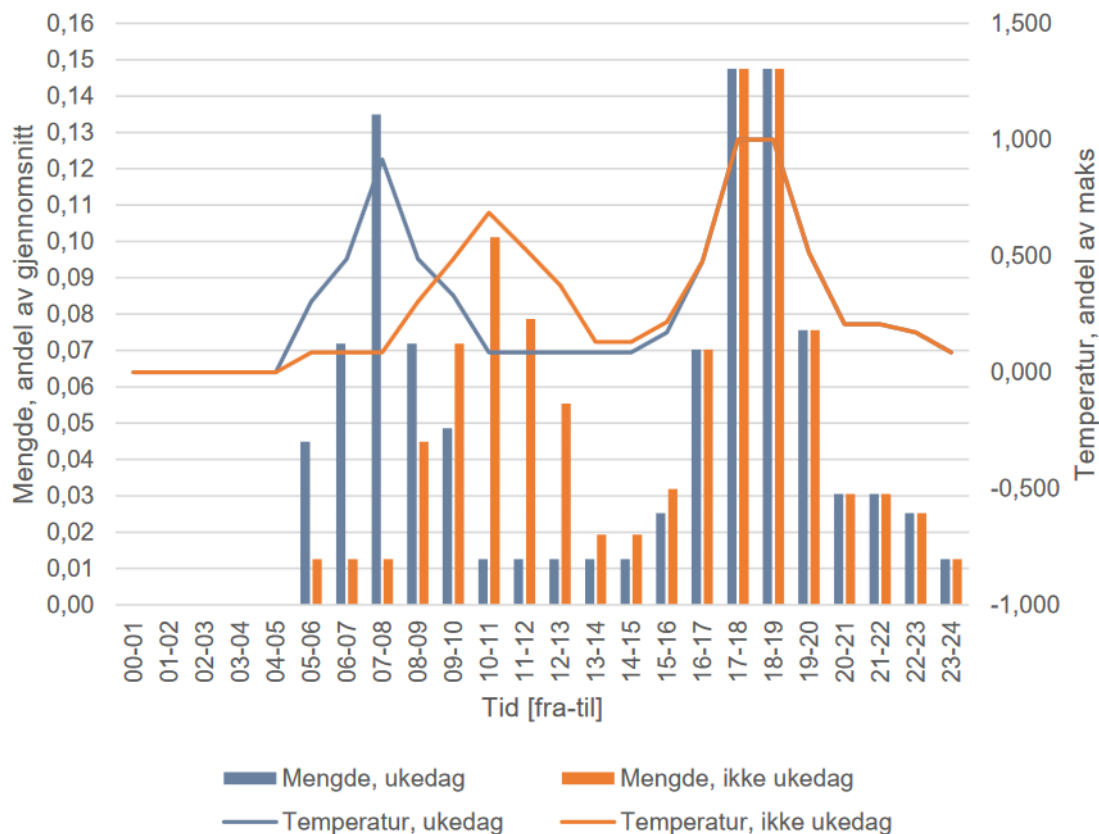
	20,000 – 150,000 PE60	>150,000 PE60	All responses
Return rate proportion [%]	34.30 %	22.22 %	33.2 %
Design capacity [PE60]	3,703,145	1,378,500	5,081,645
Proportion of total design capacity of return rate [%]	49.39 %	13.99 %	23.92 %
Sum of annual wastewater flow [m <sup>3</sup> /a]	202,970,043	75,887,847	278,857,890
Proportion of annual wastewater flow [%]	51.06 %	16.68 %	
Proportion of total annual wastewater flow [%]	19.12 %	7.15 %	26 %
Mean min. daily mean of influent Dec. - Feb. [m <sup>3</sup> /d]	7,711	36,660	44,371
Mean min. daily mean of influent Dec. - Feb. [°C]	9.2	12.7	
Mean min. daily mean of influent Dec. [°C]	11.1	14.2	
Mean min. daily mean of influent Jan. [°C]	9.8	13.1	
Mean min. daily mean of influent Feb. [°C]	9.3	12.8	

Figur 6 Oversikt over avløpsrensaneanlegg som tar seg av mer og mindre enn 150 000 PE60, og temperaturmålinger i innløp mellom desember og februar i tre år (2009-2012) (SIMPERLER 2015).

Man ser altså at temperaturen avhenger av mange faktorer, men at den ofte holder seg i et temperaturspenn på 15-20°C mellom 7 og 27° Celsius.

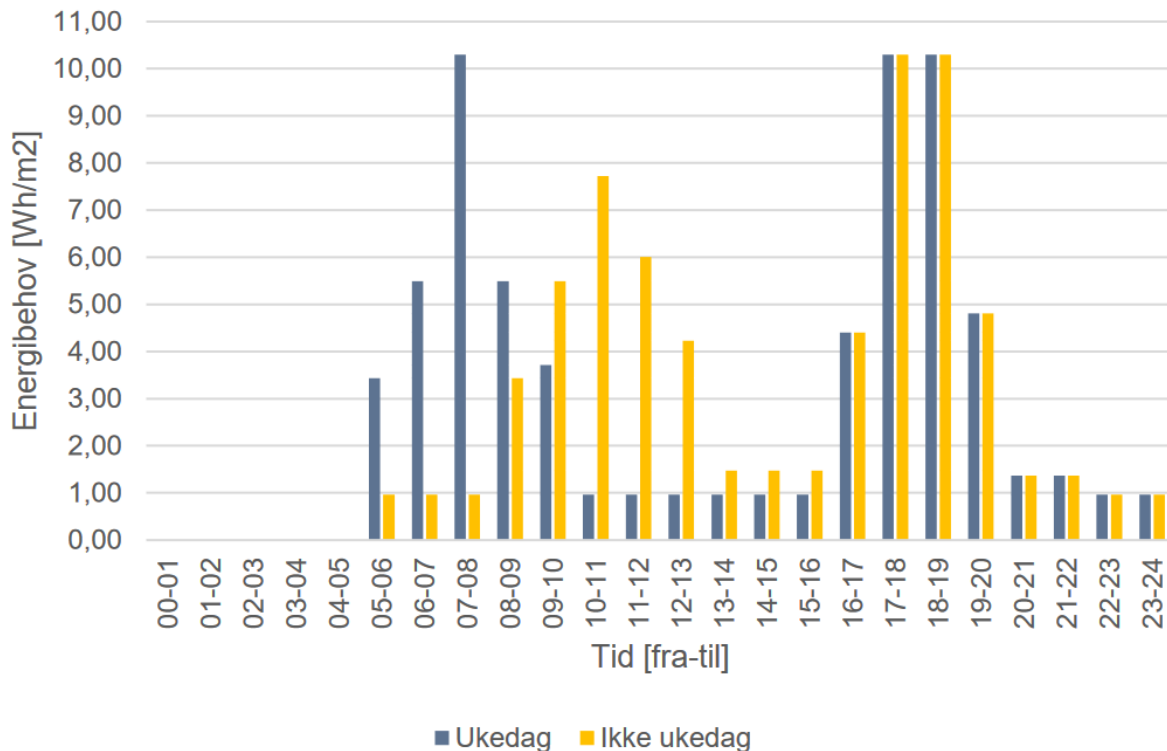
Temperatur i avløpsvannet når det forlater husholdninger

Øvrevik (2018) anslo ut fra en grundig litteratur-undersøkelse at gråvannstemperatur stod for 69% og varmtvann for 35% av totalt vannforbruk. Medfølgende temperaturendringer ble antatt å være som i Figur 7:



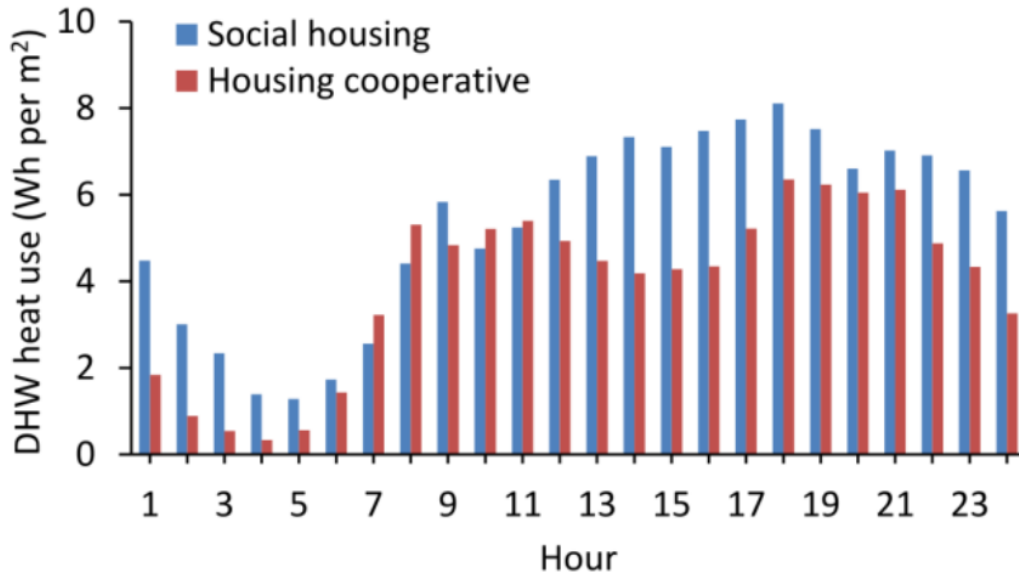
Figur 7 Foreslåtte produksjonsmønster og temperaturprofil for gråvann på ukedager og helger (Øvrevik, 2018).

Videre anslo han med bakgrunn i litteratur, temperaturer på mellom 20 og 30°C på gråvannet. Energi til varmtvannsforbruket ble brukt annerledes i helger enn i ukedager og kan det kan man se i Figur 8.



Figur 8 Energi til varmtvann i helger og ukedager (Øvrevik, 2018).

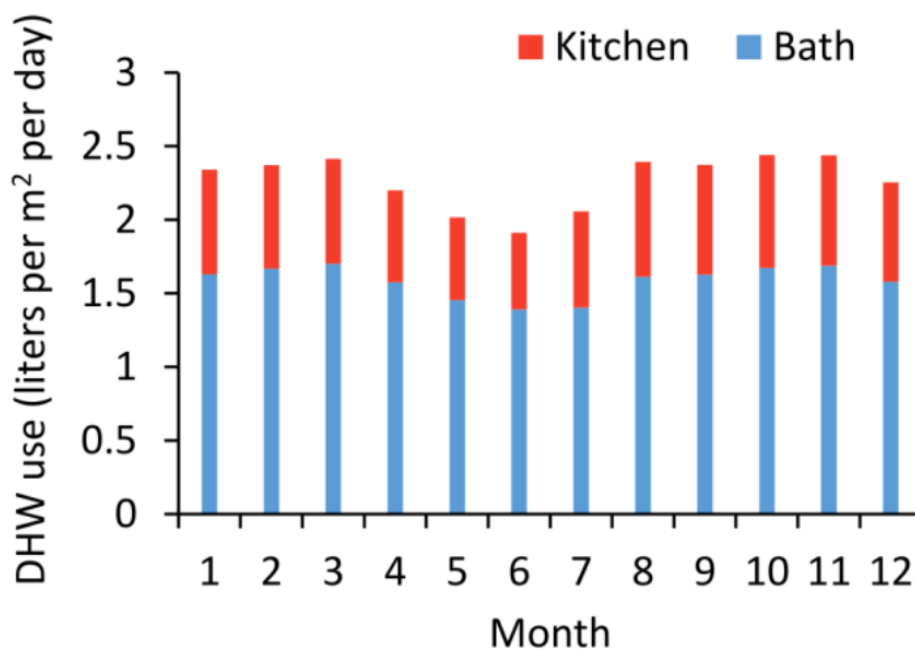
Dette blir dog noe unøyaktig om det er riktig at varmtvann i husholdninger holder en temperatur på 51.8°C i Norge som det ble funnet å gjøre i Canada (George et al., 2015). For døgnvariasjoner i Norge ble det i en undersøkelse av energibruk i blokkleiligheter funnet stor forskjell der man antar at det er folk hele døgnet, i forhold til der man antar at folk er på jobb (Figur 9). De hadde her tilgang på måledataene som hadde 2 sekunders oppløsning;



Figur 9 Døgnvariasjoner i varmtvannsforbruk i leiligheter som staten gir de som trenger et sted å bo i forhold til leiligheter der folk bor som eier leiligheten selv (Ivanko, Walnum, Sørensen, & Nord, 2020).

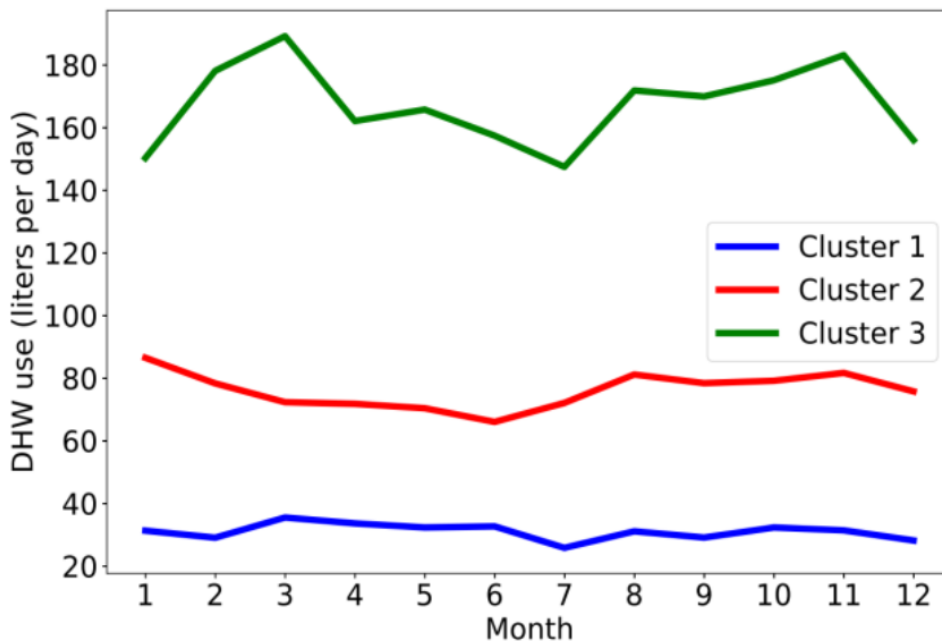
Videre ble det i denne studien av varmtvannsforbruk i Norge (Ivanko et al., 2020) funnet at forbruket var svært variabelt fra leilighet til leilighet. Studien tok for seg fire blokker med 49 leiligheter.

Månedlige endringer i varmtvannsforbruk varierte som vist i Figur 10 over året.



Figur 10 Gjennomsnittlig månedlig forbruk av varmtvann i 49 leiligheter (Ivanko et al., 2020).

Selv om man her tydelig kan se hvordan andelen varmtvann brukt går ned i mai, juni og juli, var det også enkelte leiligheter som viste høyere forbruk disse månedene. Dette kommer antagelig av hvordan en bruker fridagene sine (Ivanko et al., 2020). Lignende resultater ble funnet i Canada (George et al., 2015). I den studien fant de at forbruk av varmtvann gikk opp proporsjonalt med at drikkevann-temperaturen gikk ned. Videre i den norske studien ble leilighetene delt opp i klynger for mengde brukt (og sannsynlig antall personer i leiligheten). I Figur 11 Er dette vist på månedsbasis.



Figur 11 Gjennomsnittlig bruk av varmtvann i ulike klynger med data (Ivanko et al., 2020).

Her representerer antagelig klynge en, kun en person, klynge to representerer antagelig to personer og evt små barn, mens klynge tre, representerer tre eller flere i en familie om en ser på antagelsene til Øvrevik (2018) angående varmtvannsforbruk per person.

En viktig ting å nevne er at informasjonen om energibruk var bedre korrelert med antall personer i leiligheten, men dette var ikke tilgjengelig for forfatterne, og derfor ble kvadratmeter brukt istedenfor (Ivanko et al., 2020).

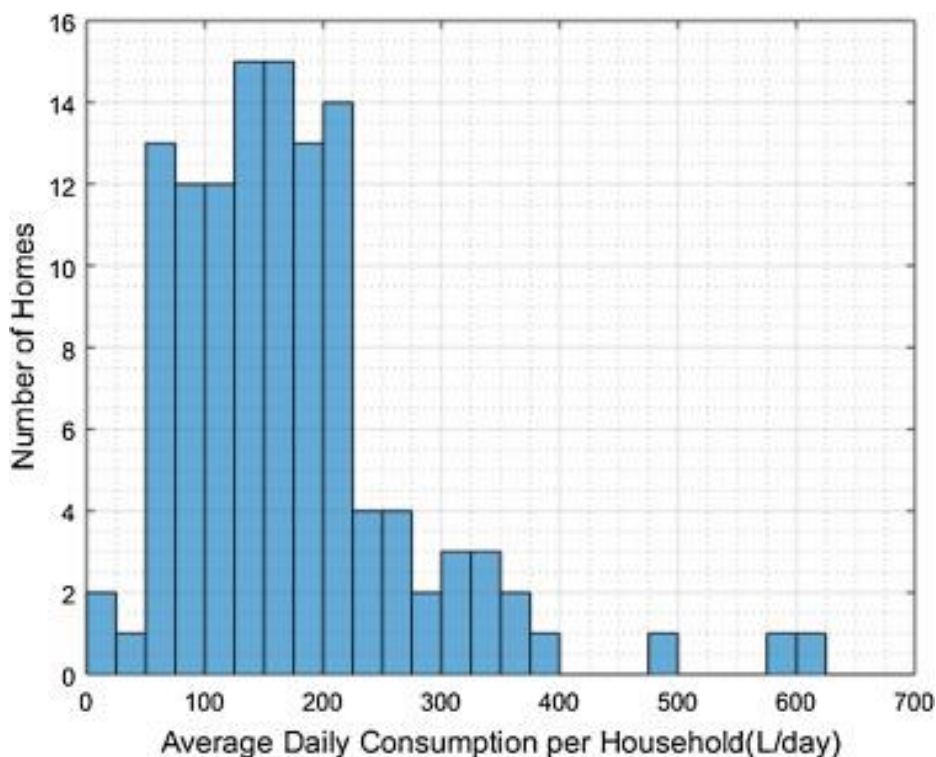
I en studie av drikkevannet i Oslo ble det funnet at gjennomsnittlig temperatur på 795 drikkevannsprøver i ledningsnett er 7°C (Husebø & Husby, 2018). Dette gir mening da lufttemperaturen i området ligger rett under 6 °C på årsbasis for området (Hanssen-Bauer, 2012) hentet fra (Tveito et al., 2000). I Canada ble det funnet en temperatur på 9.8°C i drikkevann gjennom året (George et al., 2015). Antagelig kan temperaturene i Asker høyere ligge mellom de i Oslo og de som ble funnet i Canada, da noen veldig få prøver (17) fra november 2021 gav en gjennomsnittstemperatur på 8.7°C. 10 målinger langt ute i nettet viste 9.5°C og 6 målinger i høydebasseng viste 7.4 °C.

Tabell 1 Temperatur på drikkevann i Asker kommune.

Temperatur på drikkevann i Asker kommune	Totalt alle 17 punkter	Punkter langt ute i nettet	Basseng for drikkevann
Temperaturgjennomsnitt (°C)	8,7	9,5	7,4

Vider fant en Nederlandsk undersøkelse med «Distributed temperature sensing» (DTS) (Schilperoort & Clemens, 2009), at det fint kan komme avløpsvann ut fra husholdninger som holder 35°C (Schilperoort & Clemens, 2009). Om en antar at gråvann inneholder alt varmtvann og at det nesten utgjør 100 l/pd av forbruk på 140 l/pd (Øvrevik, 2018), at det har en temperatur på 25°C og blandes effektivt med resten av vannet med en temperatur på omtrent 12.5°C, vil en få en gjennomsnittstemperatur på vannføring ut av husholdninger på litt over 21°C med **Feil! Fant ikke referanseilden..** Dette må sies å være et grovt estimat, og konfidensintervall er vanskelig å anslå.

Den nevnte studien i Canada målte avløpstemperatur og vannføring hvert minutt i 100 husholdninger. De fant at lokasjon på huset har noe å si for konsumering av varmtvann og at temperaturen man får med oppløsning på et minutt er veldig lik den man får om man måler hvert sekund. De aller fleste husholdninger de undersøkte stod for et forbruk på mellom 80 og 200 liter varmtvann per dag, som en kan se i Figur 12.



Figur 12 Figur som viser antall hus (y-aksen) med ulike forbruk i liter per dag (x-aksen) (George et al., 2015).

På søndager fant de det klart største forbruket og det ble observert litt mindre forbruk om sommeren og våren enn om vinteren og høsten. Det ble og funnet at drikkevannstemperaturen inn i husholdninger lå en måned bak svingningene til lufttemperaturen (George et al., 2015). Om man ser på varmtvannstemperaturen funnet av Canadiere (51.8°C) sammen med antatt mengde varmtvann av alt forbruk antatt i Norge (35%, (Øvrevik, 2018)) og en antatt temperatur på 12.5 °C finner man at temperaturen ut med Canadiske og norske tall blir 26.2 °C med **Feil! Fant ikke referanseilden..** Antagelig ligger temperaturen ut av husholdninger i gjennomsnitt mellom der og 21 °C som ble funnet ut fra gråvannstemperaturen til Øvrevik (2018). Antagelsen om 26.2°C er nok sterkere enn den om 21°C da den første antagelsen antar at alt varmtvann konsumeres i gråvann.

### Hva spiller inn på temperatur i avløpsvann nedover ledningsnett?

Avløpsvann i ledninger reagerer først og fremst med overflatene rundt som det er i kontakt med. Altså både luftlag over vannspeilet og rørmaterialet rundt fluidet. Luftlagets påvirkning avhenger i stor grad av ventileringen eller luftutskifting, mens fluidets varmeoverføring med rørmaterialet avhenger av molekylær berøring som videre fører til varme fra friksjon. Sammen står varmeoverføringen fra forskjellige hendelser av konvektiv varmeoverføring, berøringsvarmeoverføring (molekylær kontakt) og varmeoverføring gjennom stråling (Levenspiel, 2014).

Forskjellige studier om temperatur i avløpsvann konkluderer varierende om hva som er årsaken til temperaturendringer (Simperler, 2015); I Sveits fant de en sterk sammenheng mellom temperatur i massene rundt rørene og temperaturen i avløpsvannet; Opptil 89% ved spesifikke rørtyper og omkringliggende masser som gir stor varmeutveksling til og fra våtperiferi. Temperatur i lufta ble også funnet å kunne ha stor innvirkning (konvektiv: 26% + evaporasjon: 47%) når det ble sett på andre typer materialer og omkringliggende masser (Dürrenmatt & Wanner, 2014) i en modell de hadde laget. Men (Alejandro Figueroa, 2021) fant at dette og temperatur i jorda rundt ledningene kun var en betydelig faktor på nedstrøms temperatur når det er lav vannføring eller relativ fuktighet. I deres gjennomgang av tidligere utviklede modeller og «grundige gjennomgang av individuelle prosesser», samt «dedikerte måletaking» slo Alejandro Figueroa (2021) fast at latent varmeoverføring ved vannspeilet i avløpsvannet er viktig. De fant og at konvektiv varmeoverføring fra rørbunnen er neglisjerbar, men at den ved vannspeilet ofte er funnet relevant i studier. Samt at den konduktive varmeoverføringen i rørbunnen er viktig. De gjør og en antagelse om at grunnvannet har samme temperatur som jorden den strømmer gjennom og finner det svært viktig for anslag av temperaturer i avløpsmodeller at riktig mengde infiltrasjonsvann blir anslått (Alejandro Figueroa, 2021). I så fall vil man kunne si at temperaturendringer fort kan ha et potensial for påvisning av mengder infiltrasjon. De kommer og fram til at det aller viktigste med klar margin for påvisning av nedstrøms temperatur i avløpsvann er oppstrøms temperatur i avløpsvannet.

Det er lett å tenke seg at i tillegg til hvor ofte luften skiftes ut i systemet, så har det nok og svært mye å si hvor raskt vannet skiftes ut i massene rundt ledningene (Dürrenmatt & Wanner, 2014). I og med at det er ganske mye høyere kapasitet til å holde på temperatur i stoffer med høyere masse vil det være naturlig å anta at temperaturen i massene rundt rørene har mye å si når det ikke er ekstremt stor utskifting av luft. Mange steder vil likevel avløpsvannet isolere seg godt fra kulde rundt ledningene ved å gro biofilm (Dürrenmatt & Wanner, 2014). Dette settes raskere i gang ved å ha høy temperatur i utgangspunktet på grunn av økt reaksjonshastighet (Ødegaard, 2014).

Temperaturestimering av grunnvannet er ikke enkelt å redegjøre for, men (Rieckermann & Pazhepurackel, 2012) har foreslått at man setter dette til en viss gjennomsnittstemperatur ut i fra hva man vet.

### Temperaturendringer i trykksatte ledninger

I Finland fant ble det gjennomført en studie av temperaturen fra avløpsvann i 313mm, trykksatte avløpsledninger med noen få seksjoner med avløpsstrømning basert på gravitasjon. Målingene ble utført over ulike perioder i 2008 og 1997 (Sallanko & Pekkala, 2008). De fant så lave temperaturer som et spenn mellom 4 og 11°C i ledningssystem fra utelukkende nordlige områder i landet mellom Jan 2005 og Jan 2007. For resten av ledningsnettene ble opp mot 14°C

funnet som maksimum. Studien refererer til en studie som ble gjort i perioden 1997-2007. Studien viser også at industri kan ha en stor effekt, da et system med mye industri viste regelmessig 3-5°C høyere temperatur enn de andre avløpsnett-systemene.

En viktig ting å ta med seg fra denne studien er hvordan oppholdstiden, det vil si hastigheten på avløpsvannet og lengden ledninger det tar seg gjennom, påvirker temperaturen. Her fant de at nedgangen i temperatur lå i snitt på rundt 0.13°C per km, eller 0.14°C per time. I den første delen av avløpsnettet ble det vist at temperaturen falt mye raskere (0.16-0.27°C/km) enn i enden av ledningsnettet der temperaturen kun viste en nedgang på 0.02-0.1°C/km. Det ble og påvist nedgang om natten mange steder.

For avløpsvannet påvirket av industri ble det funnet mye stor nedgang (0.39°C/km) og 1.06°C/time (om sommeren). Forskjellene i vinter og sommertemperatur endringer var ellers hhv 0.014 om sommeren og 0.031 om vinteren.

Videre kan man se av denne studien på trykkavløpssystem Sallanko and Pekkala (2008) at diameter og materiale på rør samt høyden på ledningene i forhold til grunnvannsnivået der det er grovkornede masser med høy hastighet på grunnvannsstrøm har mye å si for temperatur i avløpsvannet under transport i disse type systemene (Sallanko & Pekkala, 2008).

### Regne på temperatur og vannføring

Når fremmedvann i form av grunnvann eller overvann med en temperatur kommer inn i avløpsrørene vil den blande seg med avløpsvannet med en annen temperatur. Den resulterende mengden vann vil ha en temperatur som er mye påvirket av hvilket forhold det er mellom mengden avløpsvann og mengden fremmedvann til enhver tid (Schilperoort & Clemens, 2009) referert av (Beheshti et al., 2015).

De viser til en enkel formel for å regne temperaturendringer når to strømmer vann med ulike temperaturer møter hverandre:

*Formel 3 Forhold mellom vannføring av fremmedvann.*

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\Delta T}{T_2 - T_1 - \Delta T}$$

Her er

$\Delta T$ :  $T_3 - T_1$

$T_1$ : Temperatur før det kommer fremmedvann inn.

$T_2$ : Temperatur i vannet som kommer inn i ledning.

$T_3$ : Temperatur som går videre gjennom avløpsnettet etter utblanding.

$V_1$ : Vannføring som kommer nedover ledningsnettet

$V_2$ : Vannføring som kommer inn i ledningen som fremmedvann

Disse er utledet av at det er tilnærmet lik total masse, energi og vannføring både før og etter fremmedvanninntrengning i dette systemet (Schilperoort & Clemens, 2009), gjengitt av (Beheshti et al., 2015). Denne formelen vil komme til nytte i forbindelse med analyse av manuelle temperaturmålinger og automatiske temperaturmålinger i denne rapporten (f.eks. når man har manuelle målinger ovenfor begge ledningene inn til ledningene som fører til 2535).



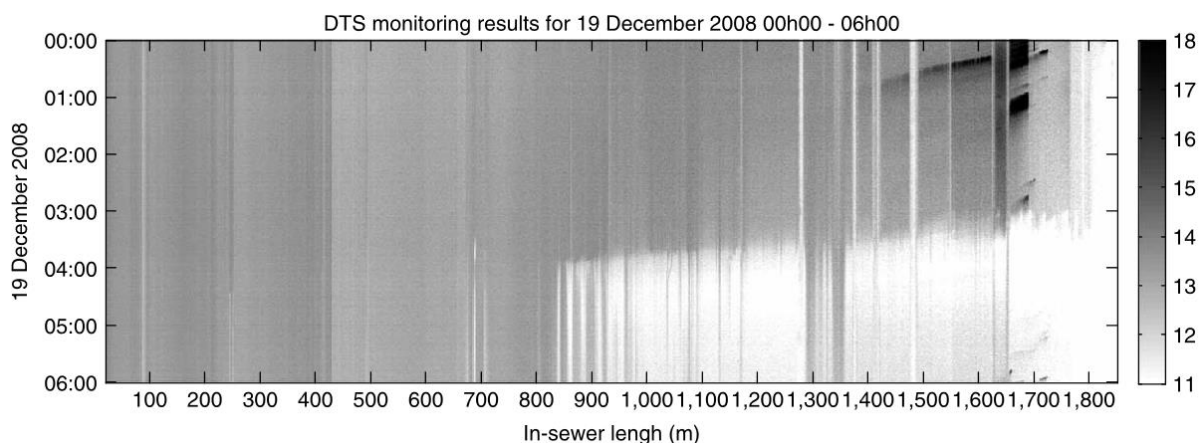
I ledningsnett til Asker har man ofte en måler nedenfor to sammenkoblede grener, der den ene av dem har en måler. Se 6490 og 2535 samt 10286 og 10288, 3779 og 10286 i «Avløpssoner» under «Del 1». Dette skjer stadig vekk når man tar manuelle temperaturmålinger også. Dersom man bruker Formel 3, som forutsetter at man vet to temperaturer og en volumstrøm om man justerer litt på den, kan man finne volum fremmedvann.

## Temperatur i lekkasjesøk

### DTS (Distributed temperature sensing)

En temperaturmåling gir et øyeblikksbilde av atomers bevegelse i et volum med masse som avgrenses til et trykksystem og i en tidsperiode (Young & Freedman 2011)). Når man tar i bruk mange målinger over lange perioder vil øyeblikksbilder bli til sammenhenger og sammenhenger gi nyttig informasjon om trender og årsaker. I sammenheng med avløpssystemer kan man bruke fiberoptiske kabler og en logger og få kontinuerlige temperaturmålinger over lange avstander (Maryam Beheshti, 2020). Dette gir mulighet til å observere endring i temperatur og isolere de temperaturforskjellene som ikke skyldes bruksmessige årsaker i avløpsnett. Temperaturmålinger vil å kunne verifisere andre målinger på en bra måte (Gammelsæter, 2015; Hofer et al., 2018).

Hovedfordelen med å logge temperatur med DTS (Distributed temperature sensors) som metode for å observere årsaker til fremmedvann framfor andre metoder er at DTS gir et bilde av mange punkter inni ledningene. Andre metoder viser gjerne at det er inntrengning av fremmedvann på et ukjent punkt eller punkter oppstrøms en kum, mens DTS kan gi data på akkurat hvor fremmedvannet kommer inn i ledningene mellom kummer. Temperaturen på avløpsvann i kalde strøk skiller seg mer fra vann som lekker inn enn det gjør andre steder, noe som gjør dette til en spesielt fin metode her i Norge. Ellers kreves det ikke spesielt avansert kunnskap for å drifte og sette opp sensorene, men det kan være ganske dyrt å sette i verk (Hoes, Schilperoort, Luxemburg, Clemens, & van de Giesen, 2009; Sandberg, 2021). Metoden er dyr på grunn av at mye må gjøres for å sette det i stand og siden de fiber-optiske ledningene er verdt mye penger. Det er og mye arbeid å holde dem i drift. Det vil si å spore ledningen, og passe på at kabelen ikke driver eller blir tildekket, og sørge for å ikke få tilstopning i rørene. Figur 13 viser et eksempel på data man kan hente ut fra en DTS undersøkelse.



Figur 13 Hvordan en storm-hendelse ser ut i perspektiv av temperatur i en avløpsledning en vinternatt i Ede i Nederland under måling med DTS. Presisjon på omtrent 0.15°C (Schilperoort & Clemens, 2009).

I tillegg til DTS, måling av vannbalanse og tracere, kan man bruke røyk-testing, utslipp av fargestoffer, TV-kjøring med kabel, TV-kjøring med bil og forurensningsovervåking som metoder for å finne og lokalisere fremmedvanninnlekking (Beheshti et al., 2015; Carlsen, Davidsen, Olsen, Schønberg, & Sægrov, 1979). Alle har hver sine fordeler og ulemper (Beheshti et al., 2015), men de kan utfylle og



verifisere hverandre i noe grad. Det er og nyttig å se på nedbør sammen med disse temperaturvanmålingene for å se om temperaturendringer kommer av nedbør og forstå grunnvannsstrømningene.

## Et knippe kommuneplaner i Norge og hva de sier om fremmedvann

Oversikt over hva noen litt tilfeldig valgte kommuner setter seg som mål i hovedplanene sine:

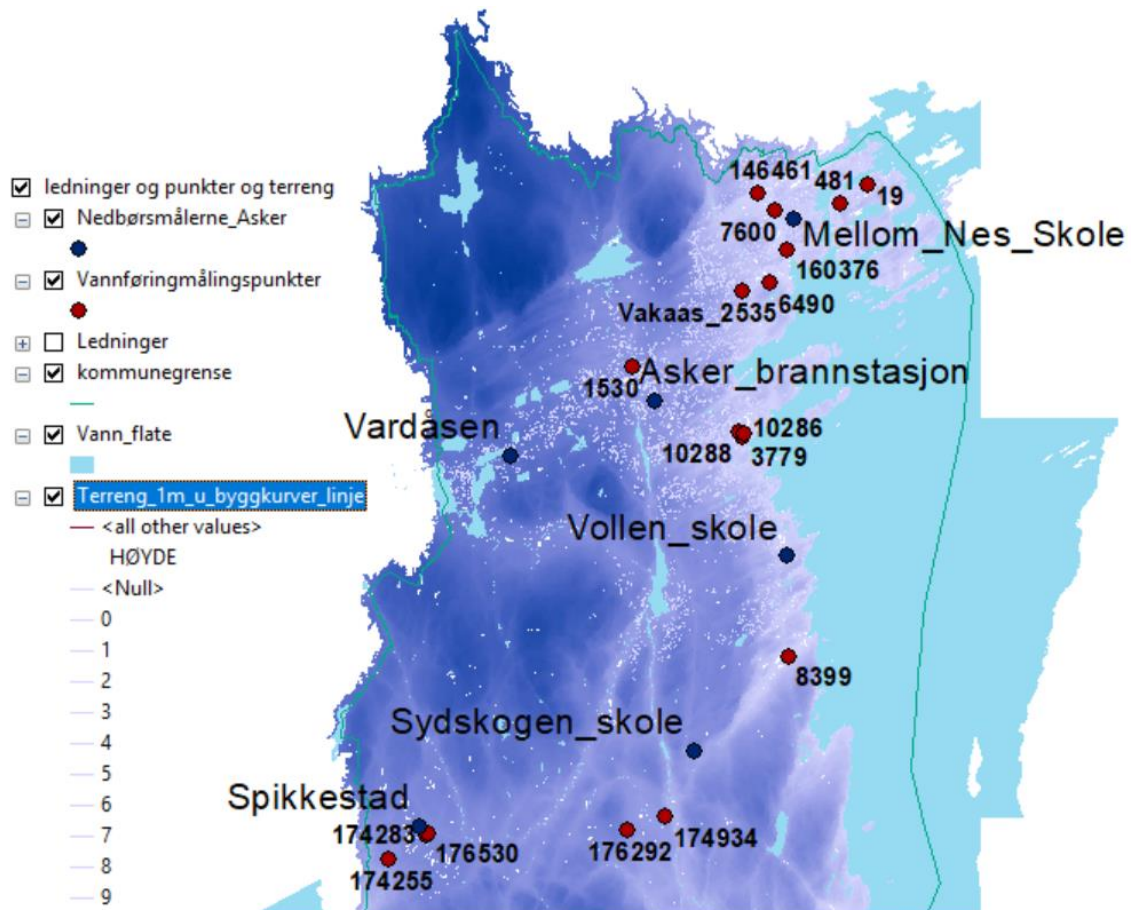
- Bodø:** Under strategi og hovedmål: Fjerne mest mulig fremmedvann fra avløpsnett.
- Kristiansand:** For avløpssoner med mye fremmedvann, store overløpsutslipp eller oversvømmelser kan det bli aktuelt å etablere avløpsmodeller som grunnlag for prioritering og gjennomføring av tiltak. Fortsette saneringsarbeidet med større tyngde.
- Oslo:** Har et mål (fra 2020 til 2040) om å redusere fremmedvann til 50%. Og gjennomføre tiltak på alle punkter klassifisert som rød og gul.
- Vestby:** Mest mulig reduksjon, har ikke oversikt så også et mål å skaffe seg det så man kan sette seg et mål på hvor mye fremmedvann man skal ned. 2019 -2028, separere avløpsnett.
- Sarpsborg:** Årlig reduksjon av tilført fremmedvannsandel til spillvannsførende ledninger skal være 1. prosentpoeng per år i snitt over 10 år. I år 2050 skal andel fremmedvann i tilført avløpsvann til nettet være maksimum 40 %, ned fra dagens ca. 70 %.-Årlig fornyelse av ledningsnett avløp skal være 1,5 til 2,0 % i snitt over 10 år. Antagelig fra 2020.

## Metode

Det vil her bli opplyst om metodikken rundt håndtering og innsamling av data samt hvordan manuelle temperaturmålinger skal gjennomføres og hvordan automatiske temperaturmålinger skal nyttiggjøres.

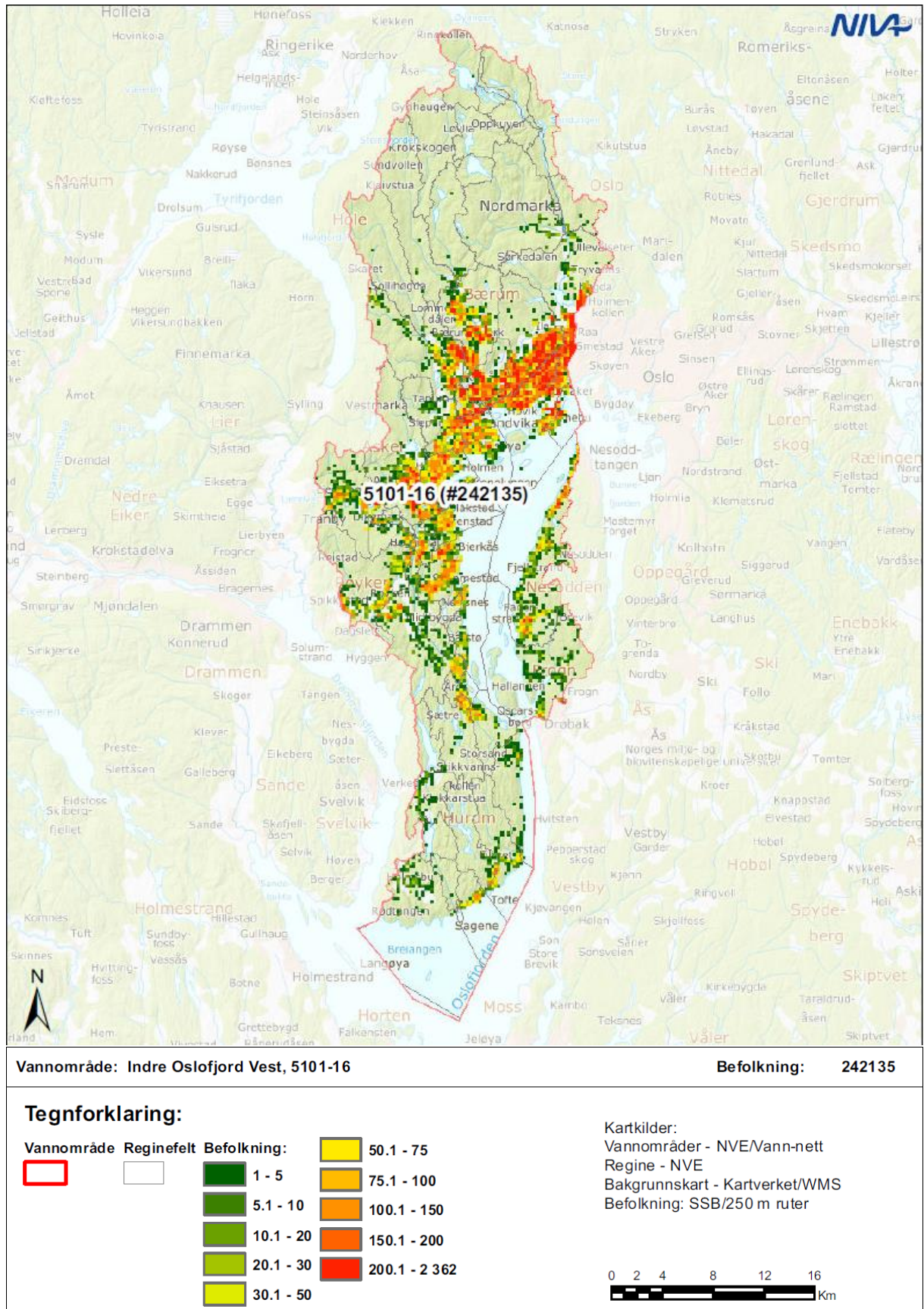
## Studieområde

Asker er en kommune i ytre del av Akershus, med over 94 000 mennesker. Norges 8. største kommunen basert på folketall. Den er lokalisert øst i Midt-Norge og vest på Østlandet. Arealet har stort sett en noe skrånende høydeprofil mot øst og er vist i Figur 14.



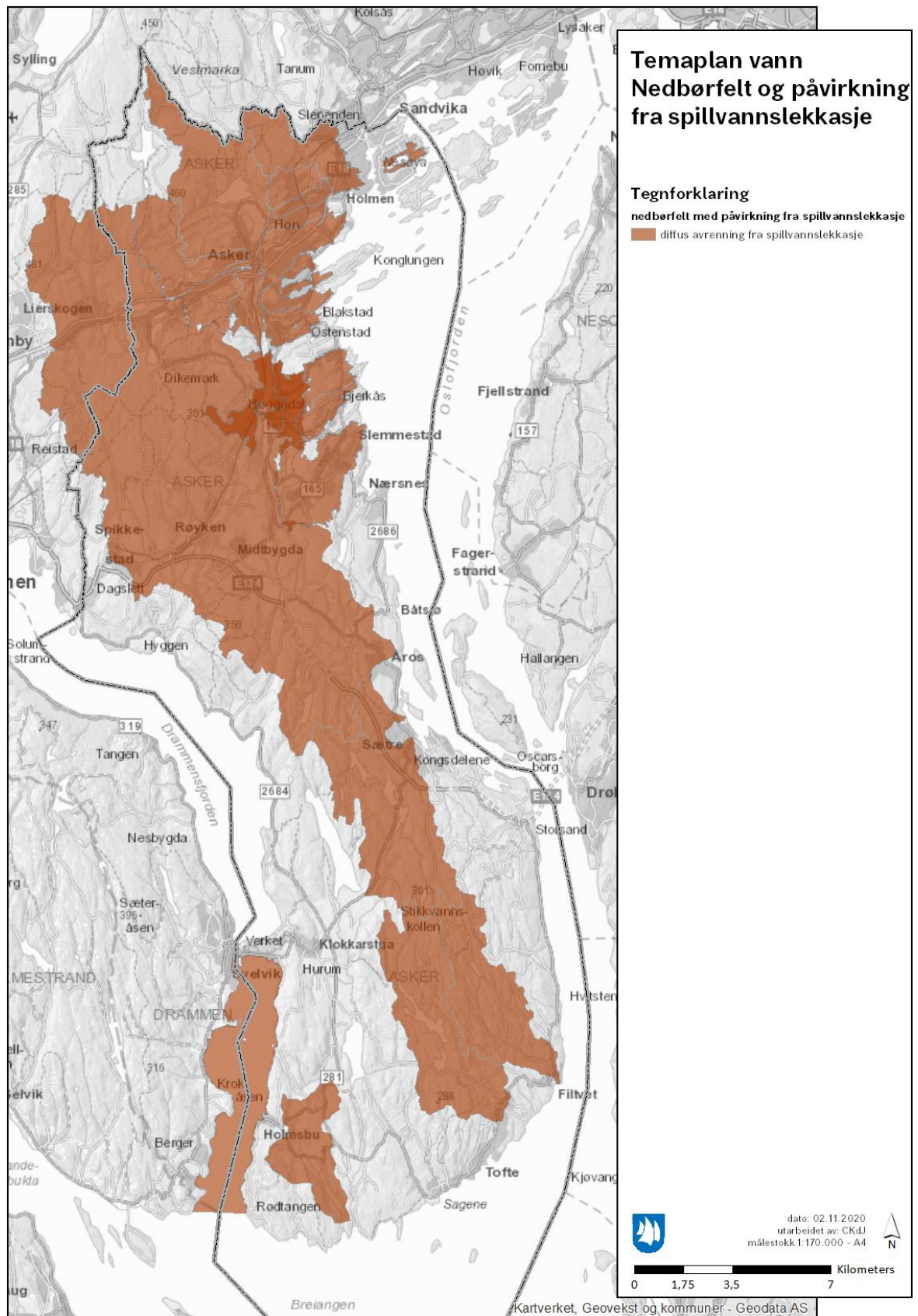
Figur 14 Oversikt over vannføring og nedbørsmålere sammen med høydekoter. Hvit er lavt og jo mer blått, jo høyere er det. Kommunegrense i grønt. Høydekoter brukt er med oppløsning på 1 meter.

Under er et utvalg kart som sier noe om tilstanden på vann i forhold til avløpshåndtering og befolkning i Asker. Den første (Figur 15) viser befolkning i deler av Asker's vannområde. Figur 16 viser hvordan den diffuse utlekkingen er fra ledninger. Dette er funnet ved å ta vannprøver mange steder i Asker over lengre tid. I Figur 17 ser man hvordan forholdene er på overflaten og hvilken terrengtype det er.



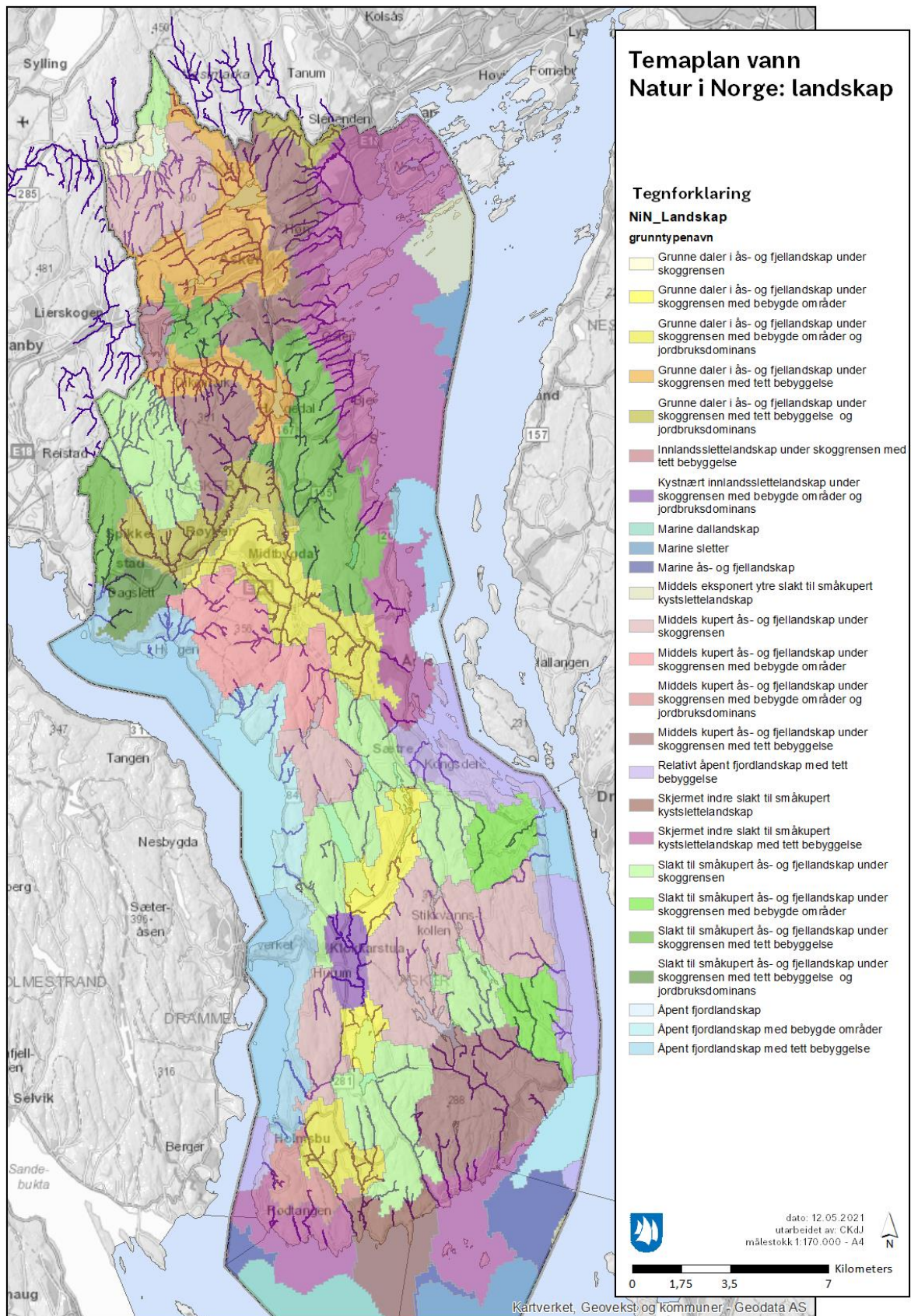
Figur 15 Oversikt over vannområde og befolkning i Asker øst inndelt i personer per ruter på 250mx250m (62 500m<sup>2</sup>) (Selvik, 2019).





Figur 16 Illustrasjon som viser områder påvirket av diffus lekkasje av avløpsvann (Vann og vannmiljø, 2021).





Figur 17 Type terreng og tetthet av bosetting i Asker (Vann og vannmiljø, 2021).

## Prosess med å samle inn og håndtere data

Det ble hentet data fra 17 målestasjoner for vannføring, 6 nedbørstasjoner, og temperatur ble hentet fra MET. Data for vannføringsmålinger ble lastet ned med både 5-minutters oppløsning og 2-minutters oppløsning, samt noe sporadiske døgn og timesverdier. De ble hentet til 01.01.2015 eller så langt tilbake som måleperioden strakk seg. Manuelt ble 15 kummer målt en eller flere ganger for temperatur i avløpsvannet. Det ble og hentet arealer, avstander og topografi fra høydedata, kommunens informasjon i Arcmap, forskningsartikler og nettsted. I tillegg ble det sett på temperatur inn i 3-4 norske uidentifiserte renseanlegg. Data ble behandlet og forsøkt systematisert i Excel og kart ble utarbeidet i Arcmap, Scalgo, NEVINA, regnbygge, NGU og kartdata.

Fremmedvann ble analysert etter Vannbalansemetoden Formel 2 som man bruker i BedreVann (BedreVann, 2020) og noen forskningsartikler (Beheshti et al., 2015; Jenssen Sola et al., 2018). Det ble valgt å se på fremmedvann som både overvann inn i avløpsledninger og alt annet av vann som ikke ville gått der om et separert system hadde fungert optimalt. Det vil si alt som ikke er utslipp fra industri og næringsliv og husholdninger, anses som fremmedvann. Videre ble husholdningsvann satt til 140 l/pd (se «Dimensjonerende forbruk» i teori-kapittelet av rapporten) og næring og industri ansett som neglisjerbart. Pendlerbidrag er ikke tatt bort eller lagt til, selv om dette blir med i diskusjon i resultat i forbindelse med nedstengingskapittelet. Derimot er 0-verdier og negative verdier fra vannføring tatt bort i beregningene og det meste av grafer. Dette er blitt gjort på grunn av at det ble oppdaget at de av og til oppstod i forbindelse med nedbør og større vannføringer (se «0-verdier og minusverdier fra vannføringsmålinger»). På grunn av usikkerhet rundt hva som egentlig skjer rundt disse, er de blitt fjernet.

Det ble til slutt gjort et forsøk på å estimere fremmedvann i punktet 3779 (se «I hvilken grad man kan finne fremmedvann med automatiske temperaturmålinger») ut fra kunnskap om temperatur i målepunktet og fremmedvannandel samt temperaturmålinger fra andre målepunkter. Her ble temperatur sett på over korte tidsperioder over lengre tid. Spørsmålet var om man med temperaturmålere kunne gi en god indikasjon på mengde fremmedvann funnet ved vannbalansemetoden.

### Grad av representative data

Data ble i stor grad samlet inn i områder som blir sett på som problemområder, men også i områder hvor det nylig har blitt renoverte ledninger. Vannføringsmålere har vært installert mange steder i Asker, men mange har også blitt lagt ned. Blant dem er 146461 som er brukt i denne studien som referanse for overvann. Man kan derfor ikke helt stole på at fremmedvannet i snitt her, står for fremmedvann i alle områder. Det ble og funnet av en ansatt i Asker i tiden med skriving av oppgave at et av målepunktene viste for høye verdier ved tørrvær. Dette punktet (2535, se figur Figur 14 og Figur 20) fikk så en ny måler installert som skal se på lavvannføringer så dataserien kan bli oppdatert. Det er ingen garanti for at alle slike feil er blitt oppdaget enda. Dessuten viser punkt 176292 negative verdier og 0-verdier i så stor utstrekning at målingene nok må regnes som usikre. Se avsnitt «Enkel tilstandsrapport om vannføringsmålinger».

### Manuelle temperaturmålinger

Det ble utført temperaturmålinger på fire forskjellige dager i september og oktober 2021. Disse ble gjort i noen av Asker kommune sine kummer i områdene rundt vannføringsmålere.

## Teknisk

Det ble skaffet bøtte, teip, termometer fra Vann og miljøteknikk-laben på NMBU og planlagt hvilke kummer som burde kikk på. Kummene ble åpnet og en plastbøtte sluppet ned i kummen med tau der det var mulig og fylt med avløpsvann. Deretter ble avløpsvannet raskt målt for temperatur med termometeren. Metallpinnen ble senket ned rundt 5cm fra overflaten i det sentrale området av vannet. Deretter ble temperatur registrert når temperaturen holdt seg stabilt eller etter 30 sekunder – ett minutt dersom den ikke stabiliserte seg. Lufttemperatur ble også sett på og der det var naturlig ble den registrert i luften nede i kummen. Tidspunkt, dato og uregelmessigheter ble og notert.

Produktet som er blitt brukt i denne studien er TENMA 72-2065A. Det er et måleapparat som måler temperatur i intervallet  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $223\text{ K} - 1573\text{ K}$ ) (McVicker & JWM, 2007). Apparatet har blitt brukt blant annet til å måle lufttemperatur i bygninger og validering av rekonstruert temperaturfordeling i gassforbrenningsceller (Foo & Martin, 2017; Matiko, Grabham, Beeby, & Tudor, 2013). En spesifikasjonsdokument (McVicker & JWM, 2007) forteller at produktet har en nøyaktighet på  $0.3\% + 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  av avlesningen.

Vanntemperatur ble målt både med liten bøtte og med større bøtte. Disse bøttene hadde forskjellig type form. Det varierte også i noen grad hvordan målingene ble tatt. For eksempel ble noen målinger tatt med lite vann på grunn av at det var vanskelig å «fiske» det opp. Noen ganger fikk bøtta litt tid på seg til å vende seg til temperaturen i renna så avløpstemperaturen kanskje ble noe bedre enn andre ganger da bøtta ikke fikk tid til det. Det var og noe vanskelig i noen kummer å få med vann fra alle strømmingene inn i punktet, på de punktene med flere tilførselsledninger. Der hvor dette var et stort problem ble det registrert. Lufttemperaturmålinger ble etter hvert bevisst gjort i skygge fra og med (11.10.21).

### Kalibrering av termometer (TENMA 72-2065A)

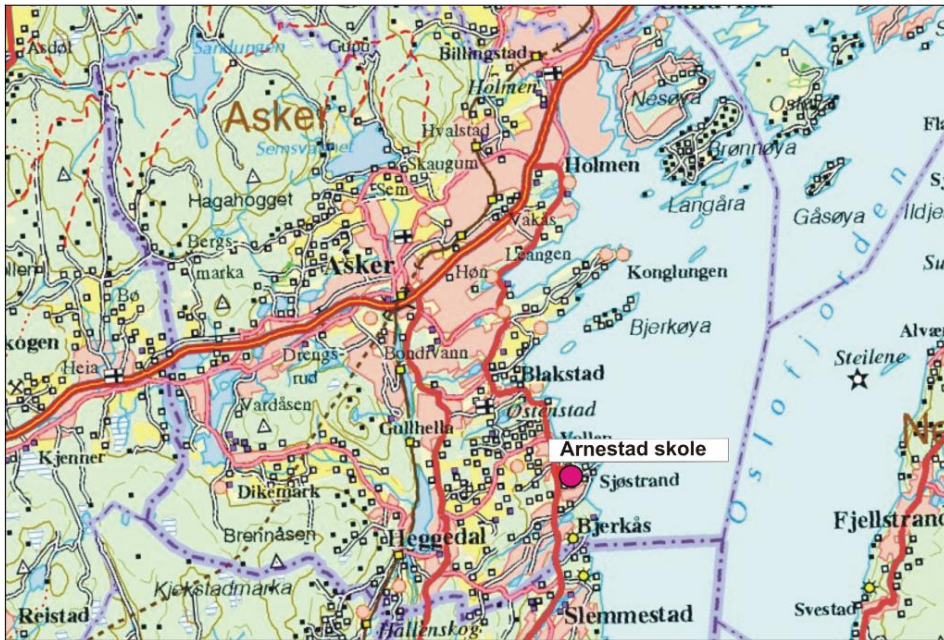
Termometeret ble kalibrert to ganger før forsøk ble satt i gang og en gang etter at det var blitt gjort noen forsøk. Det ble laget et isbad i en 2 liters isboks av plastikk og sett hvilken av alternativene ledningsinngangene som viste nærmest den antatte temperaturen. Den antatte temperaturen var forsøkt å sette lik 0 ved å ha vannet i fryseren. Termometeret hadde to innganger og den venstre inngangen ble antatt å være den beste.

Termometeret viste på den siste kalibreringen spesielt gode verdier i forhold til antatt, da vannet nok var nærmere 0 enn i de første målingene. Det er og antatt ut fra kalibreringen at temperaturen på selve målestangen spiller inn på målingene og at noen minutter tilvenningstid trengs for å måle to punkter med store temperaturforandringer.

### Temperatur i Asker

I forbindelse med temperaturmålinger kan man i Figur 18 og Figur 19 se hvordan temperaturen utvikler seg i grunnen i det sentrale området mellom vannføring- og termometer i nordlige Asker og i gamle Røyken. Det ser her ut som om temperaturen går litt opp de første meterne til den synker fra 5 meter og ned til 10 meter. Temperaturen ser ut til å ligge på rundt  $9^{\circ}\text{C}$  om vinteren. Denne temperaturen brukes av og til for å anslå temperatur på drikkevann (George et al., 2015).

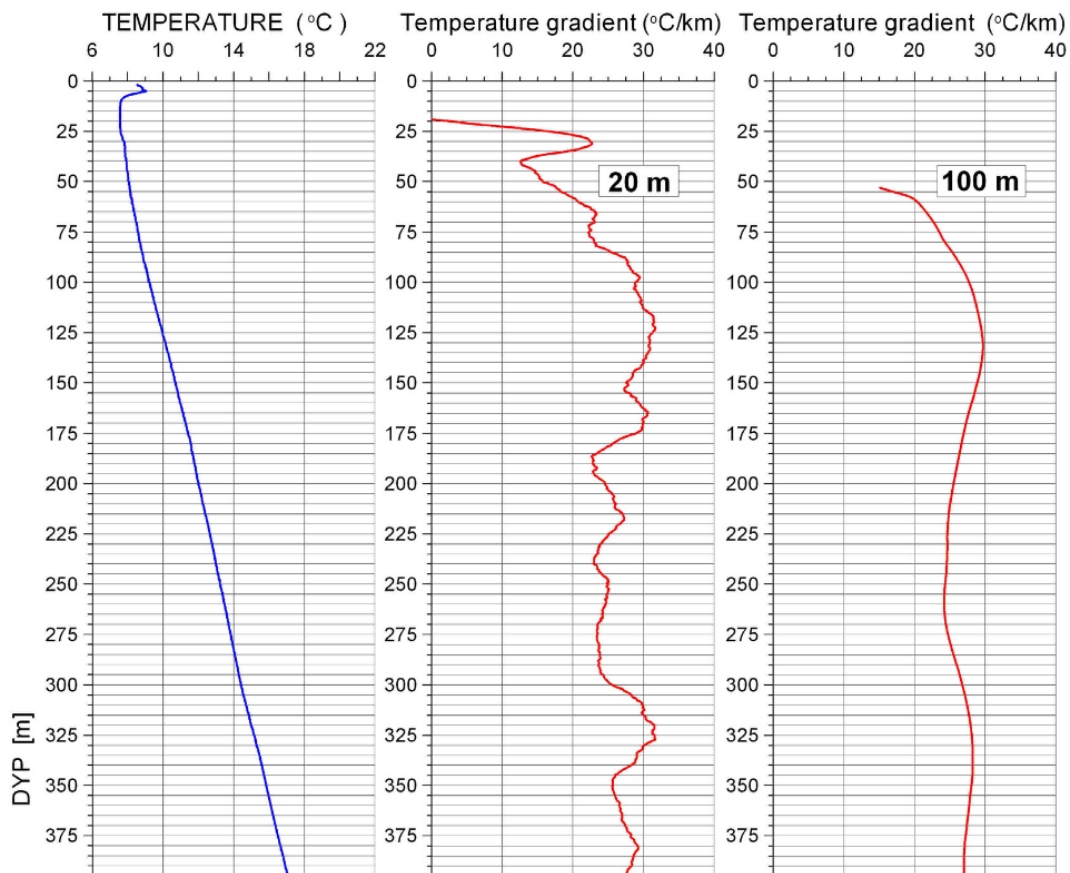




Figur 18 Posisjon for grunnmålingstemperaturer (Elvebakk, 2012)

### Temperature, Temperature Gradient Arnestad Bh 2

UTM 583546 E  
32V 6630237 N  
11 moh.



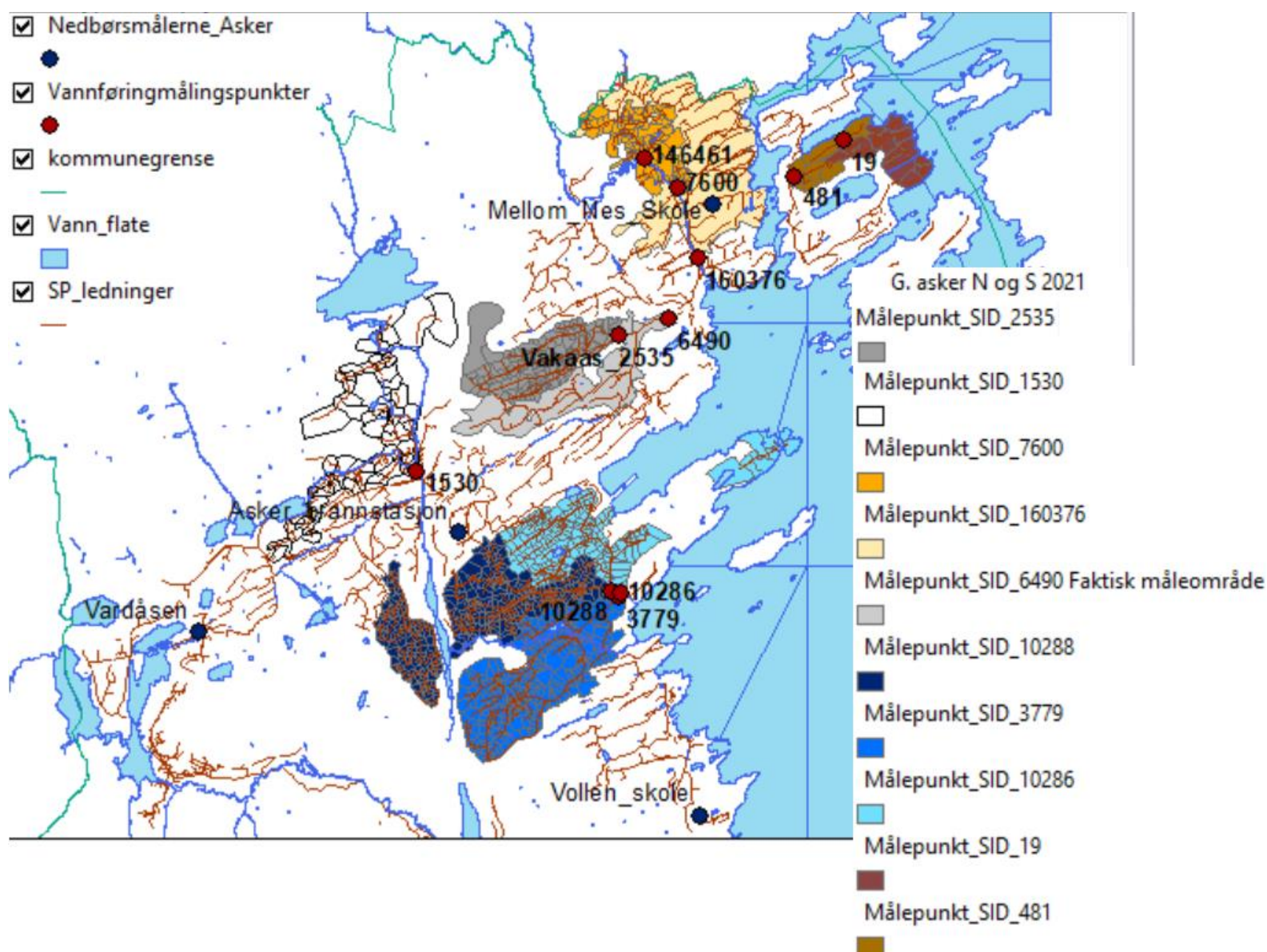
Figur 19 Temperatur og temperaturgradient nedover jordprofilen i området mellom Blakstad og Slemmestad 2. desember 2004 og 25. november 2006 (Elvebakk, 2012). Vist med 20 m akkumulerte endringer i temperatur og 100m til høyre og i midten (Elvebakk, 2012).



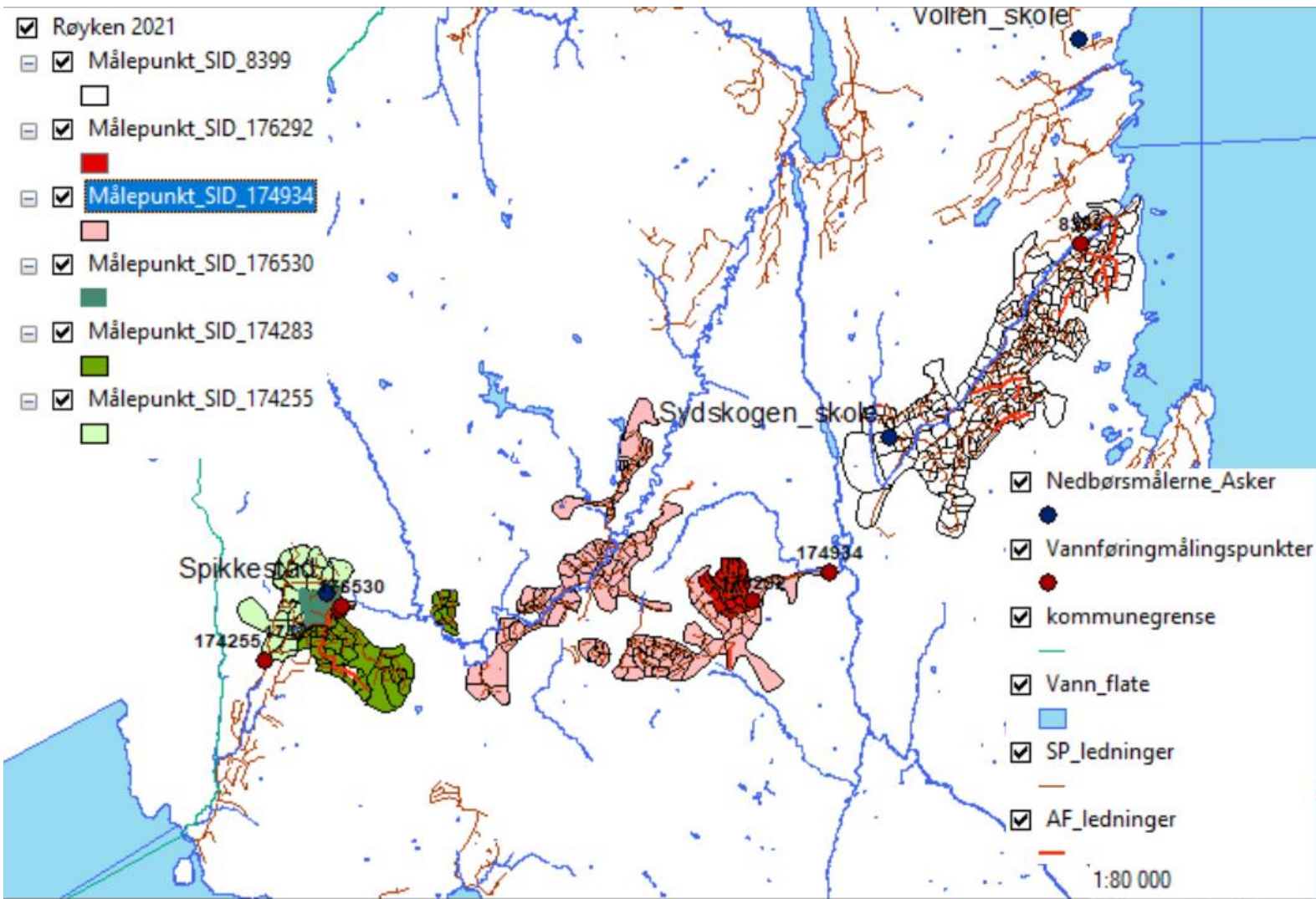
### Avløpssoner

Det er hentet inn målinger fra 7 forskjellige avløpssoner med 17 vannføringsmålere. 5 av avløpssonene er vist under i Figur 20 med 11 av vannføringsmålerne. Det er forsøkt å holde en fargekode på de nedbørmålerne og avløpssonene som hører sammen. Dersom to målere er i samme eller nesten samme avløpsfelt så har de fått lik farge med sjattering som er lysere jo lengre ned i feltet de er posisjonert.

De seks resterende er i to avløpssoner i Figur 21 under. Noen av avløpssonene overlapper de som de ligger nedenfor. Det gjelder 19,7600 og 146461, 2535 og 10288 i Figur 20.



Figur 20 Avløpssoner i tidligere Asker kommune. 1:80 000.

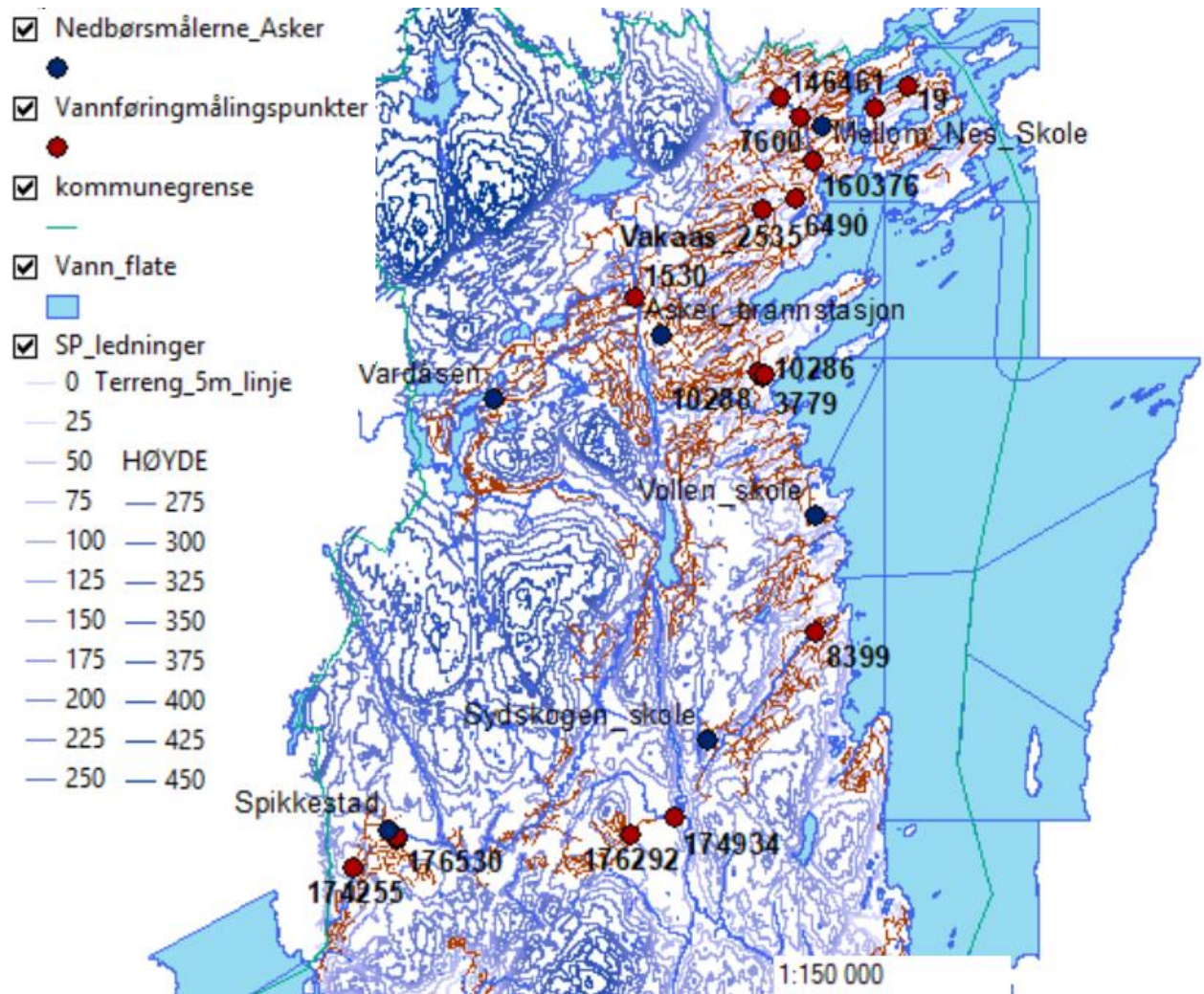


Figur 21 Avløpssoner i tidligere Røyken kommune. 1:80 000

Her overlapper 174934 og 176292 avløpsfeltet 8399, mens 176530 og 174283 (Vist i mørk grønt øst for 174255) overlapper 174255. Alle avløpssonene er vist i detalj i «Avløpssoner» i Del 1.

Topografisk ligger avløpsledninger og målepunkter som vist i Figur 22 med 25 meters koter:





Figur 22 Avløpsledninger i rødt, 25 meters høydekoter i blått med gradering, Nedbørmålestasjoner i blått og vannføringsmålepunkter i rødt. Merk forholdet mellom kart og virkelighet er 1:150 000.

## Tilstandsrapport på ledningsnett og vannføringsmålere

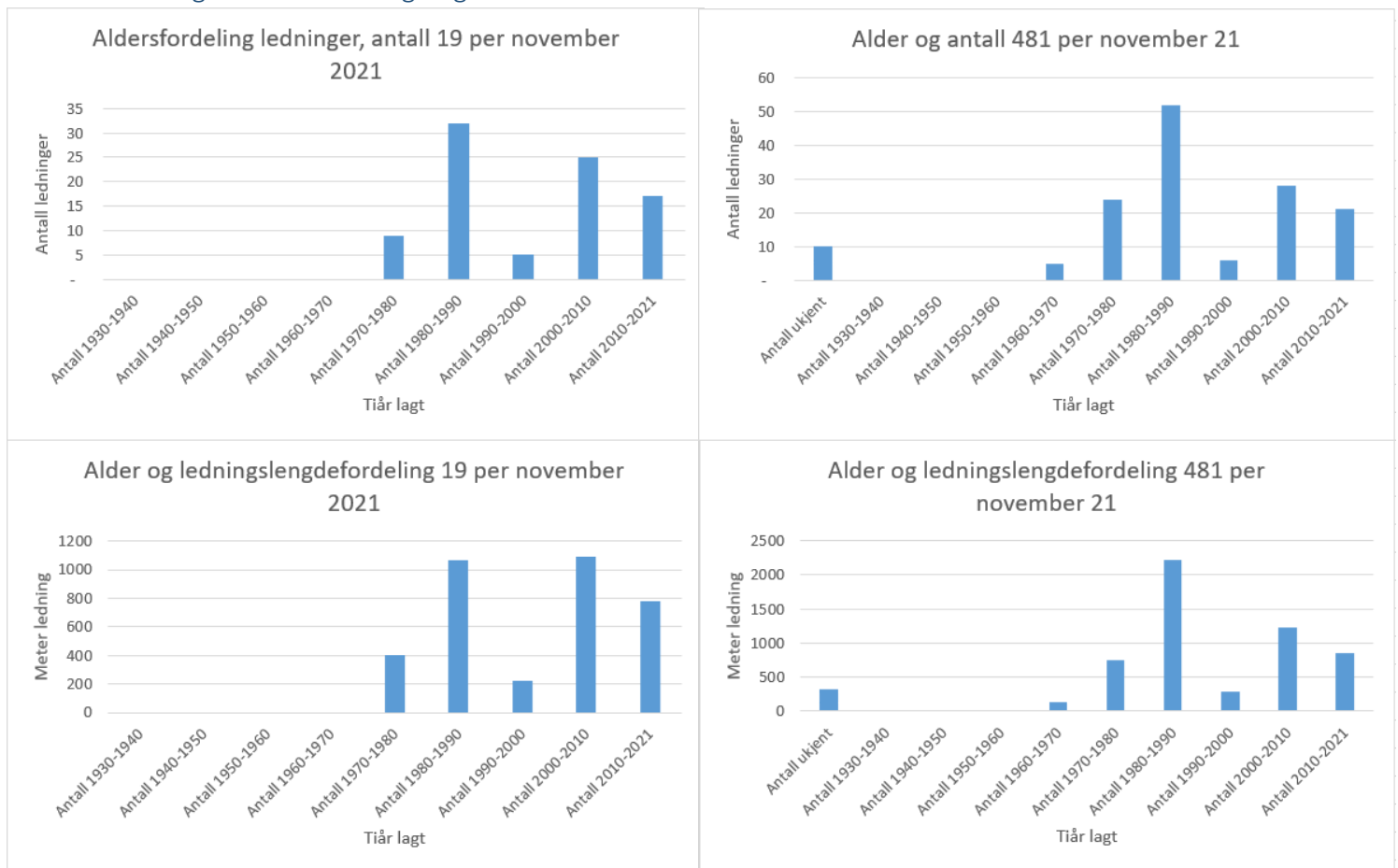
To av de viktige faktorene for resultatene i denne oppgaven er hvordan tilstanden er på ledningsnettet og i hvilken grad vannføringsmålerne klarer å vise riktig vannføring.

### Enkel tilstandsrapport på ledningsnettet

Gamle Asker kommune har et godt operativt ledningssystem ifølge BedreVann undersøkelsen i 2019 (BedreVann, 2019). De scorer topp på avløp både når det gjelder funksjonen til ledningsnettet, overløpsutslipp og tilknytning til godkjent utslipp (BedreVann, 2019). Når det gjelder Røyken så stiller de med samme score. Hurum står til glans på alle områdene med et lite unntak av at de ikke får noe god karakter på å være tilknyttet til godkjent avløpsrenseanlegg (BedreVann, 2019). Dette er blant annet på grunn av mange dårlige renseanlegg som ligger spredt omkring. Tallene for kommunen sett under ett, etter sammenslåing, viser likt som Gamle Asker og Røyken kommune før sammenslåingen bare noe verre på overholdelse av rensekraft (BedreVann, 2020).

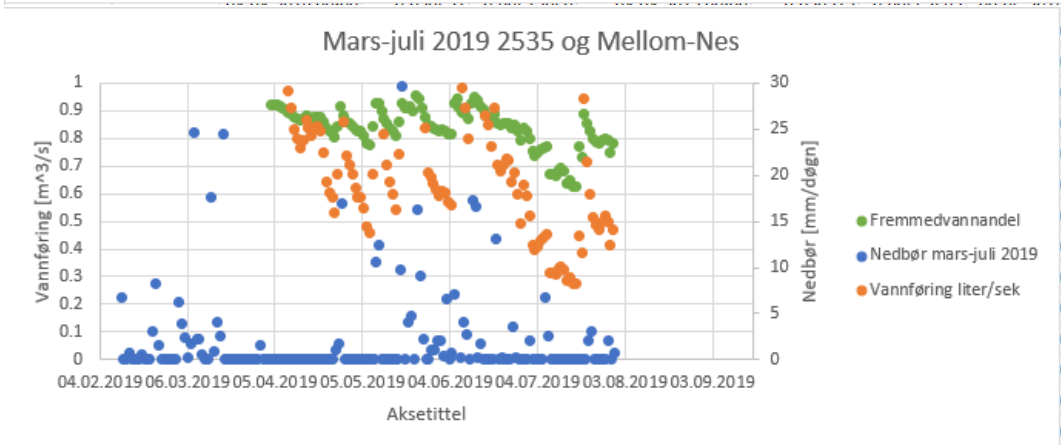
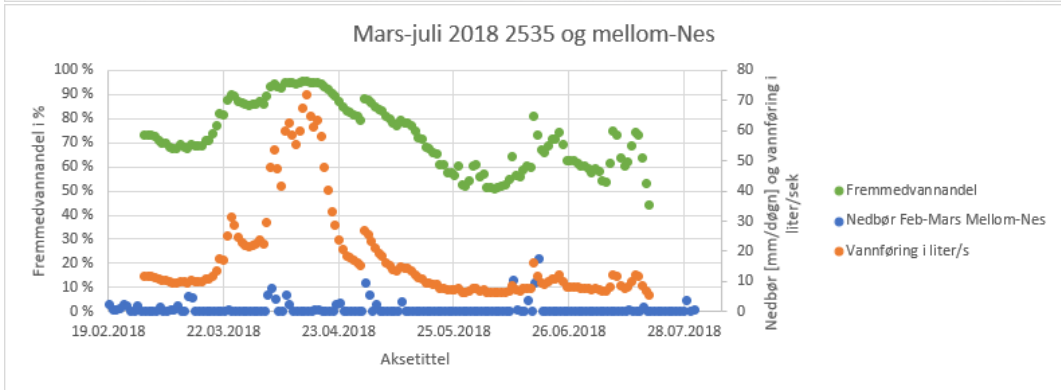
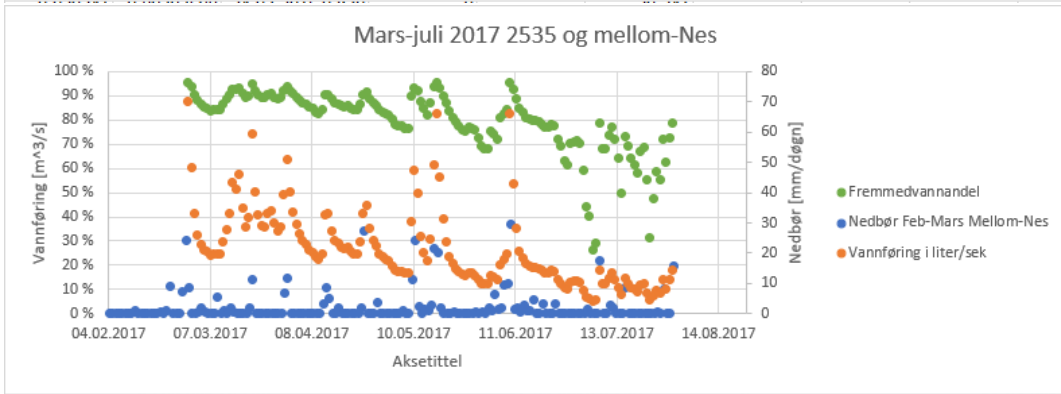
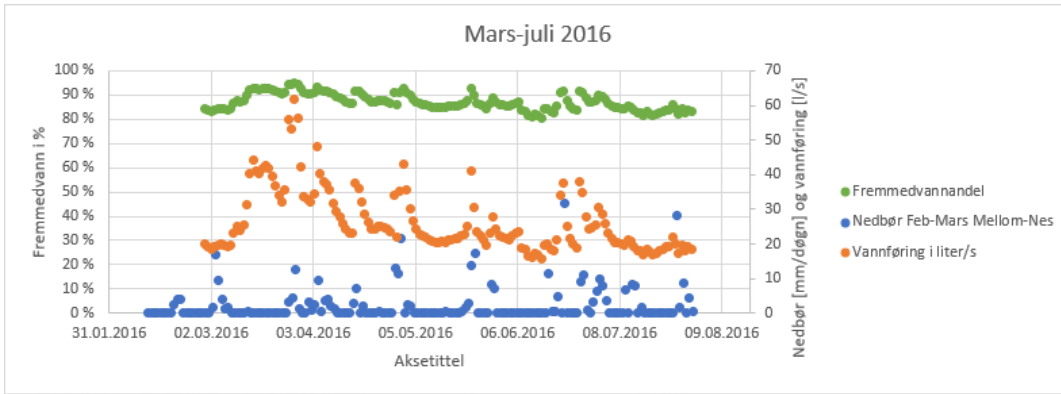
Alle tidligere kommunene i Asker fikk virkelig skryt for avløpsnettet av BedreVann i 2019. I 2020 hadde Asker flest planlagte avbrudd i vannforsyningen i Norge, så det er høy aktivitet i kommunen (BedreVann, 2020). Ser man på Figur 16 i grunnforhold er kanskje ikke dagens tilstand for avløpsnettet så god som det BedreVann gir inntrykk av.

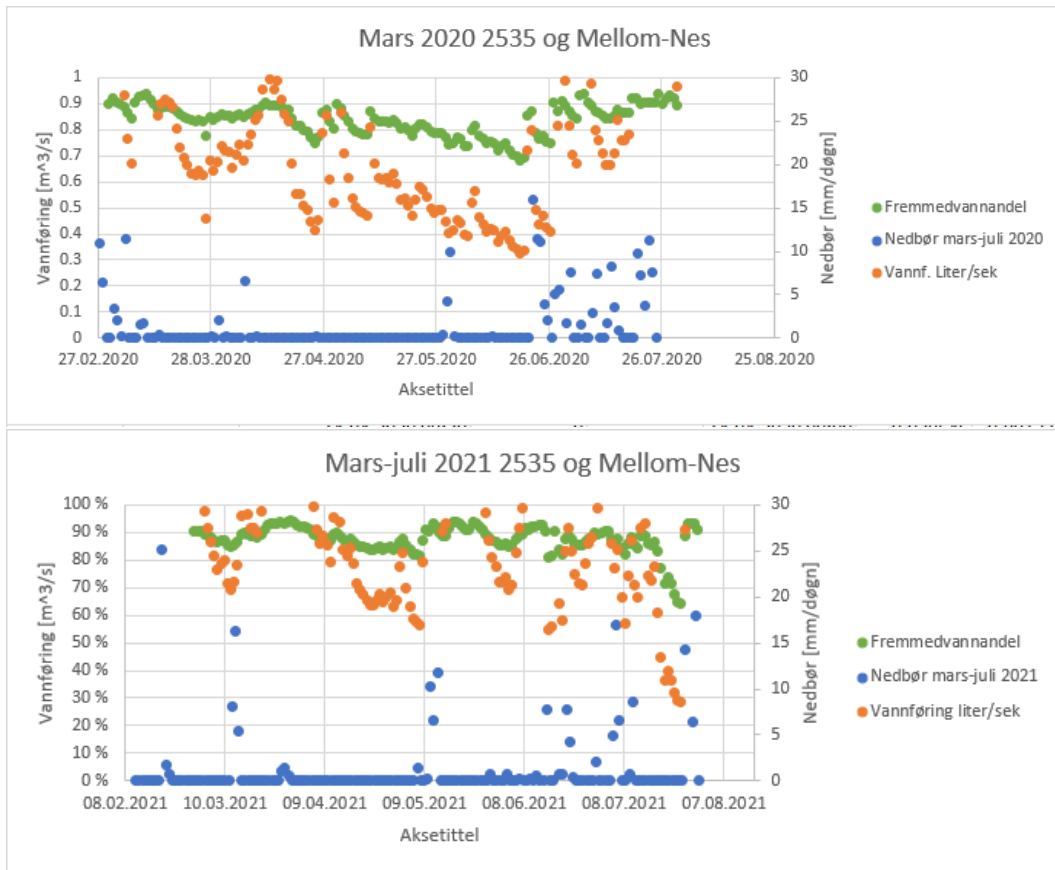
Det er laget oversikter under, over alder på ledningene i nettet og knyttet det opp mot antall ledninger og antall meter. Her kan vi se at det er mange ledninger igjen som er laget på 60-tallet, men få igjen fra før det. Merk at y-aksen ikke har fast skalering. Se «Del 2, uferdige figurer fra nedstengning i 2020 for 2535.



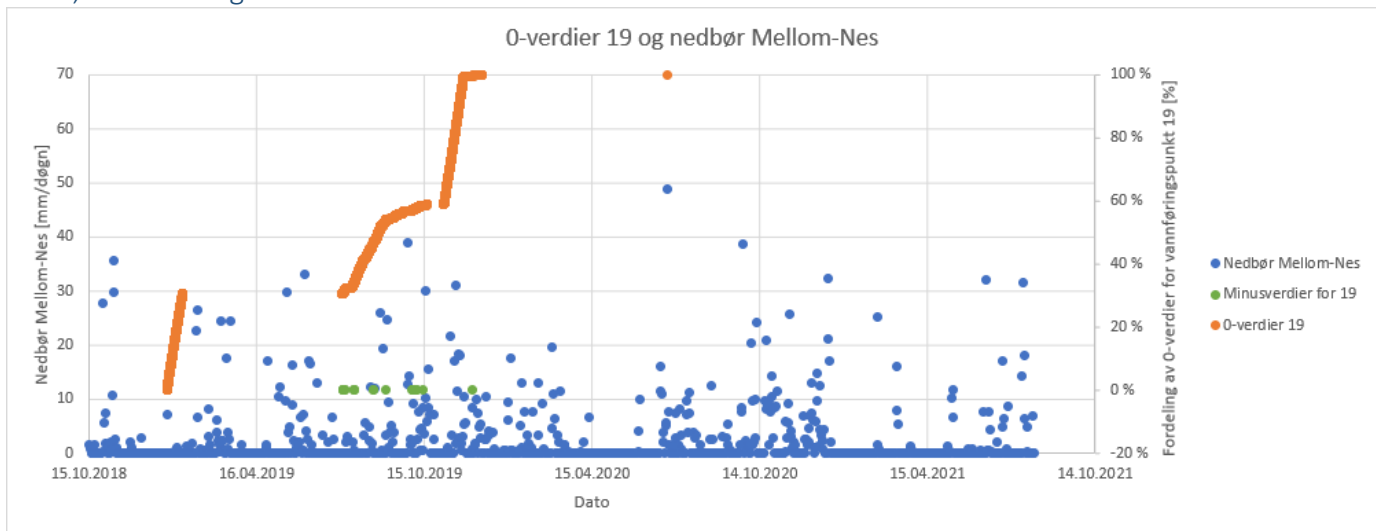
Figur 23 Alder og ledningslengde og antall ledninger per november 2021 for kum nr. 19 i Asker.

Figur 24 Alder og ledningslengde og antall ledninger per november 2021 for kum nr. 19 i Asker.





### Del 3, 0-verdier og minus-verdier



Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 19, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom oktober 2018 og august 2021

Del 4, fordeling av vannføring per total ledningslengde, areal og pe.» for bilde av de andre punktene.

Det er ikke sikkert alle ledninger har blitt oppdatert når de er blitt renovert, men mesteparten skal være riktig. Mange ledninger har blitt og blir renovert i Vakås-feltet oppstrøms 6490 og rett ovenfor

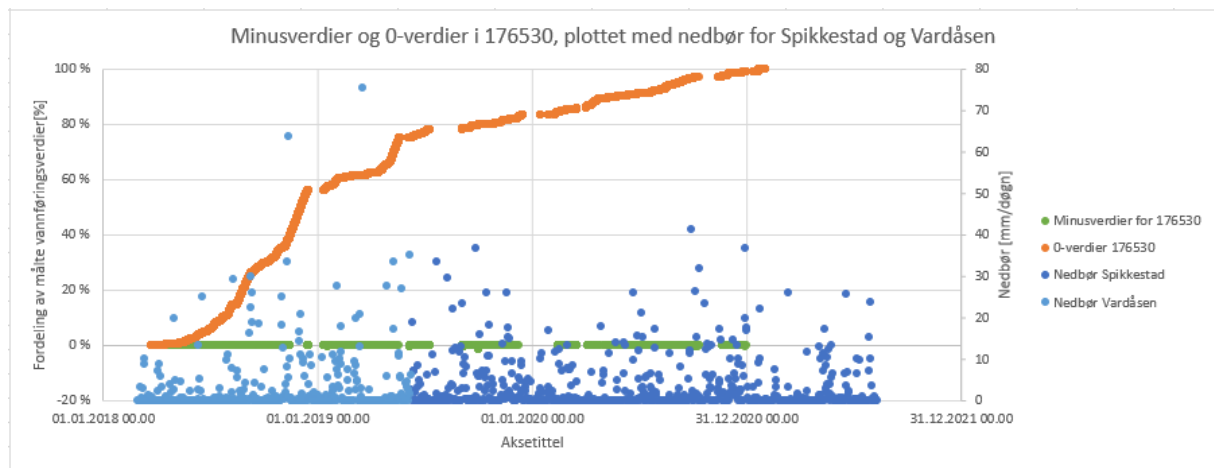


**176530**

Antall 0-verdier:	128487
Antall minus	35481
Antall minusverdi per 0-verdi:	0.277
Siste dag med 0-verdier:	31.01.2021
Siste dag med minus-verdier:	31.12.2020

	176530
174283	56 m
Spikkestad	227 m
174255	1036 m
176292	4496 m
174934	5369 m
Sydskogen skole	6295 m
Vardåsen	8752 m
8399	9026 m
Vollen Skole	10283 m
Asker Brannstasjon	10966 m
3779	11383 m
10288	11401 m
1530	11429 m
10286	11439 m
Asker (SN19710)	13448 m
Vakaas_2535	14068 m
6490	14565 m
160376	15398 m
7600	16010 m
Nesbru	16062 m
146461	16153 m
481	16893 m
19	17602 m

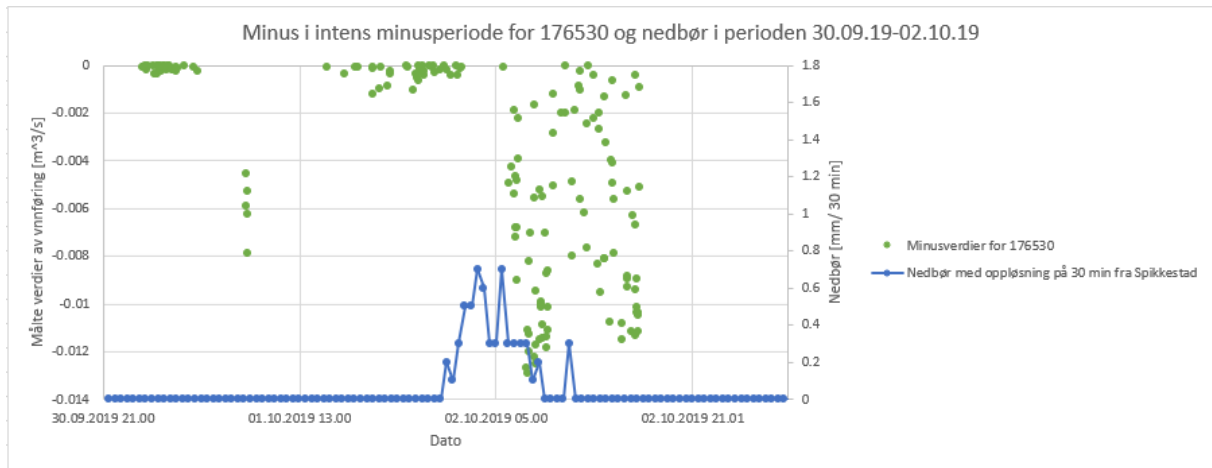
Dette punktet har interfererende ledninger rett ovenfor målepunktet og overløp rett nedenfor. Det er derfor flere faktorer som kan forårsake dårlige vannføringsmålinger (Jenssen Sola et al., 2021; G. Lindholm et al., 1999). Fordeling av 0-verdier og minusverdier er vist i Figur 26.



Figur 26 Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 176530, plottet med døgn-nedbør for Spikkestad og Vardåsen mellom mars 2018 og august 2021.

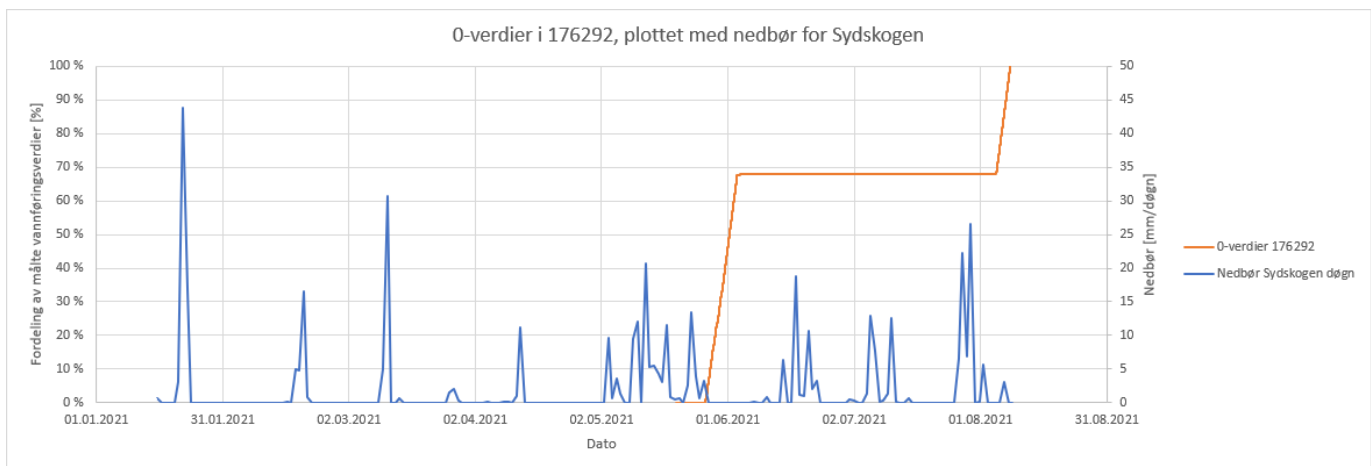
Ser man på denne isolert er det lett å tenke at nedbør og framprovosering av 0-verdier og minusverdier ikke har noe med hverandre å gjøre. Det ser også ut til at negative- og 0-verdier har en sammenheng med hverandre. I perioder 0-verdier oppstår vil også minusverdier måles og omvendt. Likevel, kan man ut fra Figur 27 se at minusverdier kan bli satt i gang av nedbør. Denne perioden er i slutten av en lengre nedbørhendelse. Antagelig blir målerne satt ut av mye turbulens i vannføringen, at man får tilbakeslag i avløpsnettets ofte eller at vannmålerne blir utsatt for vann og fukt på en måte som forstyrrer måling (G. Lindholm et al., 1999).





Figur 27 Minusverdier for vannføring i 176530, plottet med nedbør for Spikkestad mellom 30.09.19 og 03.10.19.

Dette er også mulig å se på andre punkter med mindre andel verdier 0 og under 0. I Figur 28 ser vi for eksempel et målepunkt for vannføring som ligger i et avløpsfelt noen kilometer unna 176530. Det viser at 0-verdier kan komme svært jevnt over en periode på flere uker. Her også igangsettes verdi-rekkene i perioder med nedbørhendelser.



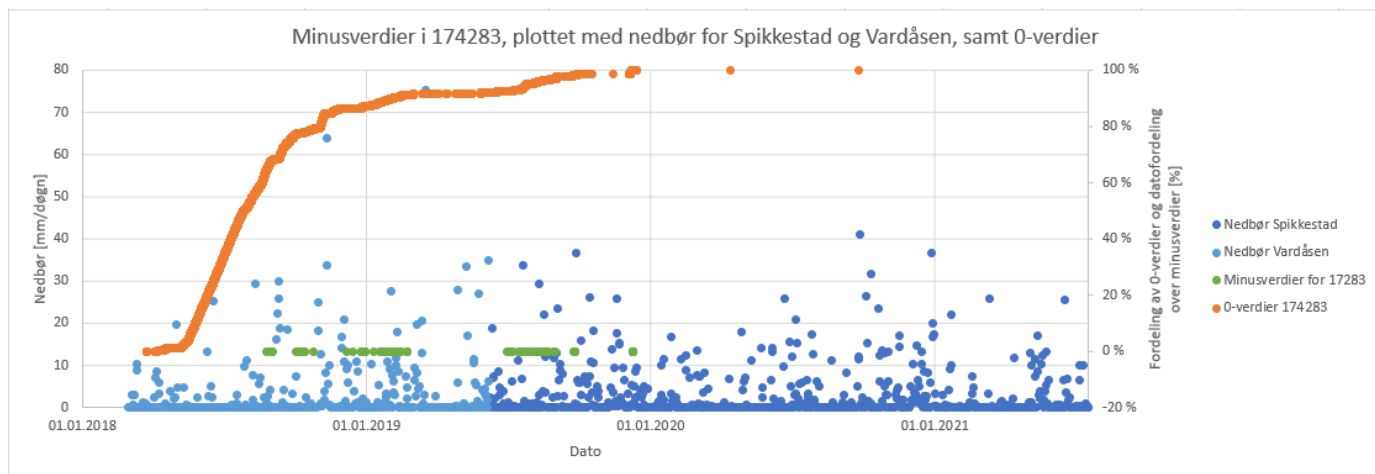
Figur 28 0-verdier for vannføring i 176292, plottet med nedbør for Sydsbogen mellom januar 2021 og august 2021. Siste perioden rettes antagelig av utstyrsleverandør etter hvert.

**174283**

Videre er det ikke gitt at 0-verdier og minusverdier settes i gang av hverandre over alt. Som man kan se i Figur 29 for 174283 (nærmeste naboen til 176530) er det ikke noe stopp i 0-verdier i 2019 og slutten av 2018, mens for verdiene under 0 så er det flere perioder uten slike målinger.

Antall 0-verdier:	85283
Antall minus	154
Antall minusverdi per 0-verdi:	0.2 %
Siste dag 0-verdier:	26.09.2020
Siste dag minus:	09.12.2019

	174283
176530	56.2 m
Spikkestad	240.7 m
174255	983.9 m
176292	4528.0 m
174934	5404.1 m
Sydskogen skole	6338.5 m
Vardåsen	8804.1 m
8399	9074.6 m
Vollen Skole	10336.4 m
Asker Brannstasjon	11021.6 m
3779	11438.8 m
10288	11457.1 m
1530	11483.9 m
10286	11494.5 m
Asker (SN19710)	13502.8 m
Vakaas_2535	14123.8 m
6490	14621.0 m
160376	15454.5 m
7600	16066.2 m
Nesbru	16118.5 m
146461	16209.0 m
481	16948.9 m
19	17657.8 m



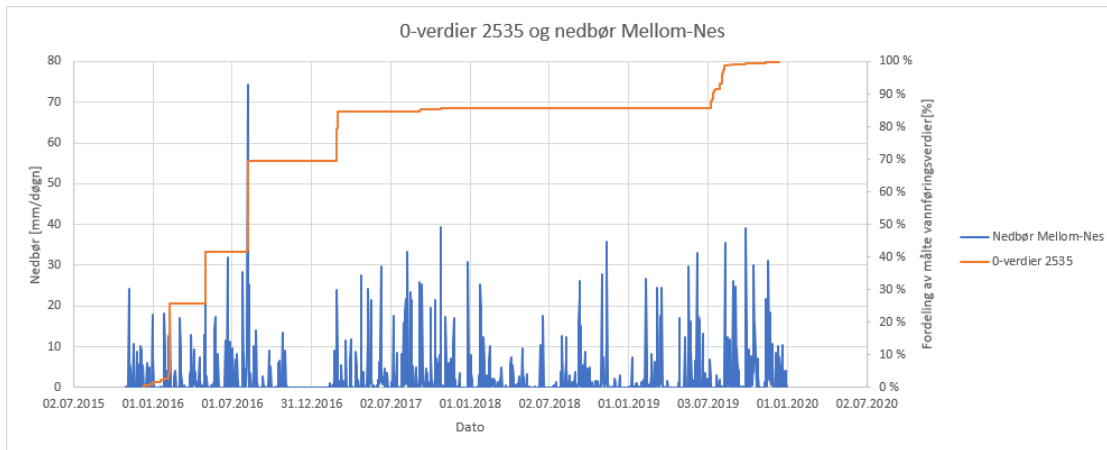
Figur 29 Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 174283, plottet med nedbør for Spikkestad og Vardåsen mellom mars 2018 og august 2021

**2535**

Antall 0-verdier:	4367
Siste dag 0 verdier:	13.12.2019

Det er verdt å nevne 2535 i forbindelse med denne diskusjonen. I Figur 30 ser vi nok et punkt som får 0-verdier ved nedbørhendelser. Den viser 0-verdier kun i veldig korte perioder.

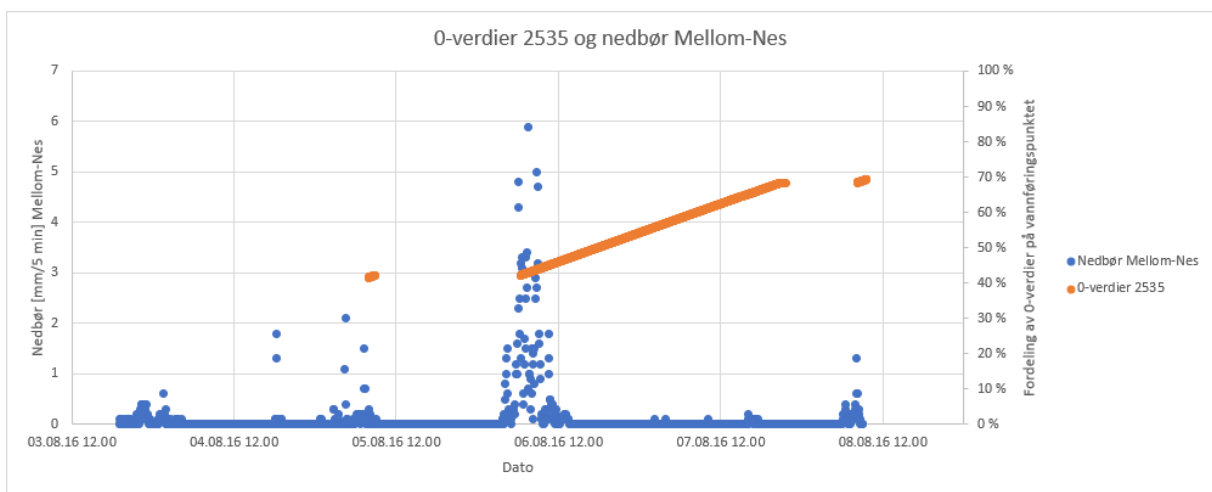
	Vakaas_2535
6490	657.9 m
160376	1376.6 m
7600	1960.5 m
Nesbru	2001.2 m
146461	2222.4 m
Asker (SN19710)	2258.1 m
481	2939.4 m
1530	3009.4 m
Asker Brannstasjon	3149.1 m
10288	3157.1 m
10286	3194.4 m
3779	3243.1 m
19	3692.5 m
Vollen Skole	5775.4 m
Vardåsen	6329.5 m
8399	8244.8 m
Sydskogen skole	10375.4 m
174934	11906.2 m
176292	12376.2 m
Spikkestad	14027.4 m
176530	14067.7 m
174283	14123.8 m
174255	15014.3 m



Figur 30 O-verdier for vannføring i 2535, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom januar 2021 og august 2021.

Ved nærmere undersøkelse av et av de sterkeste nedbørhendelsene i 2016 (Figur 31) er det ganske klart at O-verdiene knyttet til dette punktet ofte og kanskje alltid har en tilknytning til nedbør.

Dager i periode 05.08 07:54 - 08.08 09:36	3.1
Dager med 0-verdi lagt sammen	1.7
Antall 2 min med 0-verdi	1215
Andel 0-verdier i periode	54.95 %



Figur 31 Verdier av 0 for vannføring i 2535, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom 03.08.16 og 08.08.16.

Ofta vil vannføringsmålere og vise like verdier (på mikroliter-nivå) i lengre perioder. Noe som nok ville anses som usannsynlig selv om det skulle være stillestående vann i røret. Innimellom er 0-verdier og andre verdier noe merkelig distribuert. Andre ganger er 0-verdier tilstede til tross for at det er usannsynlig at det har vært null strømming når man ser på vannføring før og etter. På bakgrunn av dette velges det derfor å fjerne 0- og minus-verdier for vannføring over hele perioden måleren er satt opp i tilknytning til avløpskummen.

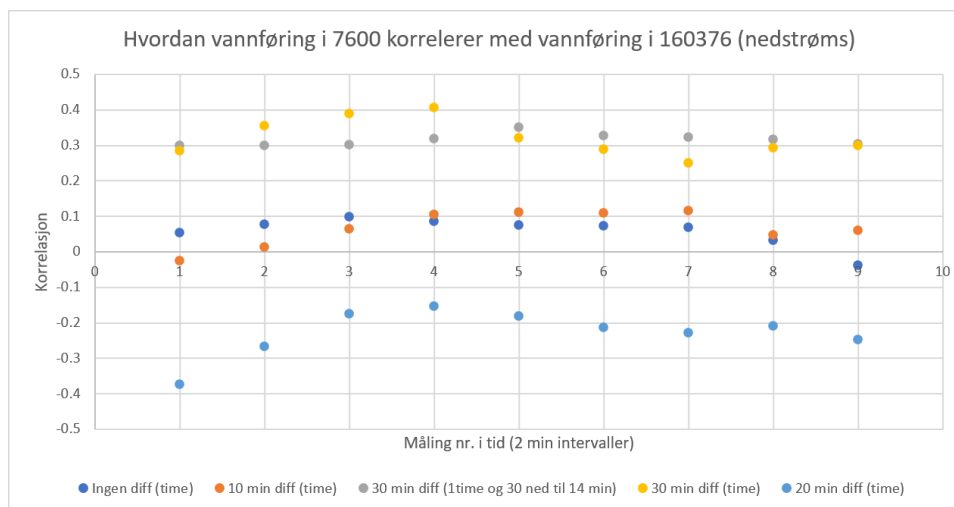
## Hastighet i vannføring og likhet mellom to punkter som ligger 900 meter unna hverandre

Vannføringsmålerne 160376 og 7600 ble analysert siden de hadde ingen spesielt kjente usikkerheter rundt valideringen av dataene. Deres posisjon i forhold til hverandre er vist i Figur 32 under:



Figur 32 Oversiktsbilde over avløpsledninger og avstand mellom 7600 og 160376. (Høydedata.no)

Disse vannføringspunktene ble også brukt til å se om det er mulig å oppdage bedre korrelasjon mellom vannføringsmålinger når man justerer for antatt avrenningstid beregnet av vannhastighet ved et tidspunkt og avstand mellom punktene (Figur 33). Punktene ligger 903 meter unna hverandre. «30 min diff» betyr at målinger er blitt sammenlignet på forskjellig tidspunkt med differanse på 30 min. Mens (time) betyr at det er sett på 30 eller 31 2-minutts-målinger i rekkefølge. Ned til 14 min betyr at de har blitt sammenlignet fram til et tidspunkt og deretter har det blitt sammenlignet færre og færre målinger.



Figur 33 Hvordan vannføring i 7600 korrelerer med vannføring i 160376

Da ble det i en periode med vannføring over gjennomsnittet, funnet en klart bedre korrelasjon (rundt 0.58 i forhold til rundt 0.23 for flere tidsintervaller) mellom vannføringsmålinger som hadde 10 min differanse enn andre differanser. Dette var 22 minutter kortere enn hva man forventet ut fra gjennomsnittlig hastighet i 7600 på tidspunktet og avstand til 160376, men virker fornuftig ut fra målt hastighet i 7600 på dette tidspunktet. Det er kun 0.13% fall på strekningen, mange påslippspunkter og til og med en pumpe, så det ser lovende ut med tanke på å kunne finne sammenhenger i temperatur. Videre ble det funnet i en periode (17/9 2021 kl 14-15:30) med gjennomsnittshastighet en nesten tilsvarende klart bedre korrelasjon mellom vannføring i 7600 og 160376 med helt andre strømningsforhold. Det virker derfor som om det er mulig å finne gjennomsnittshastighet mellom disse to vannføringsmålingspunktene, kun ut fra hvordan vannføringene korrelerer med hverandre, selv om det er flere påslippspunkter som forstyrrer i dette tilfellet. Dette styrker også kredibiliteten til at måleutstyret har noenlunde samme reaksjon på endringer i vannføringen.

### Situasjon rundt fremmedvann i Asker og omegn

Innledningsvis i dette avsnittet vil situasjonen rundt fremmedvann i og rundt Asker bli redegjort for. Det blir gitt en oversikt over hva man kan anslå og hva som er blitt anslått av fremmedvann fra tidligere undersøkelser i Asker. Så vil en oversikt over fremmedvann og nedbør inn til VEAS de siste årene med sporstoff-metoden bli gitt (Formel 1). Deretter illustreres nedbørsituasjonen i Asker ved de 6 målestasjonene som er der.

#### Situasjon rundt fremmedvann i Asker-området

Det er tidligere gjort undersøkelser på hvor mye fremmedvann det er i gamle Asker kommune (Jenssen Sola, Bjerkholt et al. 2018; Jenssen Sola, Bjerkholt 2021; Jenssen Sola et al., 2019). Der er det funnet store fremmedvannmengder flere steder, men i Asker kommune i 2018 ble det anslått 71% i 2008 og 63% i 2016 med vannbalansemetoden (Jenssen Sola, Bjerkholt 2018). I tillegg var det i gjennomsnitt rundt 67.5% fremmedvann inn på VEAS ifølge sporstoff-metoden med Tot-P i 2010 (Lindholm 2011).

En tidligere undersøkelse i 1984 anslo at Asker hadde 32 996 PE, mens Slemmestad hadde 11 535 PE (Vrål, 1984). Deretter ble tørrvæsvannføringen fra Asker til VEAS stipulert å ligge på 396 l/(PE\*d). Det tilsvarer 49.5% fremmedvann med 200 l/(PE\*d), som er den antagelsen som ble gjort tidlig i det prosjektet. Bruker man 140 l/(PE\*d) tilsvarer dette 64.6%. I Slemmestad lå tørrvæsvannføringen helt nede i 272 l/(PE\*d) noe som tilsvarer 26,5% med 200l/(PE\*d) og 48,5 % med 140 l/(PE\*d). Disse tallene er vist i Tabell 2 under.

Tabell 2 Tørrværstilskudd og tilsvarende fremmedvannandel for Asker og Slemmestad i 1983 og 1984.

	Tørrværstilskudd [l/(PE*d)]	Fremmedvann når tørrværsforhold er 140l/(PE*d)	Fremmedvann når tørrværsforhold er (200l/(PE*d))	Fremmedvann under vårflom (uke 15, 1984) basert på 140 l/(PE*d).	Fremmedvann under vårflom (uke 15, 1984) basert på 200 l/(PE*d).
Slemmestad	272	48,5%	26,5%	88,3%	77,3%
Asker	396	64,6 %	49,5%	92,5%	89,3%

I 1984 ble vannføring inn til VEAS i uke 1-24 anslått til 1 739 000 kubikk per uke. Asker står for rundt 8% av dette. Det er da 7 200 000 m<sup>3</sup>/år fra Asker i 1984, anslått ut fra målinger i et halvt år. Til sammen ble det anslått 44 531 PE fra Asker og Slemmestad til sammen. Dette gir 2 2750 000 m<sup>3</sup>/år (med 0.14 m<sup>3</sup>/(PE\*d)). Fremmedvannandel blir da 68.5% per år. Dette stemmer svært bra med hva

man fant i en sporstoff-undersøkelsen for hele VEAS i 2010 (Lindholm 2011) selv om det da ble brukt 160 l/(PE\*d). Bruker man 160 l/(PE\*d) gir det en fremmedvannandel på 64% med data fra 1984. Det er altså som man kan se i Tabell 3 rimelig sammenlignbar mengde fremmedvannandel i 1984, 2008, 2010 og 2016.

*Tabell 3 Fremmedvannandeler for Asker basert på data fra 1984, 2008, 2010 og 2016. Merk at tallet fra 2010 er justert til 140 l/(PE\*d) for å lettere kunne sammenlignes i denne tabellen. Originale data er hentet fra (Vråle, 1984), (Lindholm 2011) og (Jenssen Sola, Bjerkholt et al. 2018).*

Tid l/l for Asker	Fremmedvann (1984) totalt basert på 140 l/(PE*d).	Fremmedvann (2008) totalt basert på 140 l/(PE*d).	Fremmedvann (2010) totalt, OBS! basert på 140 l/(PE*d).	Fremmedvann (2016) totalt basert på 140 l/(PE*d).
Mengde l/l	68,5%	71%	69,4%	63%

### VEAS (vestfjorden avløpsselskap)

Inspirert av (Lindholm 2011) ble det valgt å gjøre et overslag på fremmedvannandeler inn til VEAS for 2021. I den forbindelse ble det undersøkt fosforforbruk i Norge, påslipps-data fra 80-tallet og årsnedbør fra Asker SN 19710 og Blindern.

### Fosforbruk

En kort og liten undersøkelse fra 2019 om kosthold for gutter i alderen 13-14 år (Derås & Kristiansen, 2019) tok for seg fosforinntaket på bakgrunn av at de drev med idrett regelmessig. Undersøkelsen var et bekvemlighets-utvalg av 21 gutter som registrerer eget kosthold i 3 dager. Det kom fram at disse guttene har et kosthold på 2000 mg fosfor /døgn. Guttene trente minst 3 ganger i uka og registrerte inntak av mat i 3 dager. For andre 13-14 åringer fra en landsdekkende undersøkelse over fire dager av 1300 4. og 8. klassinger, ble det funnet at gutter hadde et inntak rundt 1361 mg per døgn (Hansen, Myhre, Johansen, Paulsen, & Andersen, 2015). Rådataene viste 1500 mg/d for kun gutter, men studien vektet for skjevheten i studien på foreldrenes utdanningsnivå, og da kan det se ut som snittet ligger lavere. Det var og jenter med i den landsdekkende studien. De hadde et forbruk på 1231 mg/d og sammen med guttenes verdier fikk man da 1361 mg/d i snitt. 4. klassinger viste 1256 mg/d vektet for utdanningsnivå på foreldre, mens 8. kl. viste 1320 mg/d i snitt når man vektet for utdanningsnivå på foreldre. Videre er det interessant å se at andelene er lavere i Oslo og Akershus-området samt i Sør-Øst Norge, enn i de andre landsregionene med unntak av Nord-Norge. Inntak av fosfor var 3% lavere i Sør-Øst Norge enn resten av Norge og 5% lavere i Oslo og Akershus (Hansen et al., 2015).

(Itkonen et al., 2017) viste at man i Helsingfors Finland får i seg 1812 mg P om dagen som mann og 1538 mg P per døgn som kvinne (37-47 år gamle). Denne undersøkelsen ble gjort på 179 menn og 333 tilfeldig valgte kvinner over tre dager i Helsinki-området. Deltagere ble også her bedt om å registrere matinntak. De 1920 personene i studien ble nådd med mail.

I Tromsø har det blitt gjort en studie av 11 500 menn og kvinner i alderen 40 og oppover. De fant at gjennomsnittelig selvrappertert fosfor inntak fra mat var på 1944 mg/d for menn og 1719 mg/d for kvinner. Studien var populasjonsbasert og gjennomsnittlig alder var 58 og 57 år. (Lundblad et al., 2019).

En oppsummering av studier fra hele Europa om kosthold og næringsstoffer viste at Norge har et gjennomsnittlig inntak av fosfor på 2070 mg/d for menn over 35 år i sør og øst, mens 1348 for kvinner over 35 år i sør og øst, og 1344 for kvinner i nord og vest (Welch et al., 2009). Sett sammen



med de tidligere studiene gjengitt får man at kvinner og barn har ganske likt inntak av fosfor, mens menn ligger en del høyere. Antar man at menn over 20 år får i seg omtrent like mye fosfor og står for 37% av befolkningen ender man opp med fosforproduksjon på  $2070 \cdot 37/100 + 1348 \cdot 63/100 \sim 1615$  mg/pd. Her er det muligens tatt litt i. I forbindelse med avløpsvann antar vi her at det er en lik sammenheng med fosforinntak og fosforutslipp. Fosfor fra matrester, våtavsetning og tørravsetning, samt fra vaskemidler i noen land, kommer også med inn i avløpsvannet (Oredalen & Aas, 2000; Vråle, 1987, 2011). Dette kan føre nivået litt høyere oppover mot 1.8 g/pd i dette området.

#### Fremmedvannandel inn til VEAS

Dersom man velger 1.7g/pd og bruker dette sammen med et forbruk på 140 l/pd får man at det slippes ut 0,01214 g/l eller rundt 12.14 mg/l fra husholdninger. Ved VEAS ble det målt en konsentrasjon på 3.66 mg/l i 2010 (Lindholm 2011). Av dette er en ukjent del (for undertegnede), industri. Men Svensk Vatn anslår dette til rundt 50 l/pd. I Tabell 4 kan man se et anslag av industri-påslipp i PE inn til VEAS anslått på 80-tallet:

*Tabell 4 Oversikt over påslipp til VEAS på 70- og 80- tallet (Vråle, 2011), ta høyde for både dårlige målepunkter, forenklinger og unøyaktigheter. Noen av industripåslippene kan være satt kunstig høyt. PE står for personheter fra både industri og husholdninger (Vråle, 1984). Det står for 70 g BOF-/døgn.*

Steder:	Oslo	Bærum	Asker	Røyken	Samlet
Industri påslipp [PE]:	373 705	20 539	1 740	125	396 109
Mengde totalt 70-tallet[PE]:	589 639	93 342	32 996	11 535	727 512
Industripåslipp av total PE [%]:	63,4	22	5,3	1,1	54

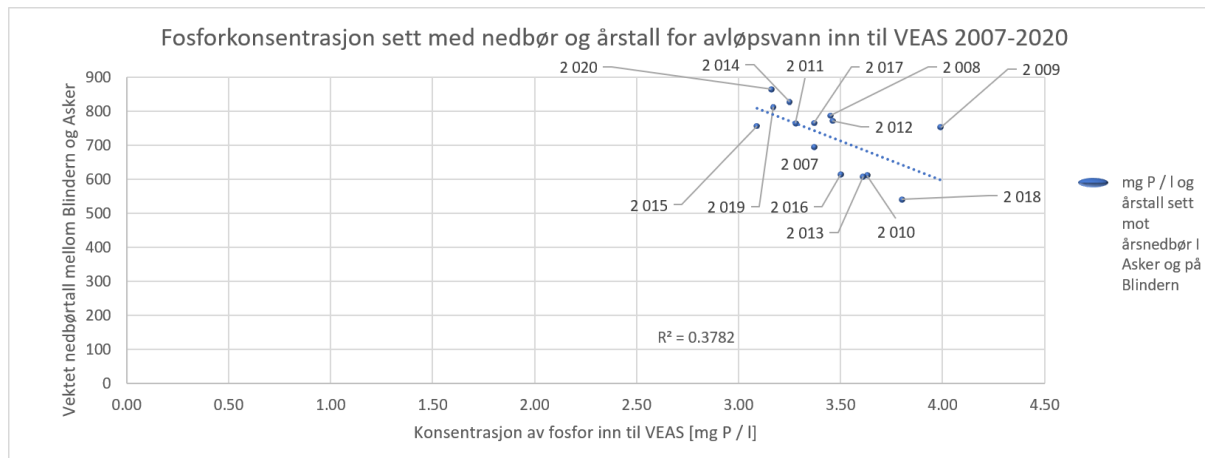
Dette er neppe særlig representativt for situasjonen i dag, og kanskje ikke helt for situasjonen den gang heller. Men gir et bilde av hvor lite industrien ble antatt å bidra med av avløpsvann i Asker. Det har ikke endret seg mye siden den gang (Jenssen Sola et al., 2021; Jenssen Sola et al., 2019).

I dag finner VEAS 3.2 mg P/l (2020), og 3.37 mg P/l i 5 siste års gjennomsnitt inn til renseanlegget. I forhold til 3.66 mg P/l for ti år siden virker det da som at fremmedvannandelene har økt. Antall PE tilknyttet anlegget har ikke gått ned i denne perioden, men økt ganske mye. Antall personer tilknyttet har økt en del. Det er opp 11% siden den gang, men 8.5% dersom man ikke regner inn 17 000 som ble tatt bort i 2019 (VEAS, 2019). Dette indikerer at det kan være økning i lekkasjene fra avløpsnett, at folk de siste årene forbruker mindre fosfor i avløpsnett til Oslo, Bærum og Asker, at det lekker mindre fosfor inn i ledningene fra jorda og/eller at industri slipper ut mindre. Det er ikke helt usannsynlig at pendlerbidraget har vært mindre de siste to årene heller. På grunn av mye nedbør kan fort lekkasjer og overløp ha vært større i denne perioden. Disse faktorene har tidligere blitt belyst som viktige bidrag til variasjon i fosformengder til renseanlegg (Vråle, 1987).

Fremmedvannandelen kan regnes ut fra dette litt grovt dersom man senker 3.66 ned til hva man tror den ville vært uten industri, og bruker (Lindholm 2011) sin uttynningsmetode. Da blir det med for eksempel 3.5 mg Tot-P per liter, en fremmedvannandel på:

Andel fremmedvann av husholdninger i prosent =  $(1 - 140 \text{ l/pd} \cdot 3.5 \text{ Tot-P i mg/l} / 1700 \text{ mg/pd}) \cdot 100 = 71.1 \%$ . Uten å endre fra 3.66 til 3.5 og om man bytter ut dimensjonerende mengder med hva som blir anslått å komme fra industri og husholdninger i Sverige (Svenskt Vatn, 2021) ville man vært på 61.2% med 180 l/pd (her er industri inkludert i 180 l/pd).

Sett over de siste 14 årene ser innløpskonsentrasjon av fosfor og vektet nedbør inn til VEAS som vist i Figur 34:



Figur 34 Oversikt som viser hvordan avløpsvannets konsentrasjon av fosfor har vært inn til VEAS.

X-aksen i Figur 34 viser hvor stor konsentrasjon fosfor det har vært, mens punktenes posisjon på y-aksen viser hvor mye nedbør det har vært i Asker og på Blindern i forhold til andelen vann inn fra hvert av områdene.

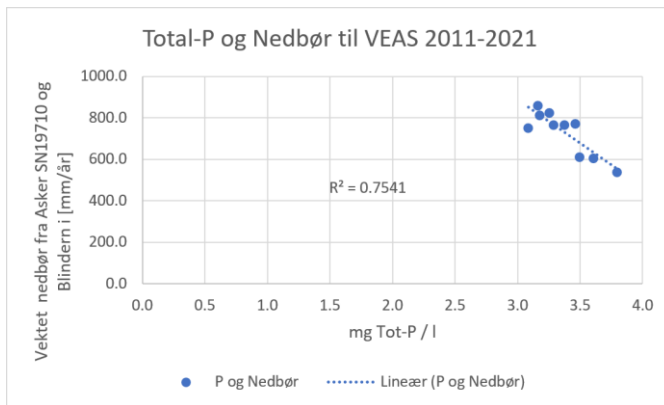
For å ha regionale anslag fra andre kilder enn vannbalanse kan man da sammenligne resultater senere i rapporten med disse forenklingene og ha i bakhodet at noe rundt 65-70% av avløpsvannet fra Asker, Oslo og Bærum til VEAS, er per 2021, fremmedvann.

#### Variasjon i årsnedbør og fosforkonsentrasjon sett i sammenheng med hverandre

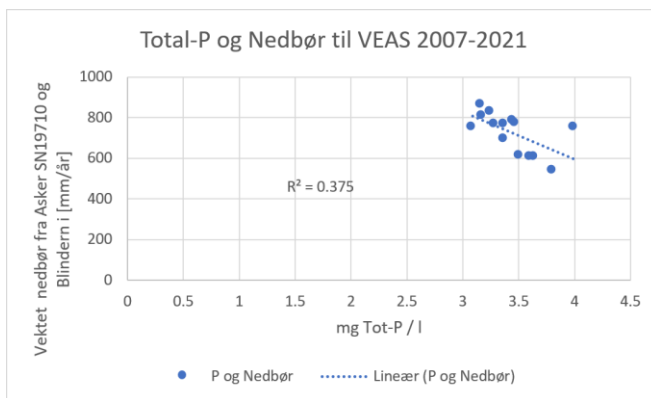
De siste fem årene har VEAS funnet mellom 331 og 343 tonn fosfor per år inn til anlegget. Disse tallene virker svært stabile. Kun 2 % i maks forskjell på hvert anslag fra de siste fem årene i forhold til års- snittet i perioden, eller 4.23 tonn i standard avvik (VEAS, 2020). I forhold viser volumendringene i avløpsstrømmen variasjon med opp mot 12% av snittet eller 7.66 i standard avvik. Man kan derfor anta at det er omtrent de samme mengdene fosfor fra spesifikt forbruk og industri minus utlekking og overløp hvert år de siste fem årene. Her kan det nevnes at det virker som at man mister mer fosfor per tid inn til renseanlegg i situasjoner med mye nedbør (Vråle, 1984). Noe som betyr at det er større utlekking av ledningsnett når det er mye fremmedvann.

Ser man tallene de siste fem årene (2016-2020) opp mot hverandre og justerer nedbørmengde fra Asker og Blindern mot andel avløpsmengde avgitt til VEAS finner man at dette justerte tallet på en gjennomsnittsnedbør er 95.5% negativt korrelert med årlig fosforinnhold i avløpsvann i mg P/l. For de siste ti er det derimot 86.8% negativt korrelert. R kvadrat gir da 0.75 i sammenheng som man kan se i Figur 35. Dette indikerer grovt sett at det kan være rundt 25% av variasjonen i fosforstrømmen som blir forklart av andre faktorer enn uttyning av fremmedvann fra nedbør. Her er da nedbøren ikke avhengig av fosfor per liter og fosfor per liter antatt å være avhengig av nedbør. Nedbøren forklarer antageligvis rundt 75% av fosforkonsentrasjon-variasjonen og vi har da 25% igjen til andre faktorer som variasjon i forbruksmønstre, variasjon av grunnvannsinnelekking, evapotranspirasjon, spillvannsutlekking (kvalitet på ledningsnett, endring i fosforkonsentrasjon i eller tilført jorda mm.), hvor folk bor og hvordan avløpsnett er utformet, for å nevne noen. Det ble senere forsøkt å se om sammenhengen holder seg lengre enn til 2011, men sammenhengene ble mindre om man ser tilbake til 2007. En av årsakene til det kan være at det var noen år med stor forskjell på nedbør i Asker og Blindern og i forhold til på Gjetsum som ligger i Bærum. Eventuelt så ser år 2009 i Figur 36 ut som en

slags outlier som ødelegger sammenhengen ellers. Korrelasjon sett over ett siden 2007 ble da kun - 61%, noe som illustrerer hvor lite korrelasjon det var i årene 2007-2011.



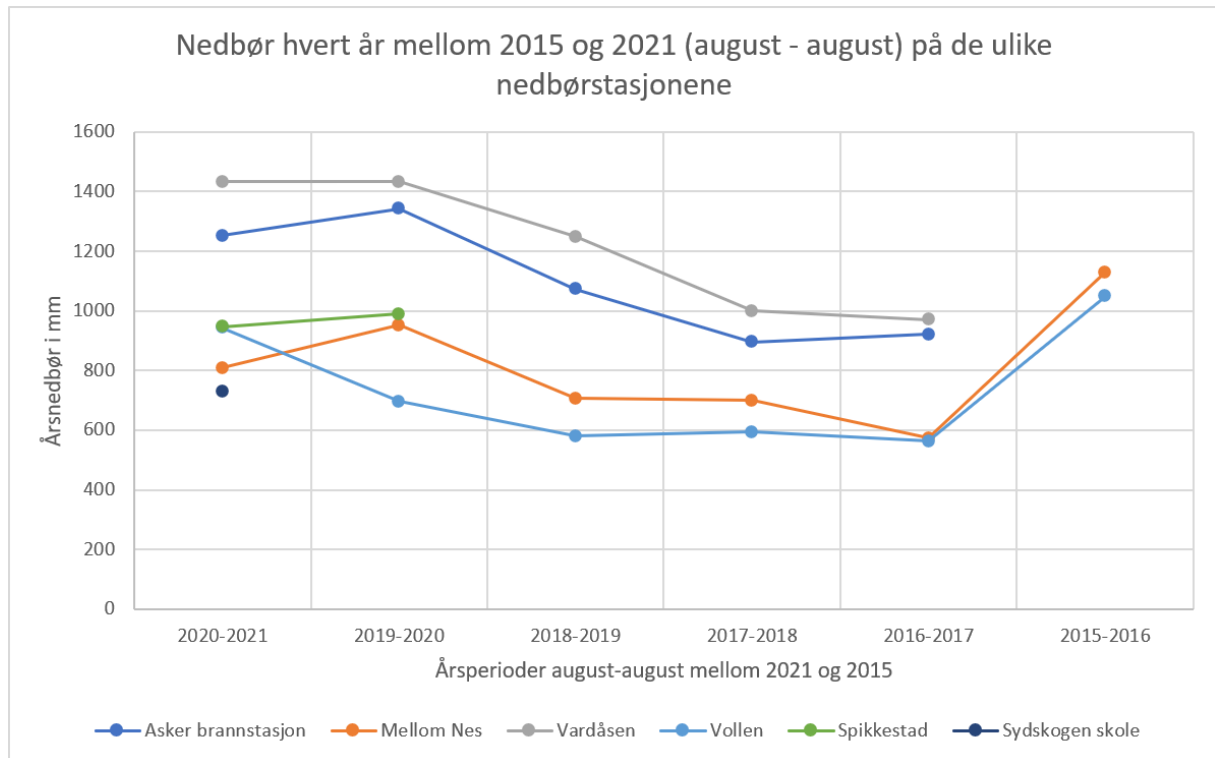
Figur 35 Total-P inn til VEAS og vektet nedbør fra Asker SN19710 og Blindern sett i forhold til hverandre. (2011-2021)



Figur 36 Total-P inn til VEAS og vektet nedbør fra Asker SN19710 og Blindern sett i forhold til hverandre. (2007-2021)

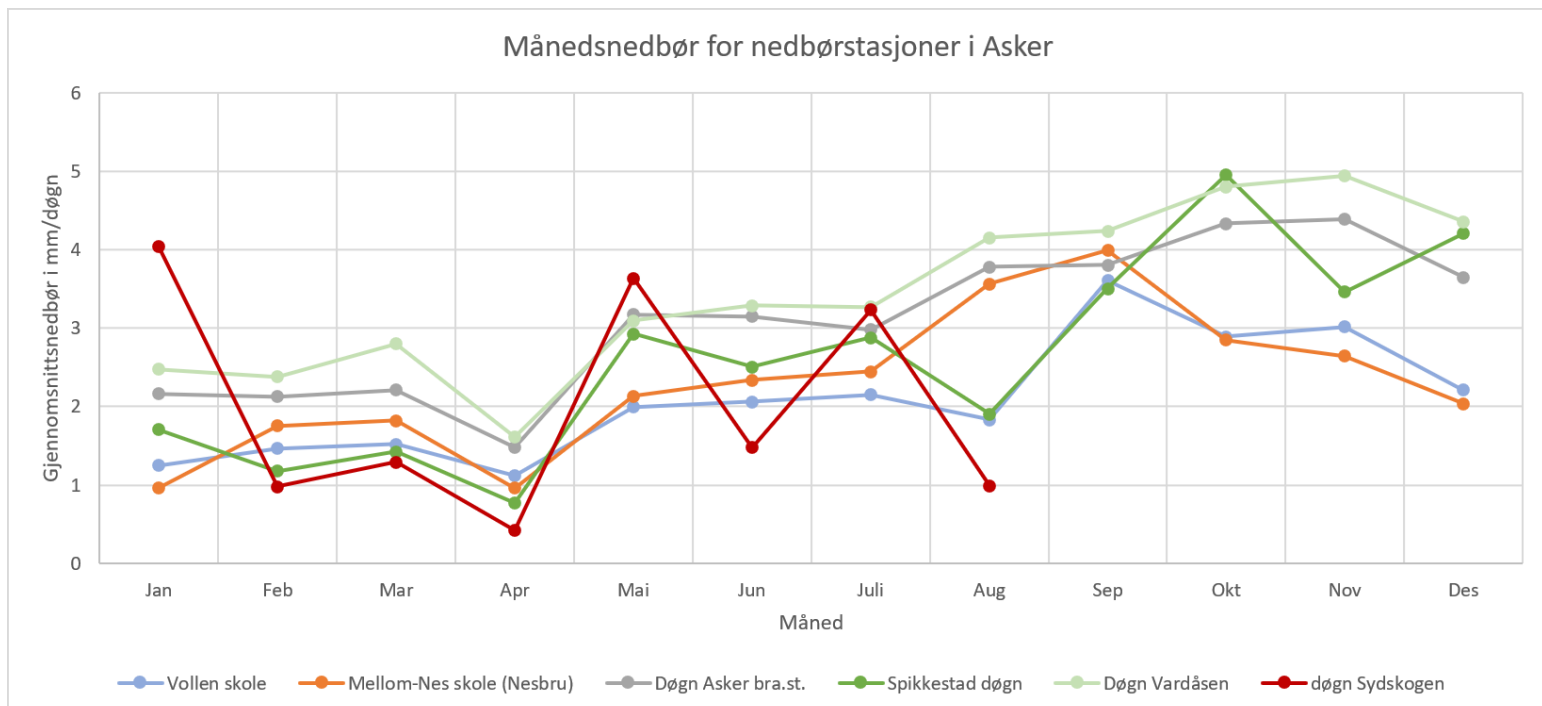
## Nedbør

Nedbør i Asker er fanget opp av 6 målestasjoner som er lokalisert i nærheten av avløpsfeltene. Nedbør vært år i august til august er vist i Figur 37:



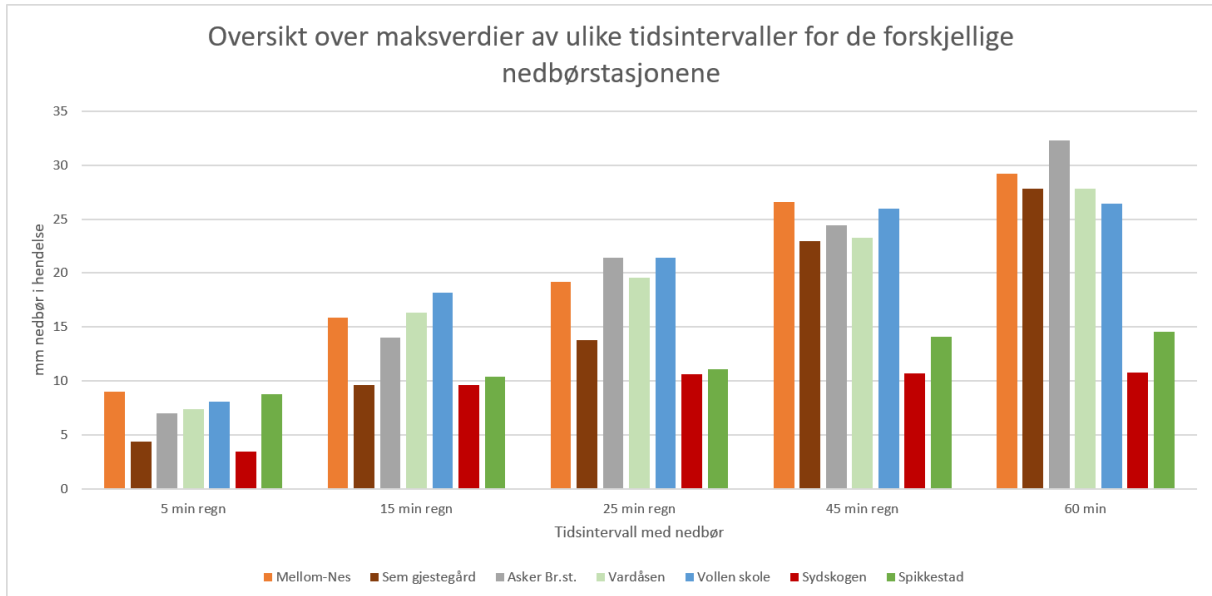
Figur 37 Oversikt over årsnedbør for nedbørmålere i Asker siden 2015. Målingene viser total nedbør mellom august og august. Sydskogen skole er vektet og gir et unøyaktig bilde.

Det er verdt å notere seg at Asker Brannstasjon og Vardåsen viser lignende verdier og at mellom-Nes og Vollen gjør det. Dette er interessant fordi det peker mot at også ved lokale forhold så har høyde på målestasjonen mer å si enn horisontal geografisk posisjon. Under er en oversikt over det månedlige gjennomsnittet på hver målestasjon (Figur 38).



Figur 38 Nedbør per måned for nedbørstasjoner i Asker.

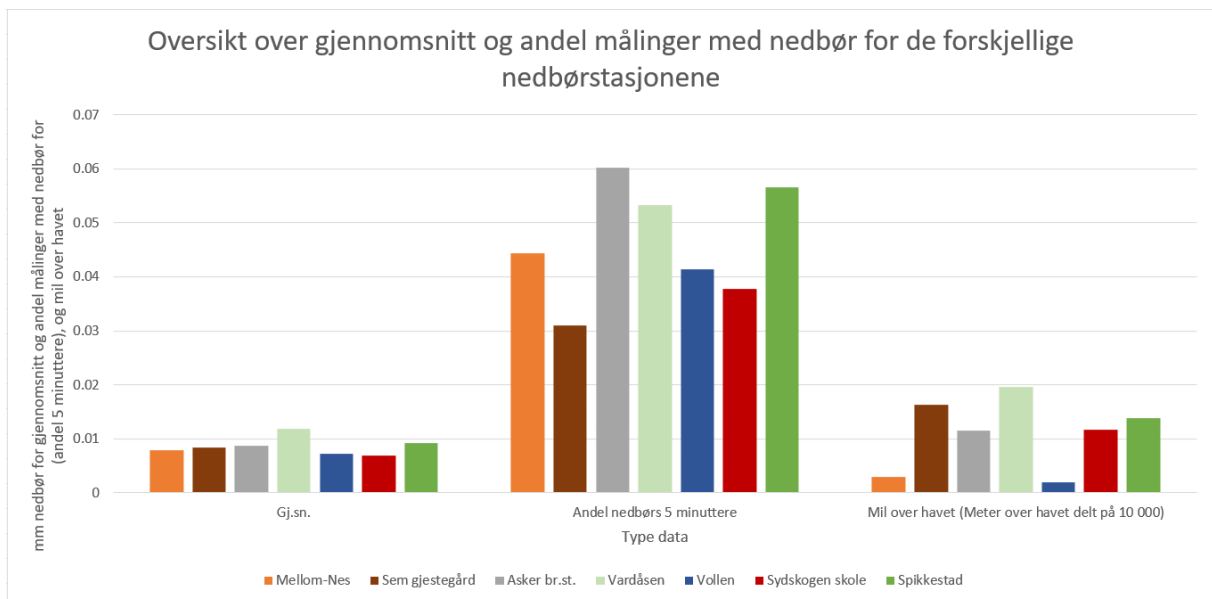
Ved å kikke på månedsnedbøren vil en kunne se at nedbørforskjellene på de ulike stasjonene endrer seg. Dette betyr at det er nyttig med spesifikke nedbørdata på hvert målepunkt for å kunne finne sammenhenger på en god måte. Likevel er månedsnedbøren veldig sammenlignbar i for eksempel juni, juli, mars og februar. Mens de andre månedene avviker litt fra forholdet det er i de månedene. Under, i Figur 39 er en oversikt over hva maks nedbør er for forskjellige tidsintervaller.



Figur 39 Oversikt over maksverdier av ulike tidsintervaller for de forskjellige nedbørstasjonene.

Sydsbogen skole er litt påvirket av at den enda ikke har hatt et helt år med målinger. Det er valgt en tid å ta utgangspunkt i. Andre starttidspunkter er ikke undersøkt i Figur 39.

Under i Figur 40 ser vi en graf som viser hvor det er mest nedbør i gjennomsnitt. Gjennomsnittet varierer med høyden på stasjonen. Grafen viser og over hvor mange 5 minutter i året nedbøren er distribuert. Dette gir i snitt mellom 2 og 3.4 mm per dag.



Figur 40 Gjennomsnittlige målinger av nedbør og andel målinger med regn i måleserier. Høyde er i meter hhv fra Mellom-Nes til Spikkestad: 30, 163, 115, 196, 20, 117, 139 meter.

## Resultater og diskusjon

### Fremmedvann i kommunen

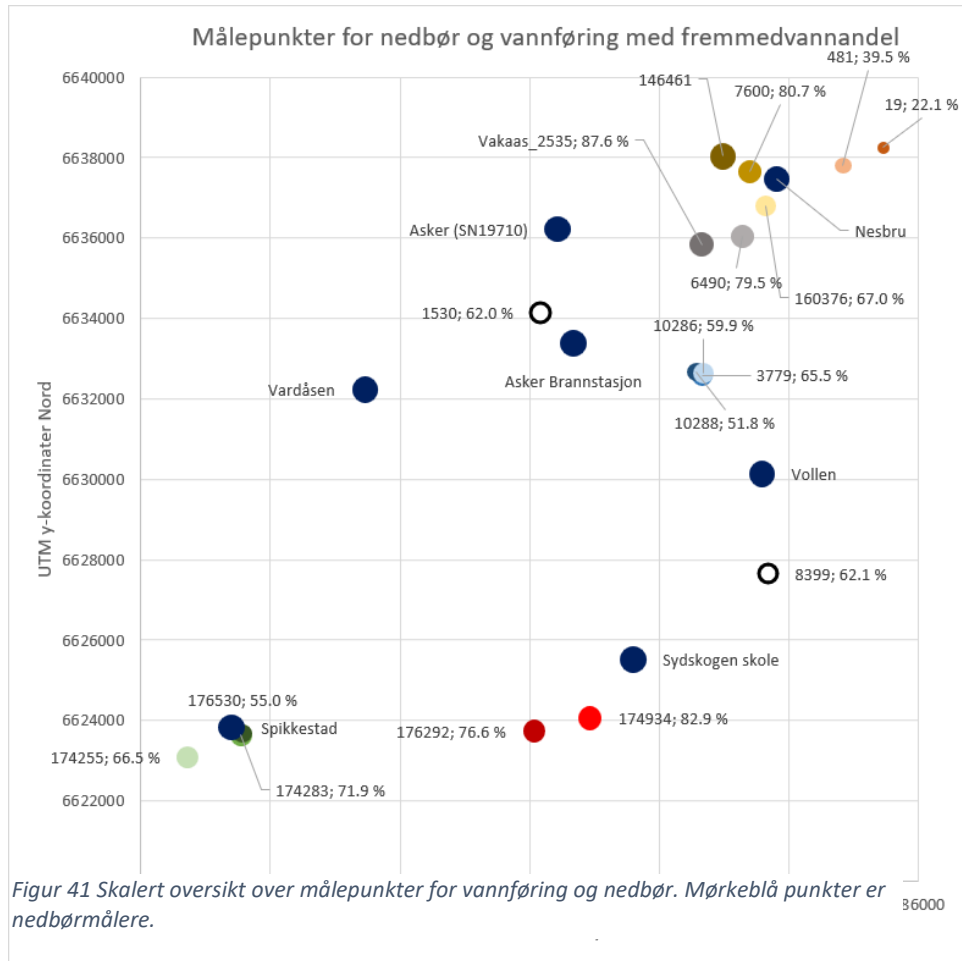
I Figur 42 er utviklingen av fremmedvannandeler ved vannføringsmålerne illustrert. Hvert punkt viser gjennomsnittet for et år mellom august og august. Den lilla linjen i midten viser hvordan fremmedvannet til alle husholdningene som er analysert i denne studien totalt (litt under 39 000 PE).

Hvert punkt samler avløpsvann fra mellom 400 og 10 000 PE.

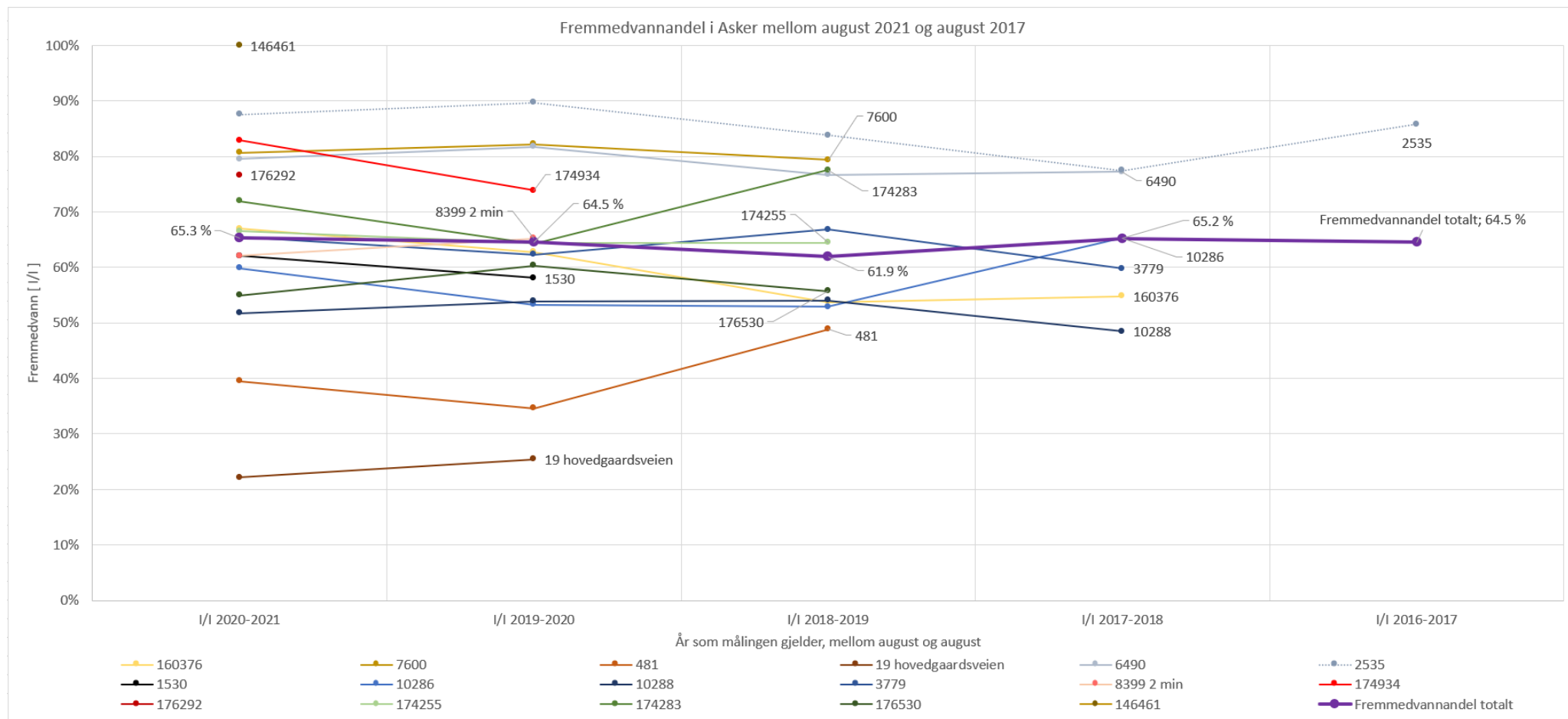
Fremmedvann totalt for hvert målepunkt fordeler seg som i Figur 41 og Tabell 5:

Tabell 5 Fremmedvann for hvert målepunkt over hele tidsserien.

Målepunkt	Andel fremmedvann
160376	67.0 %
7600	80.7 %
481	39.5 %
19	22.1 %
Hovedgaardsvn	22.1 %
6490	79.5 %
2535	87.6 %
1530	62.0 %
10286	59.9 %
10288	51.8 %
3779	65.5 %
8399	62.1 %
174934	82.9 %
176292	76.6 %
174255	66.5 %
174283	71.9 %
176530	55.0 %



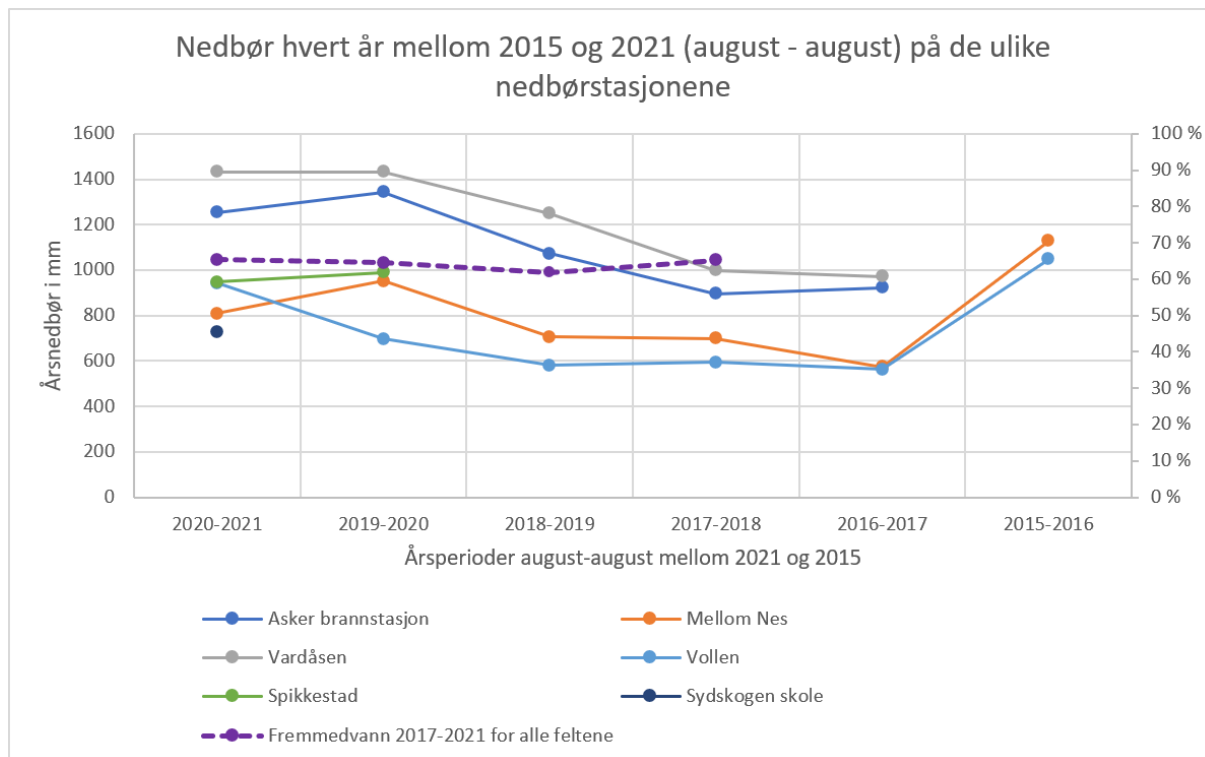




Figur 42 Fremmedvann gjennom hvert vannføringsmålepunkt, hvert år siden oppstart av måleserier.

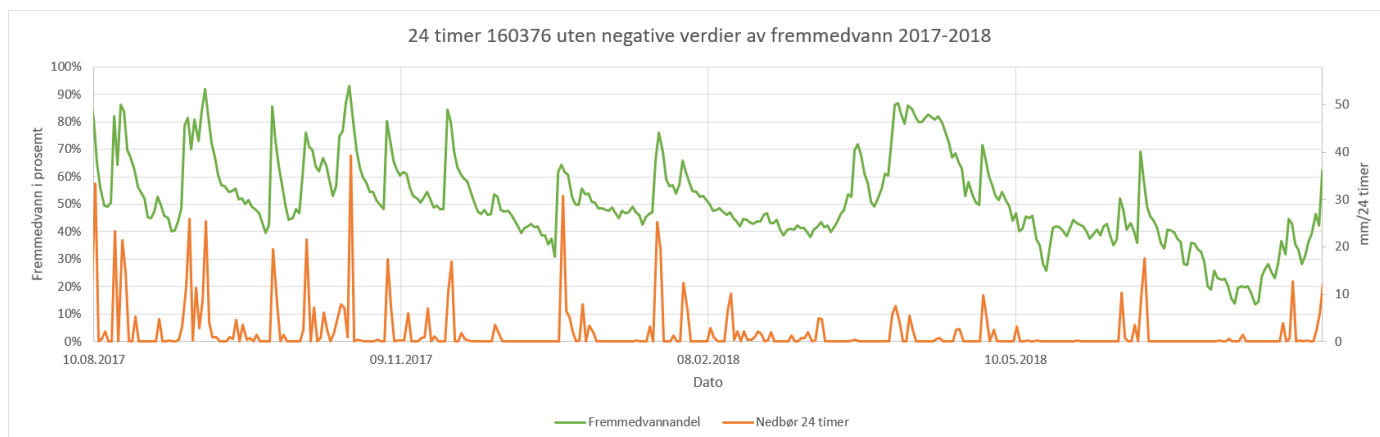
Fremmedvannandelen som er sist for hele feltet (64,6%) er hentet ut fra et punkt (2535) som kun representerer 2,1% av personer tilknyttet i Asker og er derfor kun gjennomsnittsverdi av fremmedvannandel mellom 2021 og 2017 justert ut fra hva 2535 var dette året i forhold til andre år. 2535 verdiene er stiplet siden de nok ligger høyere enn i virkeligheten.

I og med at det er registrert en sammenheng mellom fosfor inn til VEAS og nedbør de siste 10 årene for årsnedbør (Figur 35) har det også blitt laget en oversikt over nedbør de siste årene sammen med gjennomsnittlig fremmedvann Figur 43;

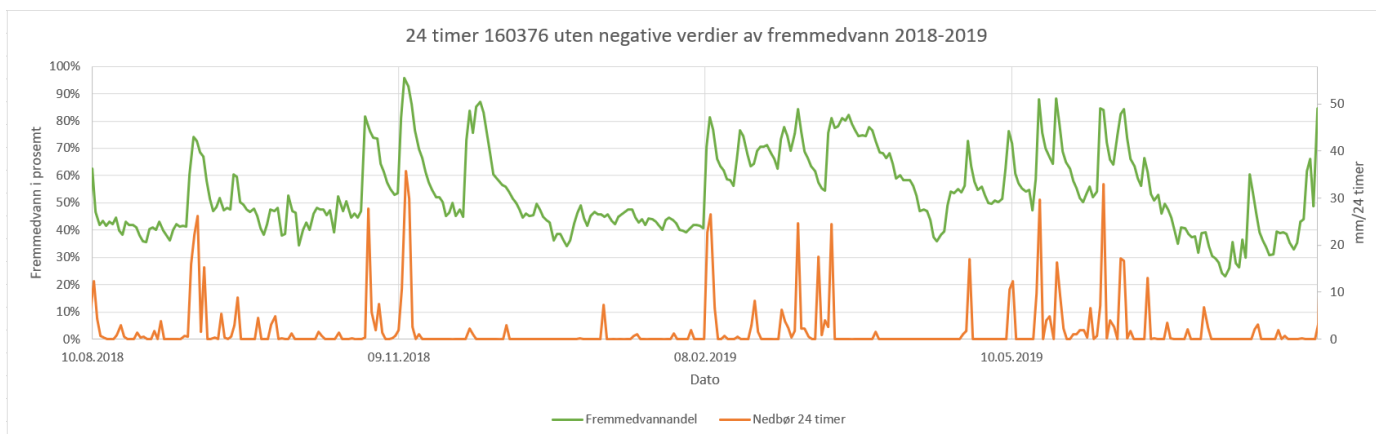


Figur 43 Oversikt over årsnedbør for nedbørmålere i Asker mellom 2015 og 2021. Målingene viser total millimeter nedbør mellom august og august. Andel fremmedvann er lagt inn i fiolett.

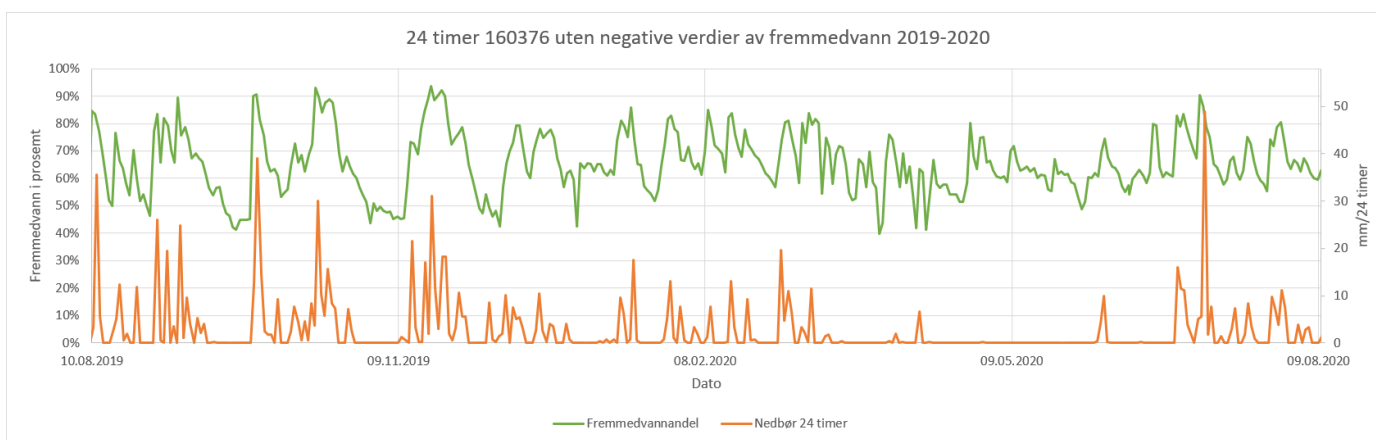
Her kan man se at sammen med en generell oppgang i nedbør de siste årene har den gode trenden med nedadgående fremmedvann-verdier mellom 2018 og 2019 snudd, men bare så vidt. I Figur 44 vises fremmedvann og nedbør plottet i samme oversikt. Denne er fra august 2017 til august 2018 og viser hvordan tørken i denne perioden påvirker fremmedvannverdiene sett i forhold til 2018-2019 i Figur 45, Figur 46 og Figur 47.



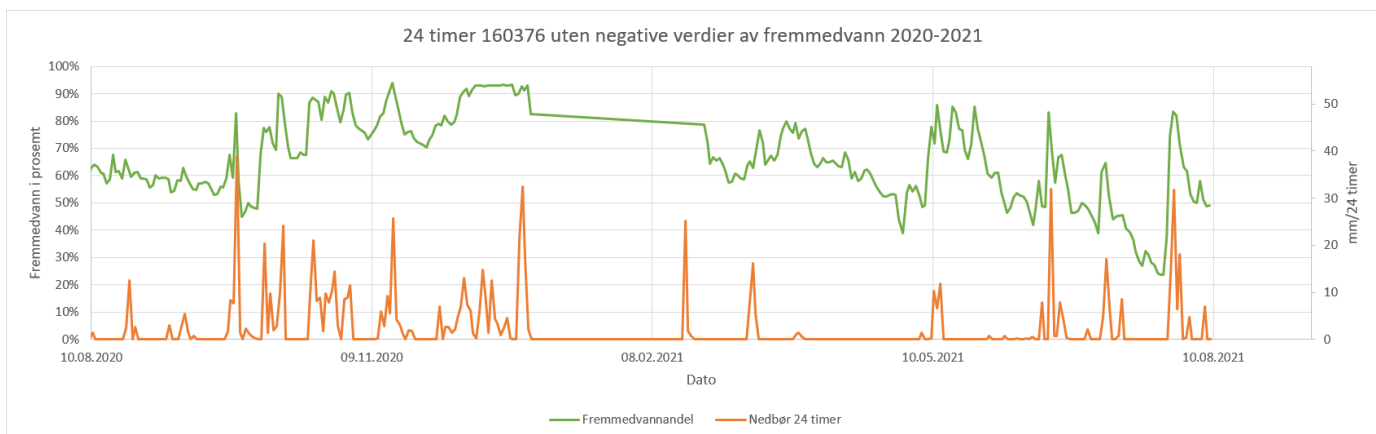
Figur 44 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2017-2018



Figur 45 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2018-2019.



Figur 46 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2019-2020.



Figur 47 Oversikt over fremmedvann i 160376 aug. 2020-2021.

Ser man på høyre sidene av grafene er det sommer og fremmedvannet når sin laveste verdi. I 2017-2018 kan man antagelig skimte kun små fraksjoner av grunnvann da andel fremmedvann er nede i under 20%. Av de større hendelsene med nedbør ser man at dersom det kommer to hendelser med nedbør etter hverandre vil fremmedvannet nesten alltid respondere sterkest på den siste. Illustrert i Figur 45 om sommeren og Figur 47 rundt oktober. For de andre punktene er lignende grafer lagt i «resterende drenerende målepunkter» i «Del 2, Fremmedvann og nedbør» i vedlegg.

### Lekkasjer fra ledningssystem

Ved å anta mange ting kan en ut fra fosforkonsentrasjon inn på VEAS forskjellige år og antatt fordeling av fosfor fra Asker ulike år gi en pekepinn på hvor mye avløpsvann som lekker ut av spillvannsnettet. Lekkasjer av vannføring fra ledninger og lokale overløp ble funnet å være:

	Tapt fosfor i tonn (Asker)	I/I Asker Vann-balanse	Mengde ikke fremmedvann fra Asker Vannbalanse	Tonn fosfor per år fra husholdning Asker	Andel av husholdningsavløp som ikke blir med til renseanlegg VEAS	Lekkasjetall (Ikke justert for at det er mindre fosfor per l i utlekket vann)
2016	3.0	65.3 %	34.7 %	23.756	12.4 %	4.3 %
2017	3.8	64.5 %	35.5 %	23.756	16.1 %	5.7 %
2018	3.7	61.9 %	38.1 %	23.756	15.6 %	5.9 %
2019	3.7	65.2 %	34.8 %	23.756	15.6 %	5.4 %
2020	3.7	64.6 %	35.4 %	23.756	15.4 %	5.5 %

Tabell 6 Lekkasjetall fra overløp og ledningsmangler for Asker og Røyken sammen.

Dette ble gjort etter antagelsene:

1. Asker, Oslo og Bærum bidrar med like mye fosfor fra husholdninger
2. Industri og innrenning av fosfor fra jorda i områdene står for 0.366 mg P / l (3 mg P / l minus 3.366 mg P / l (snitt siden 2016))
3. Det kommer en fast strøm fosfor på 12.14 mg P / (l\*pe) fra husholdninger.
4. Antall personer tilknyttet er konstant disse årene (612 499 pers)
5. Fosfor per liter i utlekket vann er det samme som ut fra husholdninger generelt.

I og med at konsentrasjonen av fosfor er relativ ustabil blir disse tallene usikre selv om den totale mengden fosfor er rimelig stabil de seneste årene. «Andel av husholdningsavløp som ikke blir med til VEAS» ble regnet ut ved å bruke antatt tonn fosfor fra Asker husholdninger og Tapt fosfor i tonn fra Asker.

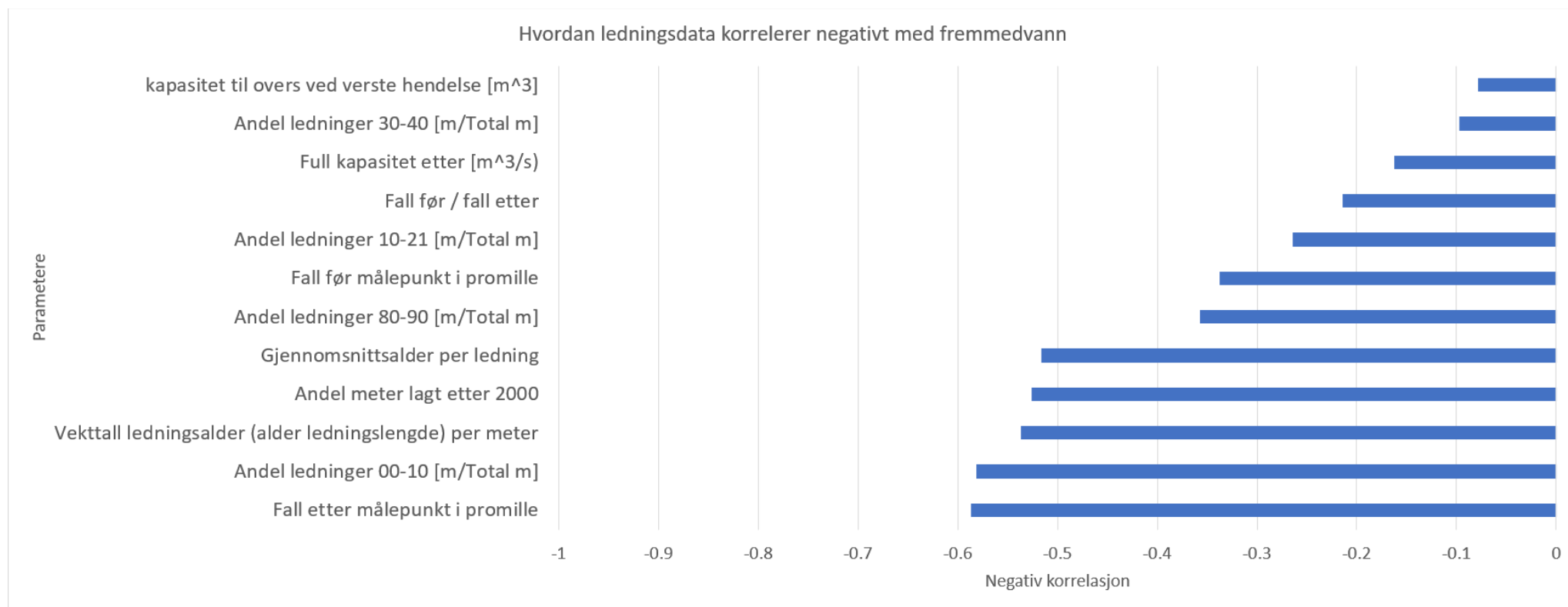
### Korrelasjon mellom fremmedvann og andre parametere

Innsamlede parametere ble undersøkt for korrelasjon. De ble undersøkt ved Pearsons korrelasjonskoeffisient. Den viser den lineære assosiasjonen mellom to datasett. Det sier noe om hvor bra et sett med verdier virker å være knyttet til et annet. Om to datasett ikke forandrer seg tilfeldig i forhold til hverandre kan de få en sterk positiv korrelasjon (opp til 1) eller en sterk negativ korrelasjon (nære eller akkurat -1). Dette sier ikke noe om det er noen sammenheng mellom dem, men god korrelasjon viser en assosiasjon. Målepunktet 2535 ble her fjernet etter de første gjennomgangen siden det antagelig har for høy fremmedvannandel. (Noe som stort sett førte til noe svakere assosiasjoner).

### Negativ korrelasjon til fremmedvann

Den negative korrelasjon sier oss at noe er assosiert med noe annet slik at når ett datasett øker så minker den andre på en eller annen måte. Her er negativ korrelasjon knyttet til to parametere og forskjellige egenskaper ved dem. Parametere som ble undersøkt og korrelerte negativt med fremmedvann var innenfor ledninger- og temperatur-parametere. Figur 48 og Figur 49 viser at andel ledninger lagt på begynnelsen av 2000 tallet er ganske godt assosiert med fremmedvann sammen

med en rekke temperaturparametere. Dette tallet innebærer og hvor mange kummer som er i ledningsnettet. «Vekttall ledninger» er et tall som gir en score og multipliserer med andel meter ledninger innenfor hver 10-års periode og plusser dem sammen

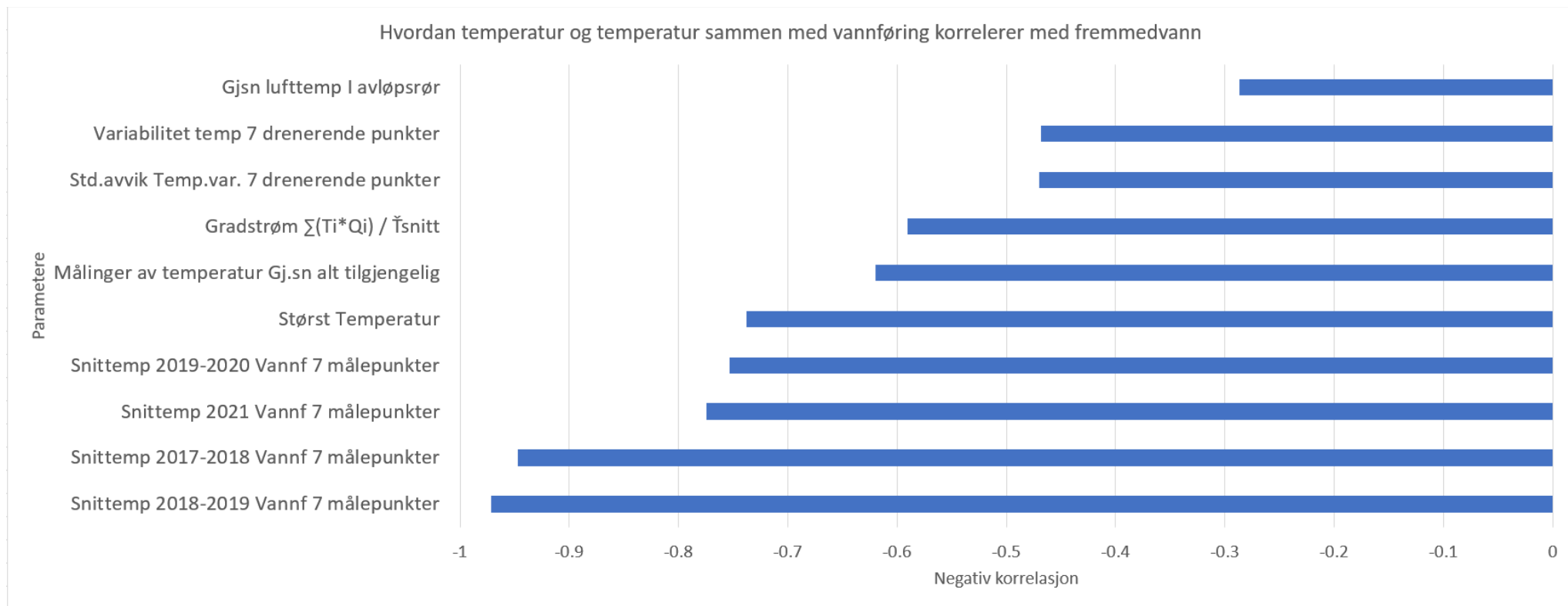


Figur 48 Negativ korrelasjon mellom ledningers alder, lengde og fremmedvann.

Noen datapunkter har ikke fullstendig data på fall og kapasitet. (176530, 174934, 6490, 8399, 7600) Dette er på grunn av at de kan være plassert i utløp og ikke ha høyde på kum før og etter og sånt. I figuren står 30-40 for 1930-1940. Full kapasitet etter og før gjengir kun diameteren på røret eller rørene før punktet.

«Fall etter målepunkt» kan være såpass negativt korrelert på grunn av at mindre ledninger i mindre felt med mindre fremmedvann her har bratte fall etter målepunkt. Eventuelt forklarer kanskje usikkerhet rundt raske og grunne vannføringer denne korrelasjonen, noe som i så fall betyr at man skal være forsiktig med hvor nøyaktig man tolker vannføringsmålinger.





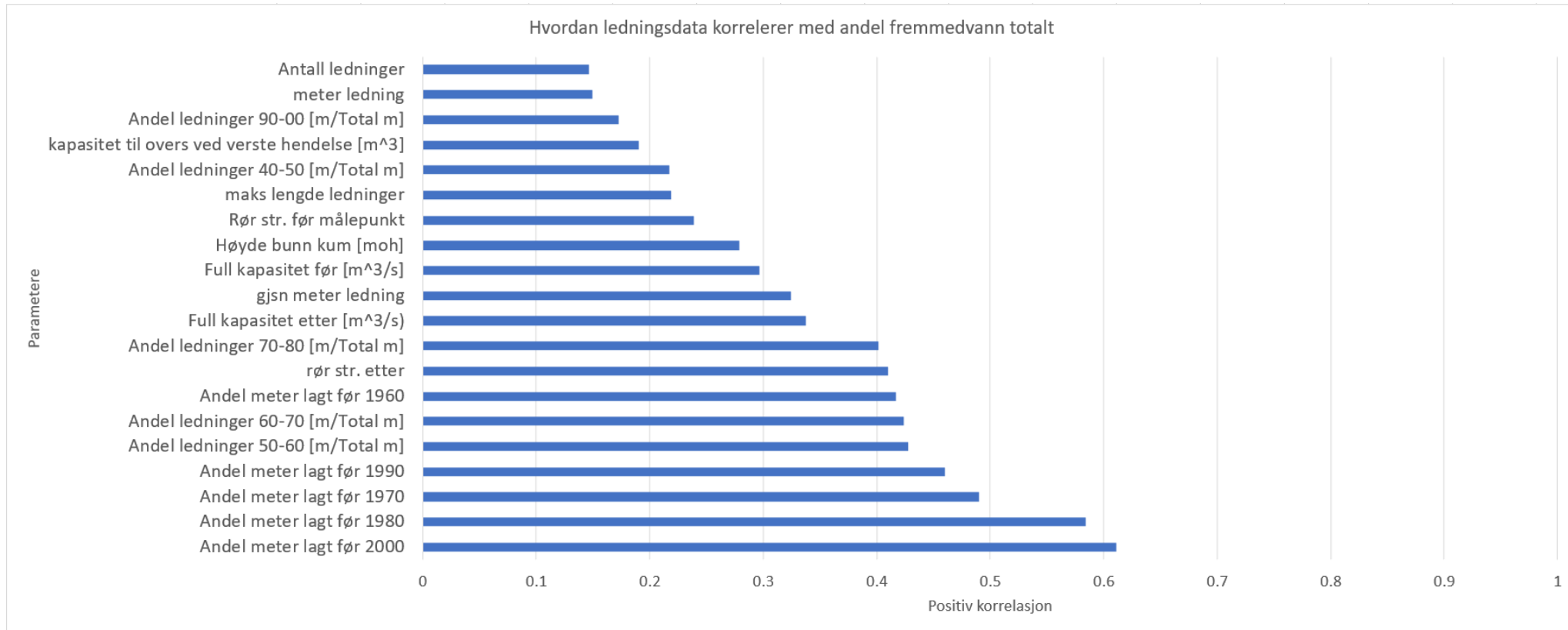
Figur 49 Hvordan temperatur og temperatur sammen med vannføring korrelerer med fremmedvann.

De 7 målepunktene er stort sett drenerende punkter som ikke er i Spikkestad (sone grønn i Figur 21). Målepunktene heter: 10286, 10288, 3779, 160376, 6490, 8399, 1530.

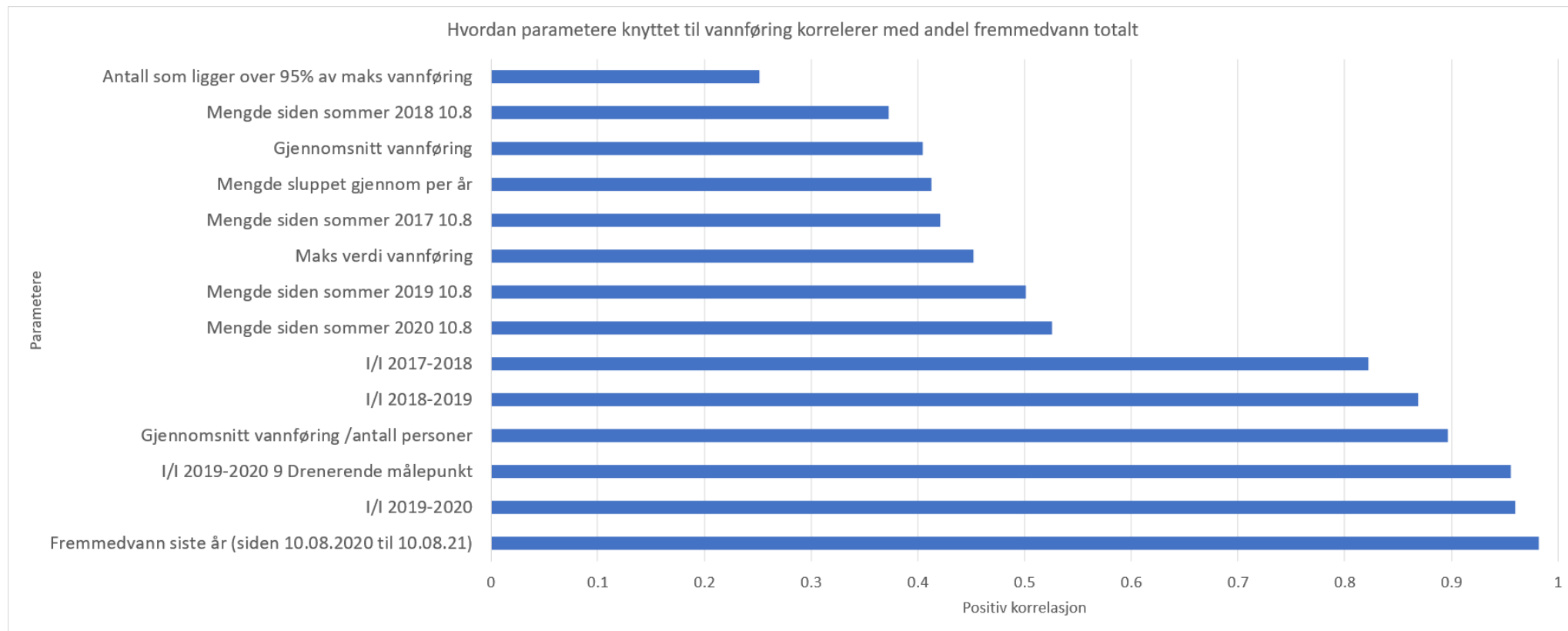
For temperatur ble det funnet enda større assosiasjon til fremmedvann enn for noe annet. Overraskende nok var det størst temperatur som gave den sterkeste assosiasjonen til alle fremmedvannandelene. Den er tett etterfulgt av gjennomsnittet av alle målinger. Deretter kommer en sammensetning av summen til temperatur multiplisert med hver enkelt vannføring på tidspunktet den ble registrert og dividert med total vannføring. Snittemperaturen til syv av målepunktene ble også samlet inn. De viser veldig sterk assosiasjon med fremmedvannandelene. Lufttemperaturen i avløpsrørene ble ikke funnet å være så assosiert med temperaturen i vannføringen.

#### Positiv korrelasjon med fremmedvann

For de dataene som endrer seg positivt sammen med fremmedvann er de mindre assosierte enn de negative, i hvert fall om man ser på det som ikke er relatert til vannføring (Figur 51). De er til gjengjeld kanskje mer spredt på flere interessante parametere. Det ble funnet spesielt dårlig korrelasjon med areal om en tar med Røyken, ledningslengde og antall ledninger, vist i Figur 50 og Figur 52. Fra Figur 50 kan det se ut som antall ledninger og meter ledning nesten ikke har noen assosiasjon med fremmedvann. Det ble og funnet at ledninger før år 2000 var best korrelert med høy andel fremmedvann. Dette var snudd litt dersom man inkluderer 2535. Da var ledninger før 1970 og 1980 klart mest assosiert med fremmedvann og andel før 2000 kun 0.41 (0.2 lavere). Analysen er på bakgrunn av det og antall datapunkter antatt å være sårbar for outliere og tilfeldighet. Blant annet hadde kum-nummer 0.3 i korrelasjon.

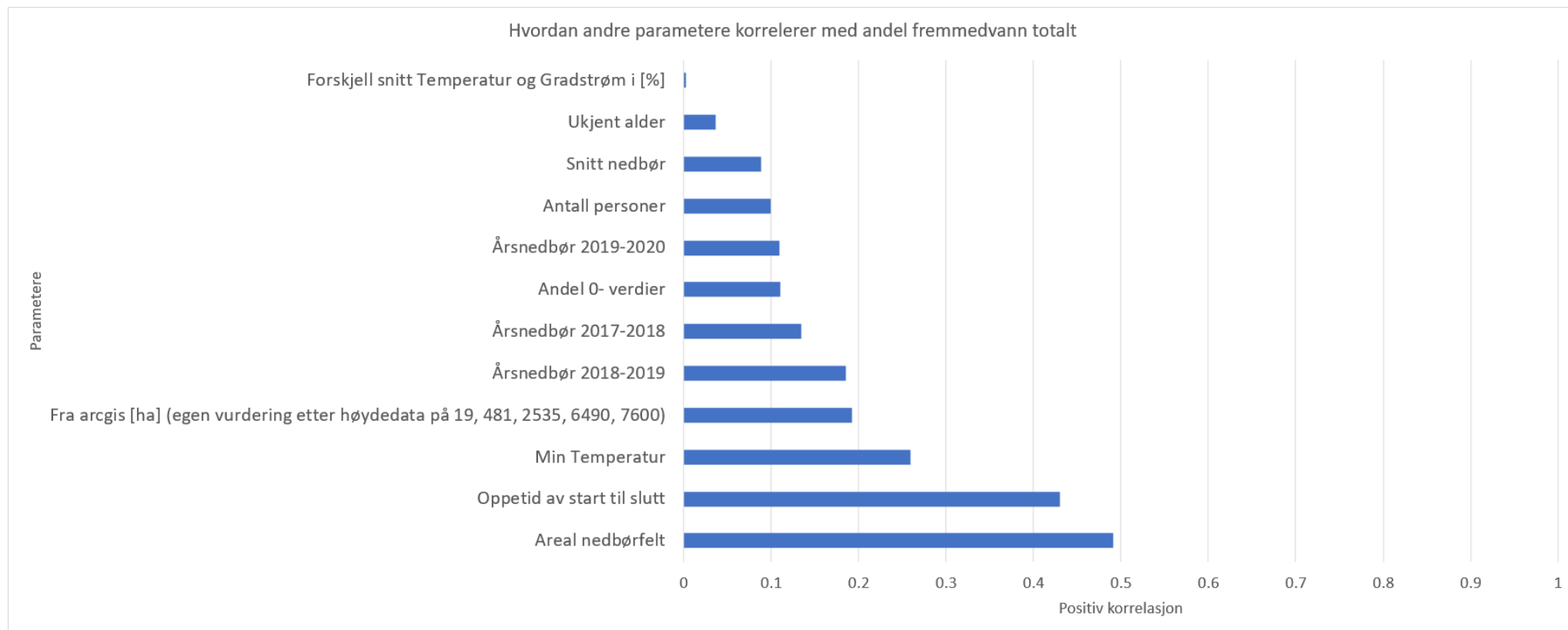


Figur 50 Korrelasjon mellom ledningslengde og andel fremmedvann totalt.



Figur 51 Vannføringsparametere og korrelasjon med total fremmedvannandel.

I Figur 51 på «Mengde siden sommer 2019» er det regnet fra (03.09.19 for 176530) 1530 er gitt noen verdier for neste år for manglende 2 mnd.



Figur 52 Hvordan andre parametere korrelerer positivt med fremmedvann.

I Figur 52 ser man at forskjellen i snitt på temperatur og gradtall ikke har noen korrelasjon med fremmedvann. Ukjent alder er en veldig liten andel av ledninger i målepunktene. Snitt nedbør er et forsøk på å lage vektet nedbørsmengder for hvert punkt uten at rådataene der ser særlig bra ut. Ellers er det interessant at oppetid, minimumstemperatur og areal i tidligere Asker (den nederste) er forholdsvis positivt assosiert med andel fremmedvann. «areal nedbørfelt» er areal i tidligere Asker kommune som er hentet fra avløpsfelt, dobbeltsjekk og justert mot antatt nedbørfelt for avløpsfeltet i høydedata. For årsnedbør er 174934 og 176292 vektet mellom «spikkestad» og «sydskogen skole» samt mellom «Vollen skole» og «Spikkestad» noen år.

Andel meter ledninger virker å være godt korrelert dersom man fjerner noen av ti-årene med ledninger. Det kan man se ut fra at andel ledninger lagt før 2000, 80-, 70-, og 90- tallet har rimelig god korrelasjon med fremmedvann. Sammen med de vil du formodentlig finne fremmedvann dersom ledningsnettet har mange meter ledninger som er lagt mellom 50 og 70-tallet. Litt som beskrevet at andre har funnet i «Tilstandsrapport på ledningsnett og vannføringsmålere». Det at det er antall meter ledning lagt som viser god assosiasjon tyder på at skader på ledningene, feilkoblinger og fellesledninger er bra assosiert med andel fremmedvann. Det hadde vært interessant å se hvordan antall ledninger for de ulike tiårene hadde vært assosiert også. For å finne ut om antall kummer har mer eller mindre å si.

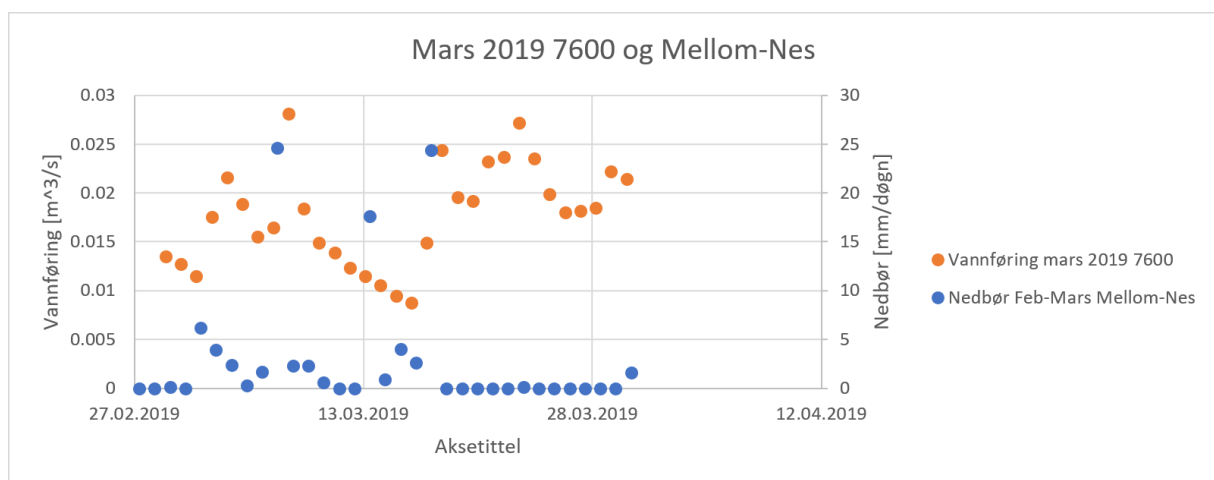
En viktig ting å ta med her er hva som forklarer hva. Fremmedvann kan forklare at temperaturen øker, minker og gir minimumsverdier og hindrer maksverdier. Høy andel fremmedvann kan og forklare at det blir mange høye verdier for vannføring nærme maksverdien i målepunktet og at maksverdien på vannføring er høy. Videre virker ting som ledningsalder, antall meter lagt før et visst år og areal nedbørfelt i tidligere Asker kommune å være assosiert med mengde fremmedvann. Disse parameterne vil kun forklare fremmedvann og motsatt dersom man finner korrelasjon mens man gjør uavhengige eksperimenter og det er en statistisk signifikant korrelasjon, ved en viss hypotesetest (Diez, Cetinkaya-Rundel, & Barr, 2019).

### Vannføringsmålinger i og rundt nedstengning av samfunnet i 2020

Det ble tatt utgangspunkt i vannmåleren og dataene fra 7600 som man kan få en oversikt over i Figur 14, Figur 20 og Figur 32. Deretter ble det valgt ut en periode fra mars til juli å se nærmere på. Hypotesen var at det ville være en annerledes mengde vannføring på grunn av mer hjemmeboende i området fra 12.mars 2020 (Statsministerens kontor, 2020). Området i seg selv er ikke undersøkt spesielt for arbeidsplasser eller husholdningsandel av de 1298 pe, men ligger på Holmen opp mot grensa til Bærum og er på 0.78 km<sup>2</sup>.

### Nedbør og vannføring i mars-juli 2018-2021

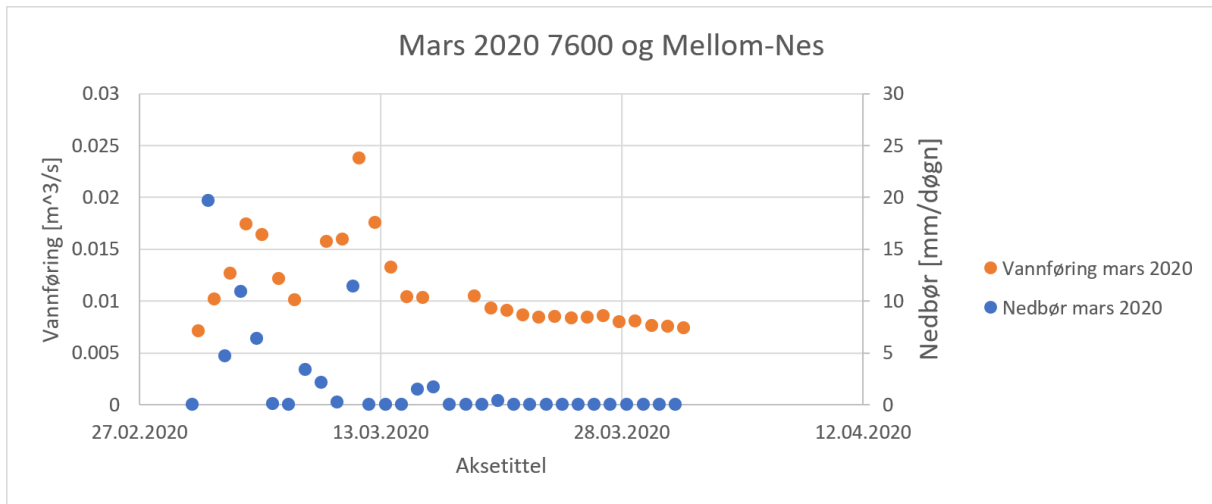
Dager med ufullstendige data ble fjernet og grafer for mars hvert år ble laget. Disse er vist i Figur 53, Figur 54 og Figur 55.



Figur 53 Vannføring og nedbør i 7600 i 2019 året før nedstengning.

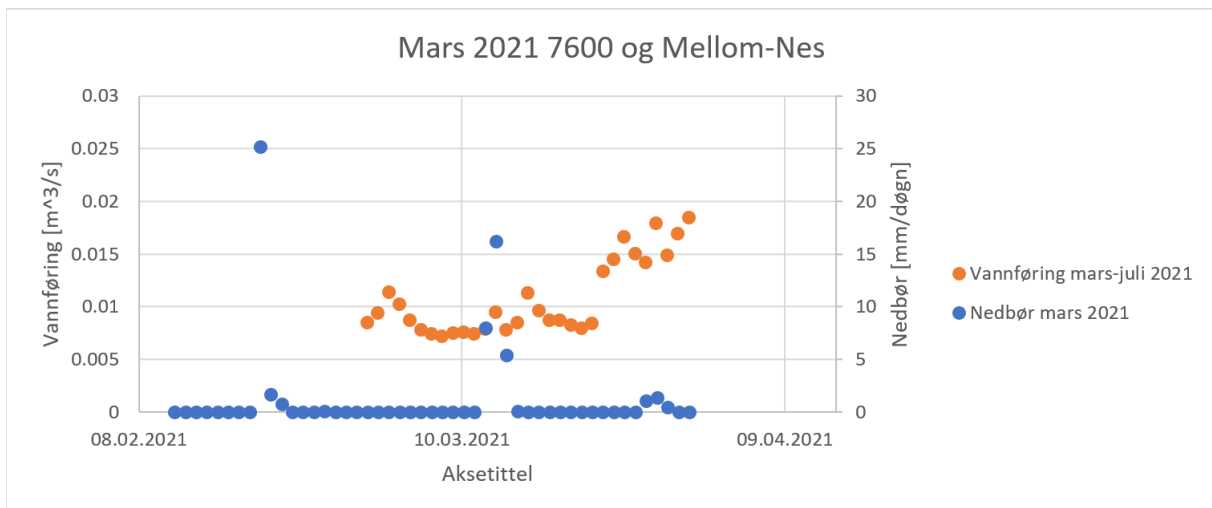
I 2019 var det mye nedbør i mars og det laveste man kom på vannføring var 8.7 l/s i snitt et døgn.





Figur 54 Vannføring og nedbør i 7600 under nedstengning i 2020.

I 2020 er det en gjennomsnittlig jevn strøm på 8,15 l/s i 9 døgn mellom 22. og 30. mars, som de laveste verdiene.



Figur 55 Vannføring og nedbør i mars 2021 for 7600, året etter nedstengning.

I 2021 viste vannføring fram mot nedbørhendelse 12.03.21 et snitt på 7,56 l/s, jevnt over fire dager.

Man ser altså at i 2020 er det litt høyere laveste vannføring enn det er i 2021. Ifølge temperaturmålinger i avløpsvannet i målepunktet 160376 nedenfor 7600 er det litt høyere temperaturer i mars og mye høyere i april i 2020 enn det er de andre årene. Det er og lavere i februar enn noen av de andre målepunktene det året.

Tabell 7 Temperaturer i vannføringen for 160376 mellom februar og mai 2018-2021.

T[°C] 160376	Februar	Mars:	April	Mai:
2018	9.3	8.8	7.0	11.2
2019	8.6	7.2	8.8	10.6
2020	8.2	8.2	9.8	11.0
2021	8.6	7.4	8.3	9.8

Kan dette skyldes kun mangel på snø- og issmelting?

Februar i 2020 var varmt. 1.5°C i snitt. Mars hadde 2.2°C i snitt og April var ganske gjennomsnittlig på 6.6°C. Februar og mars i 2018 var bitende kaldt og eneste andre målepunktet som viste høye temperaturer for avløpsvann etter februar. De dagene det var nedbør i mars var det ikke kaldt nok til at det skulle komme som snø. Det virker dermed som om man kan se at det har vært en nedstengningsperiode i temperatur- og vannføringstendensene. I og med at den laveste vannføringen i forhold til året etter ikke steg med mer enn 0.6 l/s i snitt over døgn (7-8 %) kan man anta at dette er et kjapt overslag på hvordan pendlertapet er i dette området. Men det bør undersøkes med flere punkter og flere år enn 2020 og 2021. En liten kikk på punkt 6490 gav ikke noe høyere vannføring i mars 2020 sett mot 2021, men noen figurer fra 2535 viste at vannføringen var merkelig høy og ustabil i slutten av mars og april 2020. Figurene fra dette er ikke ferdigbehandlet og lagt inn i «Del 2, uferdige figurer fra nedstengning i 2020 for 2535.» i «Del 3, Diverse figurer som ikke fikk plass». Alt i alt må det sies å være noe blandede resultater for denne undersøkelsen.

## Analyse av automatiske temperaturmålinger

### Gjennomsnittstemperaturer og vannføring

En annen metode å kikke på temperatur er ved å regne et gradtall mellom vannføring og temperatur. Antagelsen var at gjennomsnittstemperaturer blir bedre av å justeres ut fra vannføringen på tidspunktet de blir målt. Temperaturmålinger i overvannspunktet som er undersøkt hadde klart mest forskjell når man tok summen av hver enkel temperatur og ganget med vannføring på tidspunktet delt på summen av vannføringene. Dette ble antatt å si noe om hvor tydelig og i hvilken grad man kan vannmengdene og temperatur var assosiert. Hver enkelt Q (stort sett målt hvert andre minutt) ble ganget med hver enkelt temperatur på samme tidspunkt. Deretter ble produktet summert og dividert med sum av vannføringene. Tallet ble deretter satt opp mot gjennomsnittlig temperatur i måleperioden. Alle forholdene var da positive unntatt en (174934). Som vist i Tabell 8.

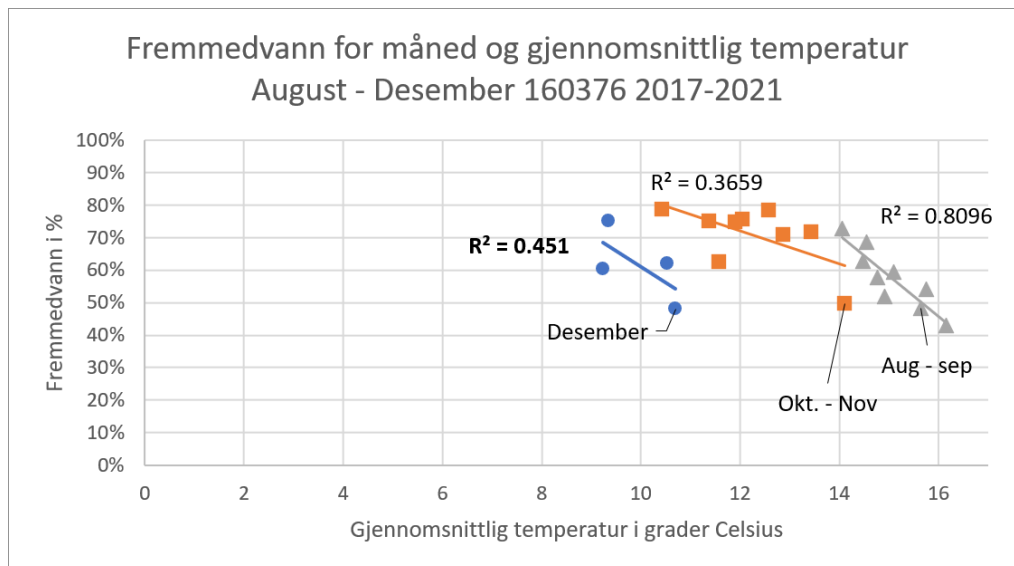
Tabell 8 Oversikt over temperatursnitt og temperatur sett i forhold til respektiv vannføring på tidspunktet for målingen.

	Målinger av temperatur Gj.sn for alt tilgjengelig	Gradstrøm $\sum(T_i * Q_i) / Q_{sum}$	Forskjell snitt Temperatur og Gradstrøm i [%]
160376	11.55	11.23	2.8 %
7600	9.96	9.42	5.4 %
481	12.29	11.91	3.1 %
19 Hovedgaardsveien	12.40	11.84	4.5 %
6490	8.97	8.57	4.5 %
2535	9.48	9.24	2.6 %
1530	10.17	9.65	5.1 %
10286	12.29	12.02	2.2 %
10288	12.64	12.48	1.3 %
3779	11.09	10.71	3.4 %
8399	10.15	9.96	1.9 %
174934	10.86	10.89	-0.3 %
176292	12.01	11.23	6.5 %
174255	9.66	9.30	3.7 %
174283	9.64	9.14	5.2 %
176530	11.60	10.82	6.7 %
146461	6.58	5.80	11.9 %

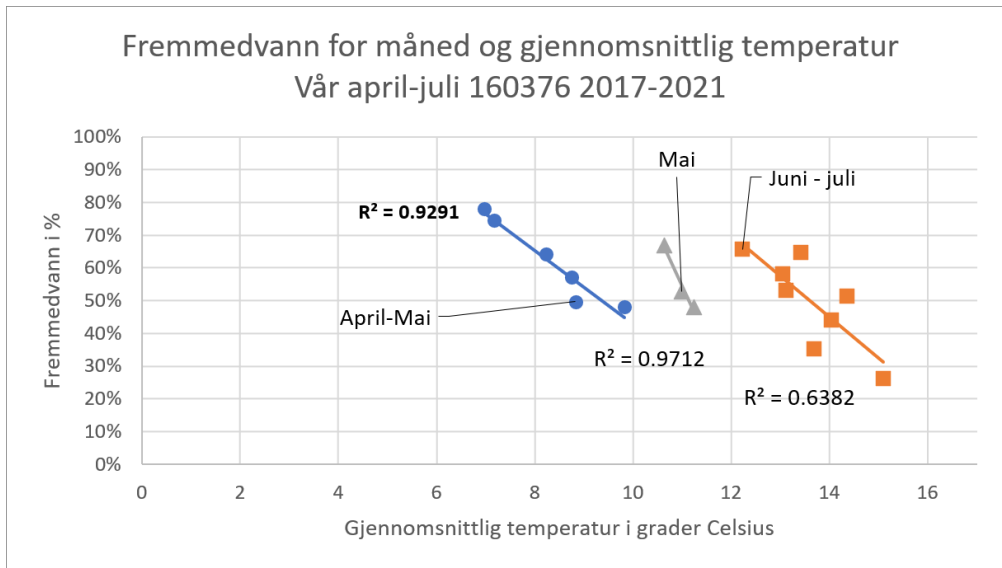
Dette tallet ((Gj.sn. Temperatur minus gradtallet) delt på Gj.sn. temperatur) gir et innblikk i hva vannføringen er når temperaturen er lav og høy. Ved negativt forhold vil man ha høy temperatur når det er høy vannføring og lave temperaturer (etter forholdene) når det er lave temperaturer. Mens ved positive forhold vil man ha lavest temperatur når det er høy vannføring over året. Dette illustrerer i og for seg også om det er store mengder vann om sommeren eller om vinteren og bør derfor brukes forsiktig om man ikke også ser på dette forholdet. Det ser da ut som om det er mye vann når det er kaldere enn vanlig, og lite vann når det er varmere enn vanlig. Dette er noe merkelig hvis man tar bort effekten man gjerne tror fremmedvann har, siden man gjerne har lite vannføring om natten og mye om dagen. Uansett så ble endring mellom gradtall og gjennomsnittlig temperatur funnet å ikke være assosiert i dette datasettet (se «Positiv korrelasjon» i «Korrelasjon mellom fremmedvann og andre parametere»).

#### Periodevise sammenhenger mellom temperatur og fremmedvann

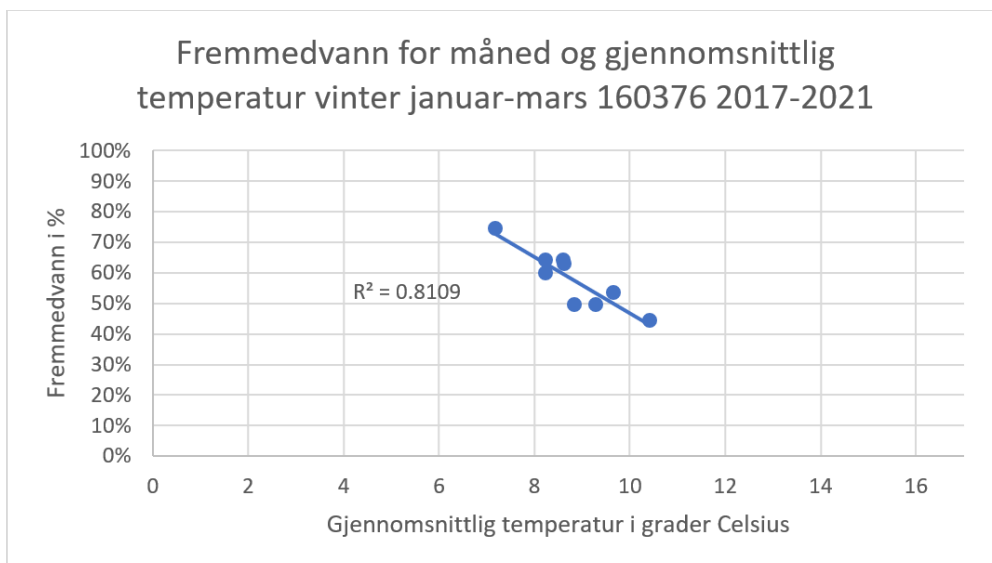
Når det kommer til sammenheng mellom gjennomsnittlig temperatur og fremmedvannmengder er månedsvise resultater fra 160376 vist i Figur 56, Figur 57 og Figur 58 Her kan man se at det ofte er god, men varierende korrelasjon mellom fremmedvann og temperatur på dette vannføringspunktet over dette lille datasettet i Asker. Hele perioden sett under ett er vist i Figur 62.



Figur 56 Fremmedvann for måned og gjennomsnittlig temperatur August - Desember 160376 2017-2021

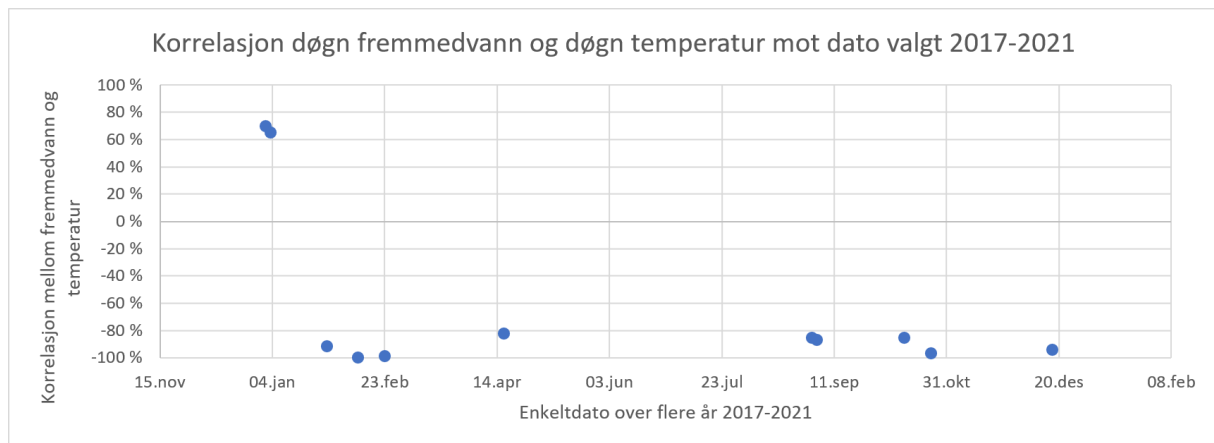


Figur 57 Fremmedvann for måned og gjennomsnittlig temperatur Vår april-juli 160376 2017-2021



Figur 58 Fremmedvann for måned og gjennomsnittlig temperatur vinter januar-mars 160376 2017-2021.

Videre finner man bra korrelasjon på døgn og timesnivå også, døgn er vist i Figur 59.



Figur 59 Korrelasjon døgnet fremmedvann og døgnet temperatur

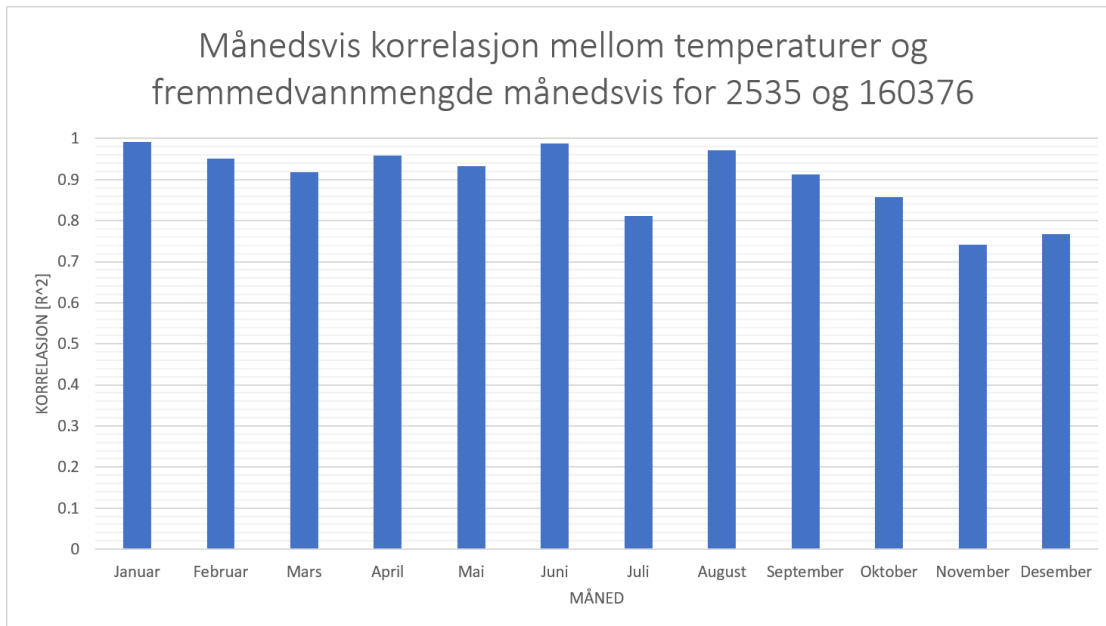
Her er døgnerverdiene plottet med så og si tilfeldig valgte dato innenfor de datoene som har lengst mulig dataserie i 2017-2021. For å få fem verdier må dataene være mellom august og oktober for dette målepunktet. I tillegg er det valgt noen i desember, januar, februar og april. Hvert punkt består av en korrelasjon som er bygget opp av en matrise (2x5) med 4-5 Temperatursnitt (døgnet) og 4-5 fremmedvann (døgnet). Det blir fire dersom målingene ikke er mellom august og oktober, og om det mangler data et av årene 2017-2021.160376.

Når man holder på i døgnerverdiene er det fortsatt en del negative fremmedvannandeler som tas bort enkelte dager. Dermed blir det en mindre andel verdier som påvirker hele gjennomsnittsberegningen for gjeldende døgnet. Opererer man med månedsverdier er det svært sjeldent et problem.

Timesverdier er funnet blant annet ved å ta medianen av to en-times gjennomsnittsverdier og plottet det mot temperatur på tidspunktet mellom de to timene. Temperaturen endrer seg gjerne svært lite over en time, stort sett under 0.5 °C /time når det ikke er på morgenen eller kvelden.

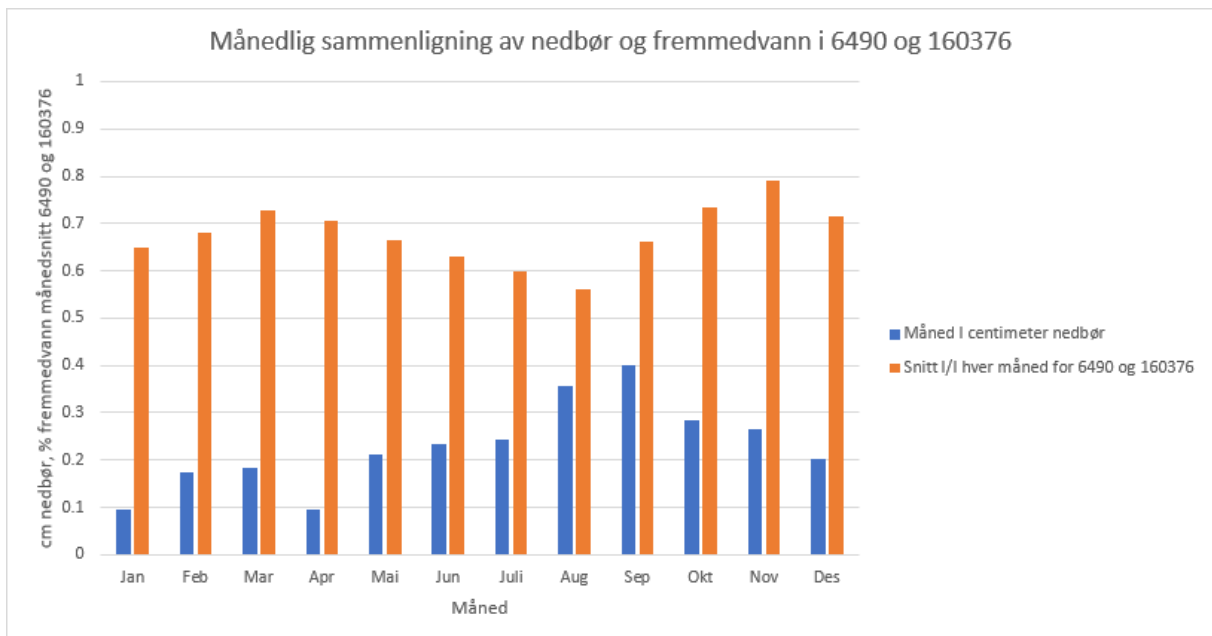
Fremmedvannverdier her blir generelt helt unyttige for å anslå fremmedvann, siden man har et forbruk som endrer seg over døgnet. Man vil da undervurdere fremmedvannmengder i de perioder man har lav vannføring og overvurdere om morgenen og litt utover dagen. Likevel finnes det masse timesverdier med god korrelasjon, dersom man tar omtrent samme tidspunkt hver dag og setter det opp mot hverandre eller samme tidspunkt hvert år, men det er ikke sånn hele tiden og det virker som det er litt forskjellig fra punkt til punkt.

Månedsverdier for flere vannføringspunkter sammen viser meget god sammenheng mellom fremmedvann og temperatur for alle måneder sett isolert. Samlet over et år får man gjerne en korrelasjon rundt -60%.



Figur 60 Korrelasjon mellom temperaturer for 2535 og 160376 sett sammen.

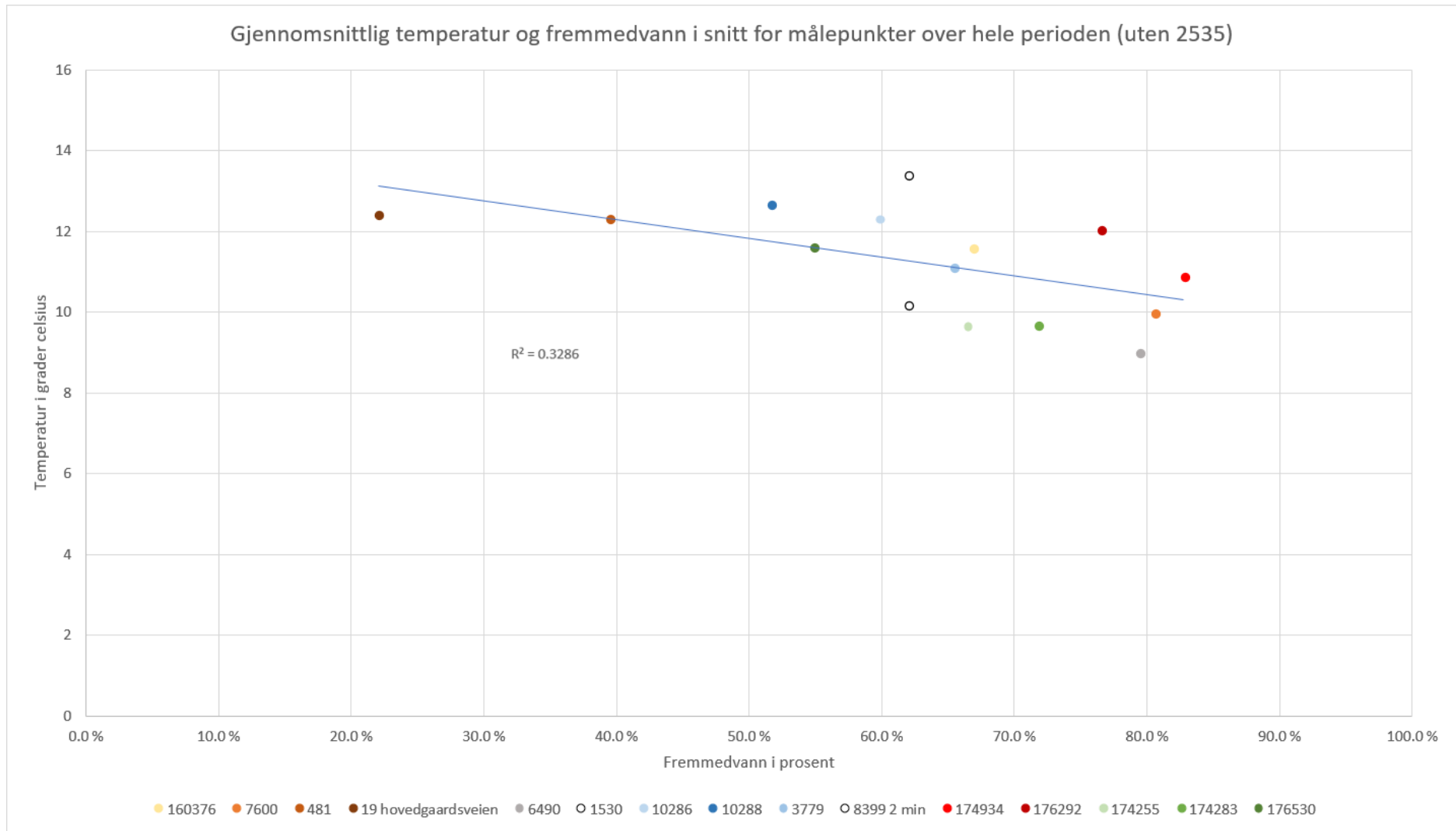
Månedsverdier i Figur 60 er hentet fra hele måleserien til hvert punkt (2017-2021 for 160376) og (2019-2021 for 2535). Hver måned beregnes månedssnittet fra hver 2-minutter i måleserien for temperatur. 2535 har noe for høye måledata av lave vannføringer og skal justeres ned i en senere oppdatering av måledataene.



Figur 61 Månedlig sammenligning av nedbør og fremmedvann i 6490 og 160376

Over er en oversikt som viser månedsnedbør i alle årene 6490 og 160376 har vært i drift sammen med fremmedvannsnitt over månedene. Punktene er to drenerende vannføringsmålingspunkter lavt i feltet. Nedbør er fra Mellom-Nes (Nesbru) og ligger 700 meter unna 160376 og 1500 meter unna 6490.



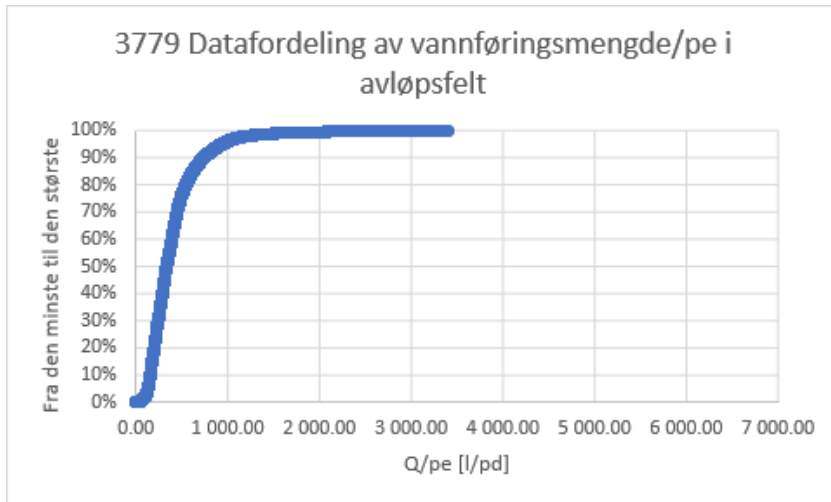


Figur 62 Gjennomsnittlig temperatur og fremmedvann i snitt for målepunkter over hele perioden (uten 2535).

I hvilken grad man kan finne fremmedvann med automatiske temperaturmålinger

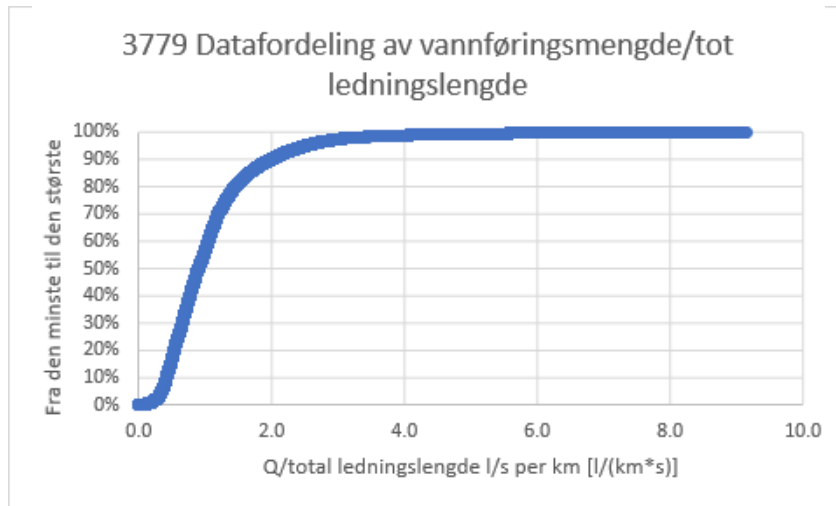
Et målepunkt ble valgt for å sjekke om man kan finne omtrentlig hvor mye fremmedvann det er der ved å gjøre temperaturmålinger. Målepunktet ble 3779 og måles opp mot beregninger fra vannbalanse-metoden. Målepunktet ligger nært tilknyttet et felt med måledata (10286) og har målinger tilbake til juli 2017 sammen med flere andre målepunkter. Ledningsnettets er stort sett lagt

etter 70-tallet (77%) og har et av de korteste gjennomsnittslengdene per ledning (37,7 m). Kummen med vannføringsmålinger ligger på 11moh.

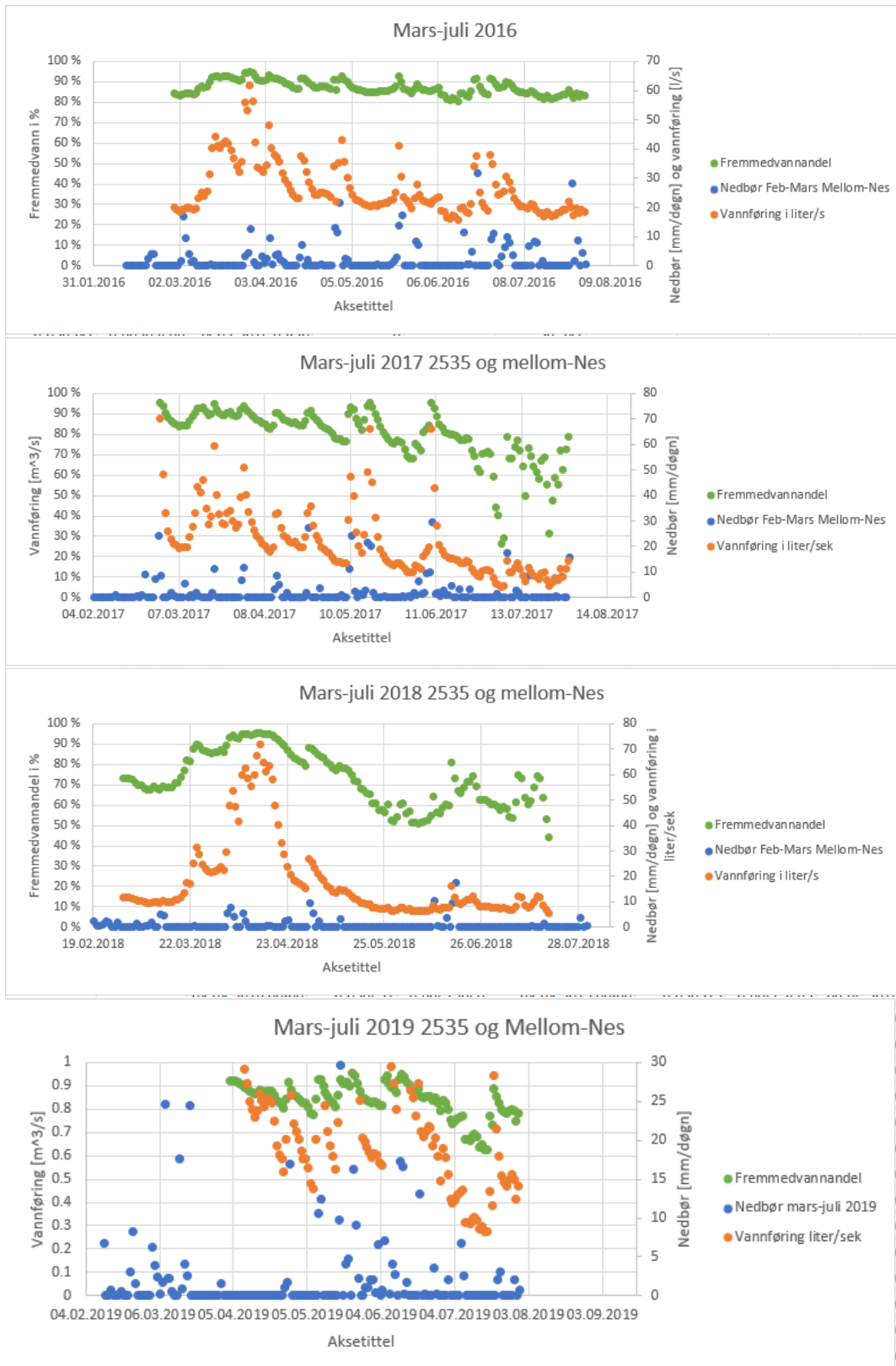


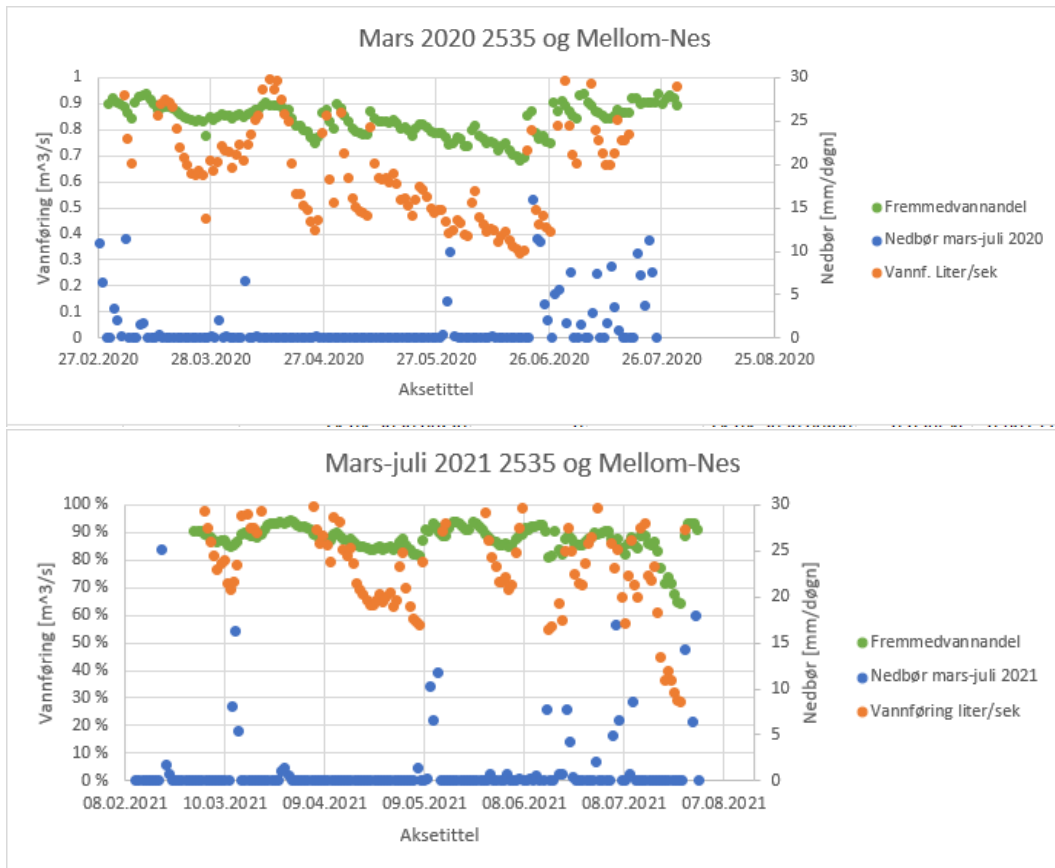
Fordelinger for de andre målepunktene kan sees i «Del 2, uferdige figurer fra nedstengning i 2020 for 2535.

Figur 64 Fordeling av vannføring per person for avløpsfeltet.

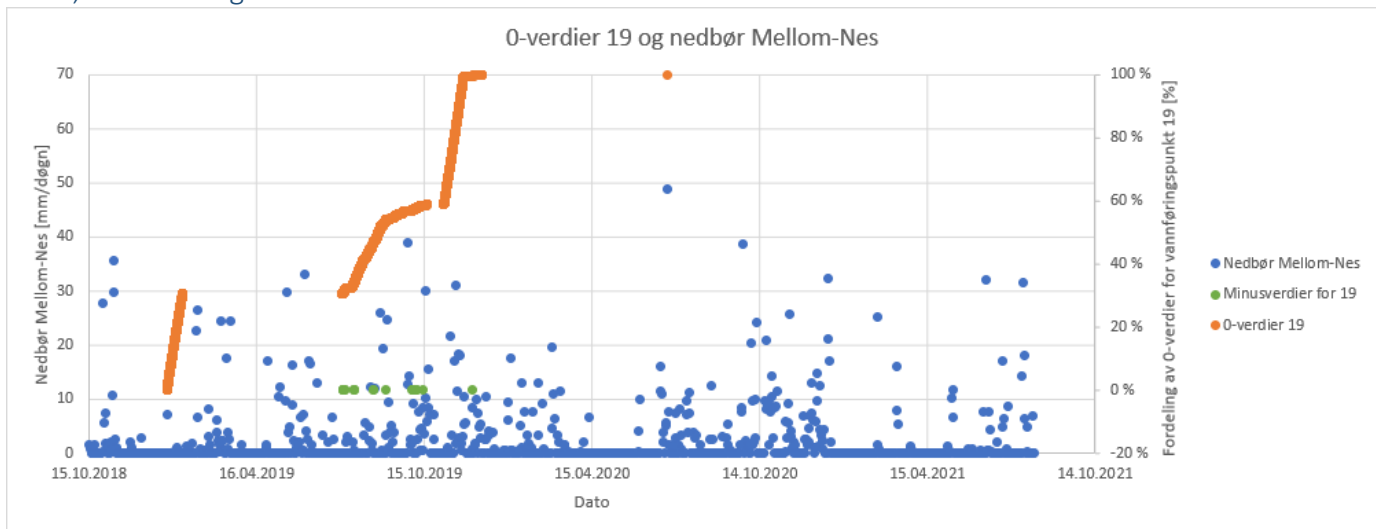


Figur 63 Fordeling av vannføring per total ledningslengde.





### Del 3, 0-verdier og minus-verdier



Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 19, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom oktober 2018 og august 2021

### Del 4, fordeling av vannføring per total ledningslengde, areal og pe.»..

Det ble foretatt en beste tilpasning ved å sette fremmedvann i 3779 som variabel. Fremmedvannandelene fra de andre målepunktene ble holdt konstante. De andre fremmedvannandelene er regnet ut med vannbalanse-metoden. Kun målepunkter nederst i avløpsfelt ble brukt for ikke å bruke samme data flere ganger og favne størst mulig del av Asker. Løsningen som hadde best mulig korrelasjon med temperatur ble funnet ved iterasjon. Dette gav en viss R-kvadrat sammen

med den fremmedvannandelen i 3779 som passet best til dataene. Det blir her antatt at den beste R-kvadrat-verdien gir det mest sannsynlige utfallet av fremmedvann i 3779. Resultatene er vist i

Tabell 9:

Tabell 9 Hvor nærme man kan anslå fremmedvann ut fra Temperaturmålinger over et år. Gitt at man har data fra målepunkter som ligger langt nede i avløpsfeltene å sammenligne med. Punktene brukt er 160376, 6490, 1530, 10286, 8399 da det er funnet gjennomsnittlige temperaturer hvert år for disse målepunktene.

Forskjell mellom å regne fremmedvann med temperatur- og vannbalansemetoden	2020-2021	2019-2020	2018-2019	2017-2018
Fremmedvann ifølge vannbalansemetoden for 3779	65.5%	62.3%	66.8%	59.8%
Korrelasjonsmetoden for temperatur til målepunkter uten målere nedstrøms mot I/I ved vannbalanse på de andre punktene, tilhørende R-kvadrat	58.5%, 0.53	57.5%, 0.8	57.2%, 0.89	67.1%, 0.54
Forhold mellom utvalgte, lignende målepunkter med korrelasjonsmetoden og I/I ved vannbalanse i 3779	1.12	1.08	1.17	0.89

Det ser da ut som det i det minste må beregnes med å få 17% avvik fra vannbalanse-metoden, med denne tilnærmingen i Asker.

Ser man kun på total fremmedvannmengde over hele måleperioden til tre lignende målepunkt med vannbalanse-metoden, finner man nærmere verdier for 3779 enn man gjør når man deler opp fremmedvannet i enkelte år. Som vist i Tabell 10;

Tabell 10 Hvor nærme man kan anslå fremmedvann ut fra Temperaturmålinger i 3779 over et år. Gitt at man har data fra lignende målepunkter å sammenligne med. Kun data fra tre ganske lignende områder. Fremmedvann som sammenlignes med er her totalt for punktet for hele perioden det er i drift. Alle punktene brukt her ble startet opp innenfor en halv måneds tid i juni-juli 2017. Korrelasjonen er gitt fordi ikke alle måleseriene var mulig å få 100% til å korrelere med hverandre selv når punktet 3779 ble variert mot de andre.

Forhold mellom Temperatur- og vannbalansemetoden	2020-2021	2019-2020	2018-2019	2017-2018
Fremmedvann ifølge vannbalansemetoden for 3779	65.5%	62.3%	66.8%	59.8%
Korrelasjonsmetoden for 3779 mot total I/I for hele måleperioden i tre utvalgte målepunkter uten målere nedstrøms, med tilhørende R-kvadrat.	65.3%, 0.95	66%, 0.99	67.5%, 0.98	69.9%, 0.99
Korrelasjonsmetoden for 3779 mot I/I per år i tre utvalgte målepunkter uten målere nedstrøms, med tilhørende R-kvadrat	70.8%, 0.74	61.7%, 0.997	59.2%, 0.97	67.1%, 0.54
Tre utvalgte, lignende målepunkter når hele perioden sees under ett for fremmedvann-andel, forhold mellom	1.003	0.945	0.99	0.856



korrelasjonsmetoden og I/I ved vannbalanse i 3779				
Tre utvalgte, lignende målepunkter, forhold mellom korrelasjonsmetoden og I/I ved vannbalanse i 3779, når fremmedvann-andeler for hvert år brukes	1.01	1.01	1.13	0.89

Det er ikke spesielt vanskelig å få så høye R-kvadrater med kun tre punkter, i tillegg til et som justerer seg etter hva de andre viser. Men disse tre punktene viser i det minste meget godt samsvar med at fremmedvann er negativt korrelert med temperatur. Med metoden som skiller andel fremmedvann hvert år kan en da regne med et avvik på over 11% av det resultatet man får med vannbalanse-metoden. Ved å ikke se på fremmedvannandeler hvert år er det her en mer stabil sammenheng, men og større avvik for andel fremmedvann i 2017-2018 (14.4%). Tallene som er brukt i forholdsberegningene for hvert år mot vannbalanse-metoden er gjengitt i vedlegg 3, under «Del 1, Oversikt over utregning av årsspesifikt forhold mellom korrelasjonsmetoden og vannbalanse-metoden», på s.93.

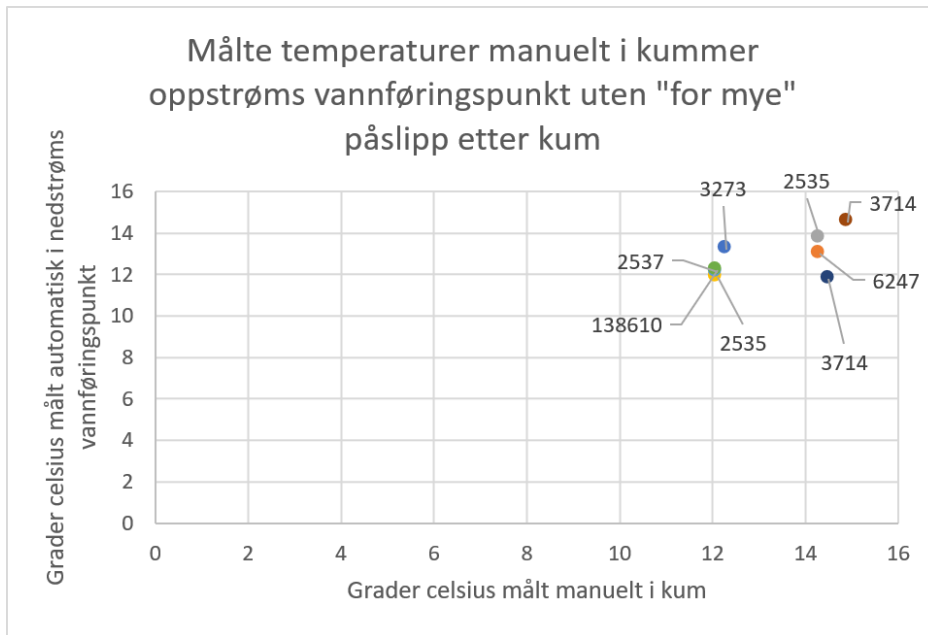
Mye av grunnen til stabiliteten når man kun regner med total fremmedvannandel for hvert punkt er nok at når man tar vekk års-variasjonene for fremmedvann ved vannbalansen så sitter man kun igjen med en rimelig stedsspesifikk temperatur som gjerne endrer seg marginalt i års-gjennomsnitt over årene. På den måten kommer det fram hvilket samsvar det er mellom gjennomsnittlig fremmedvannmengde og temperatur, uten at man får forstyrrelser av like mange faktorer som ikke er med i regresjonen. Det er og slående likt hvor mye fremmedvann man får med denne metoden og disse tre punktene for de to seneste årene. Men som en kan se i Tabell 9 så er det ikke like stabilt dersom man blander inn felt som ligger langt unna og i andre typer terreng.

Faktorer som kan bidra til å forklare variasjoner i fremmedvannmengde er funnet å være i tillegg til temperatur; Areal nedbørfelt i tidligere Asker kommune, fall i ledning etter målepunkt, lengde på ledninger fordelt over alder og korrelasjon med nedbør ble funnet grafisk.

Så for å summere opp så ser det ut til at hvor bra du kan estimere fremmedvannandelen ut fra kun automatiske temperaturmålinger, vil være avhengig av hvilken grad en har og finner måleserier med samme struktur som punktet en observerer. Et ledningsnett som er kort og nylagt vil være avhengig av andre faktorer for fremmedvann enn et stort ledningsnett med snittalder på 40 år. På den måten vil temperaturen på fremmedvannet kunne bli annerledes siden det har ulik vei til målepunktet. Har man tre målepunkter med vannføring i et område er det ikke sikkert man trenger annet enn temperaturmålere i nærhet til disse punktene. Gitt at man har ensartede og representative målepunkter. Her vil nok og nedbørens oppholdstid i feltet før det treffer målepunktet spille inn på temperatur, samt type grunn og stoffer det er i kontakt med. Flere undersøkelser av dette er foreslått i avsnittet «Anbefalinger om videre arbeid».

## Manuelle temperaturmålinger

I Figur 65 er en oversikt over manuelt målte temperaturer oppstrøms vannføringsmålingspunkter som ikke er påvirket av større påslipp mellom kummene. Det vil si at dersom det ikke er noe uregelmessige endringer i inntak av fremmedvann eller temperatur mellom automatisk vannføringsmålingspunkt og kum for manuell måling, så bør målingene vise omtrent samme temperatur dersom temperaturmålerne som er blitt brukt er gode og metoden er nøyaktig. Figur 65 viser hvor bra dataene korrelerer med hverandre.



Figur 65 Manuelt målte temperaturer og automatisk målte temperaturer i kummer oppstrøms vannføringsmålere.

Temperaturene viste en korrelasjon på 0.43 mellom automatiske og manuelle målinger. Den ene outlieren «3714 Blå», ble målt med liten bømte i stor vannstrøm og kan bli ansett som en feilmåling. Tar man bort denne får man en korrelasjon på 0.79 (R-kvadrat på 0.62). Det var påfallende hvor lik temperaturen er innimellom. Hvis man tar med de kummene hvor man finner så og si lik temperatur i begge ledninger oppstrøms et vannføringspunkt får man en korrelasjon på 0.86 (med en R-kvadrat på 0.73) mellom målte temperaturer manuelt og automatisk målte temperaturer. I avsnittet «Anbefaling om tiltak i Asker kommune i forbindelse med fremmedvann, temperatur og ledningsalder» blir noen av disse målingene anbefalt å se videre på. Ledningstrasseen mellom kummene er ikke påvirket av større påslipp, men kan på noen av dem være påvirket av mindre påslipp og fremmedvanninnlekking.

## Utfyllende og overordnet diskusjon av resultater

### Vannføringsmålinger

Måledata ble funnet å være korrelert innad i avløpsfelt (for 160376 og 7600 på Holmen). Dette sammen med at total fremmedvannmengde viser omtrent samme resultater som man får med sporstoff-metoden og at justering for hastigheten på vannføringen gav bedre korrelasjon enn å sette en gjennomsnittshastighet mellom to punkter, styrker kredibiliteten til måledataene. Det ble sett på som fordelaktig for helhetsbilde å fjerne verdier som er negative og 0, selv om dette periodevis kan bli feil. Spesielt aktuelt er nok dette i enkelte mindre felt om natten.

### Nedbørmålinger

Målinger hentet fra nedbørstasjoner i området viste også resultater som stemmer godt overens med det en skulle antatt ut fra høyde på målestasjonene og korrelasjon i nedbørmengde og tidspunkt med målestasjonene. Dette til tross for at målestasjonene har forskjellig klasse på nedbørmålingene.

### Fremmedvann

Asker, Hurum og Røyken har slått seg sammen. Det er gjort en del mer rehabilitering i gamle Asker enn i Røyken. Men viser dette seg på fremmedvannandeler? Ut fra dataene bearbeidet i denne

rapporten kan man ikke si det. I Røyken har det blitt observert fremmedvannandeler som er lavere enn i tidligere Asker kommune. Sett ut fra ledningsalder, andel separasjonssystem og nedbør er dette noe merkelig. Likevel ble ledningsalder sett på som ganske sterkt assosiert med fremmedvann. Dette får en til å tenke på grunnvannsforhold og at ulike felt kan være lite sammenlignbare om en ser på materielle og normalt observerte faktorer. Å anslå hvor alvorlig en skade på skjøter er sprekker er kan for eksempel være vrient. Det samme kan sies om å lage nedbørverdier for hvert målepunkt, eller samlede vektall som gir mening for ledningsalder. Dette ble til en viss grad funnet, men hadde nok vært bedre om en kunne utviklet mer multivariat regresjon og tatt i bruk smarte, lærende datasystemer. Halvveis oppdaterte data og 60 % ukjente data fra private ledninger er ikke et godt utgangspunkt for å gjøre gode betraktninger.

Som man kan se under «Fremmedvann i kommunen» i resultat-kapittelet viser nedbør-trender og fremmedvann-trender et visst samsvar sett over hele området og lengre perioder. Likevel ser det ut til at en del av arbeidet kommunene har gjort betaler seg, da det har vært stor oppgang i nedbør de siste årene uten at fremmedvannandelene har gått veldig mye opp. Da spesielt i området Vakås med 6490 og på Nesøya med 19 Figur 43 og Figur 42. Fremmedvannandelen kunne se ut til å være på vei ned før nedbøren gikk opp i for i fjor. Antagelig kunne andelene fremmedvann vært verre dersom det ikke hadde vært en del aktivitet i fornying av ledningsnettene her de siste årene.

Resultatene i denne rapporten støtter antagelsen om at det er vanskelig å sette mål om fremmedvannreduksjon som ikke er spesifikke for hvert område, og at de burde være satt ganske langsiktig på grunn av variasjoner ved nedbør og nedbørassosierte faktorer.

### Spekulasjoner

Ut fra hva en ser på anslag for fremmedvann over årene (Figur 42) kan innlekking av fremmedvann nesten se ut som en egenskap ved et felt. Dette kan skyldes profilen på ledningsalder, og at hvordan nedbør interagerer med ledningsnettene er en type egenskaper ved områder. I så fall ville det vært interessant å se mer på hvordan det hydrostatiske trykket i grunnvannet i for eksempel en dal kan virke inn på ledninger der og hastigheten på grunnvannet.

Man kan og spekulere i at glidninger i jordmasse kan ha noe å si, eller dårlig arbeid ved legging av ledninger. Området som det strømmer grunnvann i jorda fra, kan kanskje være større i tidligere Asker enn i Røyken. Annerledes forbruksmønstre vil også kunne ha noe å si, da det nok kan være færre mennesker for hver boenhet i tidligere Asker kommune og dermed høyere forbruk.

Som man kan se i Figur 61 virker det litt som at vann som kommer ned i feltet gir fremmedvann i lang tid. Dette kan ha å gjøre med at de største mengdene vann, kommer inn i ledningsnettene når det er vann i bakken fra før, og at mye av vannet i jorda ikke bare kommer loddrett ned fra skyene, men også kan komme sigende fra nedbørfelt lengre oppe i landet.

### Lekkasjer

Ut fra en rekke antagelser virker det som om tapet av spillvann i ledningsnettene ligger rundt 4-6% totalt hvert år fra overløp og lekkasjer (Tabell 6). Dette stemmer greit med antagelser om at overløp er i drift i 1-5% av året (O Lindholm, 2011).

### Temperatur og fremmedvann

Temperatur og fremmedvannandeler er godt korrelert, men det er problemer i dataene. Et av disse problemene er at sammenhengen er i konstant endring. Den temperaturen som betyr mye fremmedvann et tidspunkt i året, betyr veldig lite fremmedvann på en annen årstid. Dette fører til at om man sammenligner data fra en måned med en annen vil man ikke finne like mye sammenheng, mens det egentlig kan ligge trender der som gir forutsigbarhet. En metode å finne sammenhenger

som kan hjelpe en å si noe om det å kunne si noe om fremmedvann kun ut fra temperatur er hvilken sammenheng man får når man sammenligner data fra samme periode over flere år.

Bruker man snitt over hele årsperioder vil det være store variasjoner innad i utvalget, mens den gjenværende variasjonen på temperatur mellom årene, kan assosieres med variasjoner i fremmedvannmengdene. Spesielt gjelder dette i felt som ligner, selv når fremmedvann-andelene har store forskjeller.

Avløpsvannet har antagelig ganske lignende temperatur ut fra husholdninger og industri uansett om du måler det på vinteren eller om sommeren. Mens hvordan avløpsvannet blir påvirket av ulike stoffer, materialer, og fremmedvann vil være forskjellig.

Derfor ble det besluttet å se på sammenhenger på døgn- og månedsbasis. Her ble det funnet at for punktet 160376 var det mulig å finne bra sammenheng de fleste måneder og de fleste døgn (se Figur 56 til Figur 60) i «Analyse av automatiske temperaturmålinger». Hver måned for seg har de siste årene mellom tre og fem gode månedsserier med måledata. Syv av dem hadde over 90 % korrelasjon mellom fremmedvann og temperatur gjennomsnitt over måneden. Den laveste lå på 48% og var november. De beste månedskorrelasjonene finner man om høsten og våren. Dette kan ha mange årsaker, men en av de mest sannsynlige er den at om sommeren vil man få inn mye vann som har temperatur opp mot hva man finner i avløpsvannet fra før, sånn sett vil nedbørtrender på denne årstiden ikke endre så på temperaturer i avløpsvannet, selv om det er store nedbørmengder.

#### Manuelle temperaturmålinger

Tar man en temperaturmåling i et punkt for å finne fremmedvannandelen bør man og se på andre kummer som leder vann ned sammen med det punktet samtidig. Manuelle temperaturmålinger passer nok best til å se hvor det lekker inn og ikke hvor mye, da temperaturforskjeller mellom kummer kan variere mye over tid. Det ble funnet noen kummer som regelmessig (over to målinger) viste lavere temperatur enn andre kummer i området. Slike kummer kan være påvirket av fremmedvann, selv om det også kan ha andre årsaker som tilfeldige forbruksvariasjoner, drikkevannsløkkasjer og ulike større fremmedvanninnlekkinger på kort tid som ikke spiller stor rolle over året.

En av fordelene med å kunne gjøre temperaturmålinger på denne måten er at man vil kunne bruke arbeidskraft og slippe å bruke ressurser som er mindre fornybare. Det kan oppta arbeidskapasitet som trenger lite opplæring, men som burde være observante på farene ved å slippe bøtter ned i avløpsstrømmer.

#### Bearbeide data

Det er vanskelig å oppdage enkelte sammenhenger uten å kjøre det gjennom lærende verktøy. For eksempel vil høyoppløselige sammenhenger over lang tid som man ikke forventer, kunne gå unngå oppmerksomhet smertefritt. Det er kanskje enkelt å sjekke om man får en effekt av en tørkeperiode eller en nedstengningsperiode eller en nedbørshendelse, men en sammenheng som gir effekt over lang tid kun i for eksempel høyoppløselige data vil være vanskelig å kunne se dersom man ikke «finner» sammenhengen når man planlegger hva man skal se etter og begynner å lete etter den. Overraskende parametere kan ha noe å si for vannføring, men det blir ofte komplisert å beregne «for hånd» siden man har mange parametere (faktorer) som spiller inn samtidig og det aldri er lett å vite hvilke faktorer som står for hva når det er kontinuerlig endring i mange faktorer på en gang som man ikke har data på. Det som ble sett på av korrelasjoner med flere variabler på samme tid ble funnet litt for lett og trangt for denne oppgaveteksten. Men det kan nevnes at modeller ble rimelig gode når man brukte både vannføringsstemperatur og lufttemperaturen fra MET. Areal sammen med høyde på montert vannføringsmåler og en eller annen fornuftig ledningsdata gav også lovende assosiasjoner.

## Konklusjon

Denne oppgaven har tatt for seg funksjonaliteten til Asker kommune sitt ledningssystem for avløp. Det er funnet fremmedvannandeler som ligner hva det historisk har vært i Asker og inn til VEAS siden 80-tallet. Resultatene støtter ideen om at nedbør kan forklare store deler av fremmedvannmengder i området. Funnene av fremmedvann tendenser kan også antyde at man har klart å unngå en del fremmedvann ved å gjøre utskiftninger og utbedringer av ledninger i avløpsnett. Likevel er det vanskelig å forklare de store forskjellene en finner i andel fremmedvann i Røyken og inn til tidligere Asker kommune.

Korrelasjonsundersøkelser gav overraskende gode assosiasjoner mellom temperatur og fremmedvann-andeler. Spesielt ved å behandle hver måned for seg eller i mindre kvartaler kunne man finne assosiasjoner med R-kvadrat på over 0.9 på tvers av ledningsnett og målepunkter. Til tider svært god assosiasjon mellom temperatur og fremmedvann også på oppløsninger så små som døgn og time. Dette ble likevel funnet å være noe avhengig av målepunktet. Andre faktorer som kunne assosieres brukbart med fremmedvannet var fall i ledning etter målepunkt, andel lengde ledning for aldersintervaller og areal i tidligere Asker kommune.

Nedstenging av samfunnet ble funnet å være en usikker måte å finne pendlerbidrag på, da det ikke var spesielt entydige resultater. Likevel kunne økt vannføringstemperatur og økt vannføring i to punkter nord i Asker vanskelig forklares av andre faktorer. Skal man kunne si noe generelt må flere av målepunktene undersøkes.

Automatiske målinger av temperatur i vannføring viste seg å ha potensial til å anslå andel fremmedvann i et av målepunktene i Blakstad. Fremmedvannandelen for hvert år kunne slås fast i dette punktet med en feilmargin på 0.02 sett mot vannbalanse-metoden, kun for dette enkelte målepunktet. Dette ble utført med bakgrunn i at det er gode forhold for å regne årsgjennomsnitt av temperaturmålinger og andeler fremmedvann i andre lignende punkter i området på grunn av god satsing på vannføringsmålere.

Med tanke på at det ble funnet god korrelasjon mellom automatiske temperaturmålinger og andel fremmedvann på timesbasis, kan det være noe i å måle temperaturer manuelt. Temperaturen endrer seg gjerne mindre enn lufttemperaturen og manuelle temperaturmålinger hadde ganske god, men noe variert korrelasjon med automatiske temperaturmålinger på samme tid. Det ble og funnet et par målepunkter som viste systematisk mindre temperatur enn andre. Videre undersøkelser må vise om dette kan være nyttig til å redusere mengde fremmedvann.

Informasjon om temperaturer i avløpsvann og hvilke faktorer i ledningsnett som er assosiert med temperaturvariasjonene ble funnet. Deretter ble et anslag på temperatur ut av husholdninger innhentet fra litteratur i Norge og Canada.

## Videre arbeid

### Anbefalinger om videre arbeid

Et viktig punkt å arbeide mer med i denne oppgaven er at de fleste undersøkelsene kun har blitt prioritert tid til å gjøre med et eller to punkter sett opp mot hverandre. Dette gjelder mange av temperatur-undersøkelsene spesielt og hvordan de korrelerer med andeler fremmedvann og hvordan vannføring har endret seg i tida rundt nedstengningen av samfunnet. Kanskje kunne man

også funnet sammenhenger mellom vannføring fra husholdninger og fremmedvannmengder og fremmedvannmengder og utlekking dersom det hadde blitt sett mer på forbrukskurvene til avløpsfeltene.

I forbindelse med temperaturanalyse ville det vært interessant å jobbe videre med nedbørandeler om vinteren og sommeren for å kunne nyttiggjøre seg bedre hvordan endringene i temperatur per vannføring er i dataene. Det er og en del arbeid igjen på å se hvordan vanntemperaturene varierer med lufttemperaturen i området. Det kunne blant annet vært interessant å se om en kan anslå fremmedvann i et punkt ved å se på tidligere verdier av fremmedvann i det samme punktet sammen med ting som lufttemperatur. Eller om man kan anslå fremmedvann nedenfor eller ovenfor et punkt med temperaturmålinger i vannføringen i punktet nedenfor eller ovenfor.

Mange sammenhenger kunne også blitt tydeliggjort ved å kjøre data gjennom smarte verktøy som lærer av tidligere data. Betraktninger gjort AI (Artificial Intelligence) og dyptgående analyser av hvert enkelt målepunkt, med modellering og mer dyptgående målinger over mange punkter i et avløpsfelt. Om noen skulle finne dette interessant stilles gjerne upubliserte data som er samlet inn og behandlet under arbeidet med denne oppgaven, tilgjengelige, om Asker kommune går med på det.

Rent spesifikt hadde det og vært bra om man kunne gjort bedre antagelser angående private stikkledninger og areal på nedbørfelt i avløpsfeltet, da dette er gjort ganske grundig for tidligere Asker, men ikke fullstendig undersøkt i forbindelse med målepunktene i Røyken. Det er også en svakhet å ikke ha mer enn noen få enkeltmålinger av grunnvannstemperatur.

#### [Anbefaling om tiltak i Asker kommune i forbindelse med fremmedvann, temperatur og ledningsalder](#)

Området oppstrøms 176292 og 174283 har det eldste ledningsnett av de undersøkte punktene og ville være naturlige mål for undersøkelse av tiltak. I og med at det er såpass store mengder fremmedvann gjennom 174934 er dette også et ledningsnett det kan være lurt å undersøke sammen med det opp ovenfor 7600 på Holmen. Kanskje kan analyser av temperatur i avløpsvannet være med å hjelpe å finne ut hvor i nettet i 174934 det er mye innlekking av fremmedvann.

På Vakås er det nok høyt hydrostatisk trykk ned der ledninger ligger i dalen ned mot 2535, det skal allerede være planer om å utbedre ledningsnett og det støttes av resultater i denne oppgaven. Punktene 173632 og 138610 på Vakås hadde lave temperaturer (12-13°C) i begge målingene som ble utført der. En av målingene (22.september) ble gjort mens det var høyere temperaturer i ledningene rundt dem. Det er og en merkelig ledning i ledningskartet oppstrøms 138610 som ikke er i bruk.

#### [Feilkilder](#)

##### [Vannføringsmålinger](#)

Målingene av vannføringer kan være bearbeidet så de skal gjengi sannsynlige resultater. Det er en del usikkerhet rundt målingene og det brukes forskjellig type utstyr på flere av målepunktene. Dataene fra forskjellige områder kan derfor ha ulik usikkerhet knyttet til seg. Mot slutten av oppgaveperioden ble en av målerne funnet av ansatte i Asker kommune å vise høyere vannføringer enn den burde ved lave vannstrømmer. Dermed ble ny vannføringsmåler satt inn og data planlagt oppdatert. Dette gjelder vannføringspunkt 2535 som er brukt i blant annet sammenheng mellom vannføring og temperatur. Dette er en svakhet ved resultatene i denne delen av oppgaven (Figur 60). Det ble også funnet at senere målinger ble oppdatert mens prosjektet foregikk. Derfor ble mye data lastet ned flere ganger og oppdatert. Det er ikke noen garanti for at det alltid er blitt gjort, men i tilfelle noe av uoppdatert data er brukt så handler det ikke om lange serier med uoppdaterte data.

I og med at det også har vært fornyelse av ledninger i periodene fra noen av dataseriene startet så må dette også tas i betraktning, da det kan påvirke hvor mye vannføring som kommer fra et felt i aktivitetsperioden.

#### Automatiske temperaturmålinger

Til tross for mye dobbeltsjekking er data behandlet på en rimelig manuell måte og kan derfor inneholde menneskelige feil som ikke lar seg oppdage så lett. Det er lagt vekt på å gjøre ting likt og rette opp i ting som er gjort ulikt, men det forekommer avvik fra dette. Noen måleserier der data mangler eller virker feilaktig er for eksempel byttet ut med gjennomsnittsverdier eller fjernet. På den måten kan man få noe annerledes inntrykk av dataene som er visualisert. Det er gjerne små forskjeller de tilfellene dette er oppdaget.

#### Manuelle temperaturmålinger

Mengden vann som ble fanget under manuelle temperaturmålinger varierte noe, og lufttemperatur ble målt uten å bruke for mye tid på det. Det varierte og hvor lenge termometeret fikk på å vende seg til temperaturen. Det virket og som om temperaturen i avløpsvannet fort begynte å synke når det var kaldt i luften. Bøtta hadde nok ikke alltid lik temperatur da den ble sluppet ned i kummen, og det ble brukt en annen bøtte i spesielt vanskelige tilfeller av kummer. I enkelte målinger ble resultatet dobbeltsjekket, og da var det lite avvik. Det ble derfor ingen gjenganger å dobbeltsjekke temperatur i avløpskummene.

Det er gjort en del forenklinger når det kommer til pendlerbidrag/fradrag og industri som optimalt burde vært sett mer på for Asker kommune, og det kunne vært dobbeltsjekket mer data innenfor areal, hentet flere «normale» minstestrømninger i vannføringsseriene og sett mer på forbrukskurvene til de forskjellige vannføringskurvene over tid. Dette kunne styrket noen av analysene.

#### Verifisering

Optimalt skulle man ha verifisert prøver fra hver manuell temperaturmåling med sporstoff som fosfor, eller DTS målinger. Dette er noe kostbart og tidkrevende. Dersom det finnes eller utvikles nye metoder for å ta fosfor-prøver raskt og billig kan det være et nyttig bidrag sammen med temperatur om man planlegger lange serier med manuelle målinger.



## Kilder

- Alejandro Figueroa, B. H., João P. Leitão, Jörg Rieckermann, Frank Blumensaat. (2021). A distributed heat transfer model for thermal hydraulic analyses in sewer networks. *Water research*, 204. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421008447>
- Arve Weng, H. C., Knut Lindboe og Linda Grimsgaard, Sameline. (2012). *RÆLINGEN KOMMUNE – RAPPORT SYSTEMREVISJON AVLØP 2012*.
- Bakken, S. E., Andersen, J., & SWECO. (2016). *Røyken kommune, Hovedplan for vann og avløp 2017 – 2041*. VIVA
- BedreVann. (2017). *Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen*. Retrieved from Norsk vann: [https://norskvann.no/wp-content/uploads/baerekraftstrategi\\_2017.pdf](https://norskvann.no/wp-content/uploads/baerekraftstrategi_2017.pdf)
- BedreVann. (2019). *Tilstandsvurdering av kommunalevann– og avløpstjenester*. Retrieved from Norsk vann: <https://www.bedrevann.no/pdf/bedreVANN2019.pdf>
- BedreVann. (2020). *Tilstandsvurdering av kommunalevann– og avløpstjenester*. Retrieved from Norsk vann: <https://bedrevann.no/pdf/bedreVANN2020.pdf>
- Beheshti, M., & Sægrov, S. (2018). Quantification assessment of extraneous water infiltration and inflow by analysis of the thermal behavior of the sewer network. *Water*, 10(8), 1070.
- Beheshti, M., Sægrov, S., & Ugarelli, R. (2015). Infiltration/inflow assessment and detection in urban sewer system. *Vann*, 01.
- Bischofsberger, W., & Seyfried, C. (1984). Wärmeentnahme aus Abwasser (Heat Extraction from Wastewater). *Lehrstuhl und Prüfamf für Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München: Garching, Germany*.
- Brevik, Ø. (2021). Milliarder å hente på samarbeid om vann og avløp [Press release]. Retrieved from <https://www.kommunal-rapport.no/debatt/milliard-å-hente-på-samarbeid-om-vann-og-avlop/136800/>
- Bruaset, S., Rygg, H., & Sægrov, S. (2018). Reviewing the long-term sustainability of urban water system rehabilitation strategies with an alternative approach. *Sustainability*, 10(6).
- Carlsen, B. B. E., Davidsen, E., Olsen, I., Schønborg, R., & Sægrov, S. (1979). *Saneringsplan-ledninger avløpsfelt Vakås* (ISBN-82-90328-06-0). Retrieved from Vann & Avløp, Prosjekt Transport av Vann:
- Childs, P. R., Greenwood, J., & Long, C. (2000). Review of temperature measurement. *Review of scientific instruments*, 71(8), 2959-2978.
- Cipolla, S. S., & Maglionico, M. (2014). Heat recovery from urban wastewater: Analysis of the variability of flow rate and temperature. *Energy and Buildings*, 69, 122-130.
- Daniele Di Trapani, M. C., Michele Torregrossa, Gaspare Viviani, Hallvar Ødegaard. (2013). Performance of a hybrid activated sludge/biofilm process for wastewater treatment in a cold climate region: Influence of operating conditions. *Biochemical Engineering Journal*, 77, 214-219. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X13001782?via%3Dihub>
- Derås, J., & Kristiansen, S. B. (2019). *En sammenligning av kostholdet til en gruppe unge idrettsutøvere med resultatene fra Ungkost 3*. (Bachelor). Kristiania.brage. Retrieved from <https://kristiania.brage.unit.no/kristiania-xmlui/handle/11250/2653525>
- Diez, D., Cetinkaya-Rundel, M., & Barr, C. D. (2019). *OpenIntro Statistics* (Fourth edition ed.): openintro.org.
- Dürrenmatt, D. J., & Wanner, O. (2014). A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers. *Water research*, 48, 548-558.
- Elvebakk, H. (2012). *Geofysisk logging av borehull ved Arnestad skole, Asker* (0800-3416). Retrieved from NGU, Trondheim:
- Foo, J., & Martin, P. (2017). Tomographic imaging of reacting flows in 3D by laser absorption spectroscopy. *Applied Physics B*, 123(5), 160.
- Funderud, P. Ø. (2020). bedreVANN i nye Asker kommune. *Vannspeilet*, 4, 7. Retrieved from <https://norskvann.no/wp-content/uploads/Vannspeilet04-2020.pdf>

- Gammelsæter, I. J. H. (2015). *Måling og analyse av fremmedvannmengder og tilføringsgrad i Vestlifeltet i Oslo*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- George, D., Pearre, N. S., & Swan, L. G. (2015). High resolution measured domestic hot water consumption of Canadian homes. *Energy and Buildings*, 109, 304-315.
- Gud. *Første Mosebok* (Vol. 1). Jorda: Moses.
- Haimi, H., Mulas, M., Corona, F., & Vahala, R. (2013). Data-derived soft-sensors for biological wastewater treatment plants: An overview. *Environmental Modelling & Software*, 47, 88-107.
- Hansen, L., Myhre, J., Johansen, A., Paulsen, M., & Andersen, L. (2015). *UNGKOST 3 Landsomfattende kostholdsundersøkelse blant elever i 4.-og 8. klasse i Norge, 2015*. Retrieved from Folkehelseinstituttet: [https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2017/ungkost-3-rapport-blant-9-og-13-aringer\\_endeligversjon-12-01-17.pdf](https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2017/ungkost-3-rapport-blant-9-og-13-aringer_endeligversjon-12-01-17.pdf)
- Hanssen-Bauer, I. (2012). Klima i det 21. århundre i sydøstlige Norge med fokus på kystområdene.
- Haraldsen, S. (2013). *UTSLIPPSTILLATELSE FOR FET KOMMUNE PÅ AVLØPSEKTOREN.*: Fylkesmannen i Oslo og Akershus
- Hoes, O. A., Schilperoort, R. P., Luxemburg, W. M., Clemens, F. H., & van de Giesen, N. C. (2009). Locating illicit connections in storm water sewers using fiber-optic distributed temperature sensing. *Water Res*, 43(20), 5187-5197. doi:10.1016/j.watres.2009.08.020
- Hofer, T., Montserrat, A., Gruber, G., Gamerith, V., Corominas, L., & Muschalla, D. (2018). A robust and accurate surrogate method for monitoring the frequency and duration of combined sewer overflows. *Environmental monitoring and assessment*, 190(4), 1-18.
- Hugh D. Young, R. F., A. Lewis Ford. (2011). *Sears and Zemansky's University physics with modern physics 13th edition* (Vol. Volume One). San Francisco: Pearson Education inc. Addison-Wesley.
- Husebø, M., & Husby, I. (2018). *DATARAPPORT*. Retrieved from Oslo, vav.oslo.kommune.no
- Itkonen, S. T., Rita, H. J., Saarnio, E. M., Kemi, V. E., Karp, H. J., Kärkkäinen, M. U., . . . Koivula, M.-K. (2017). Dietary phosphorus intake is negatively associated with bone formation among women and positively associated with some bone traits among men—a cross-sectional study in middle-aged Caucasians. *Nutrition Research*, 37, 58-66.
- Ivanko, D., Walnum, H. T., Sørensen, Å. L., & Nord, N. (2020). Analysis of monthly and daily profiles of DHW use in apartment blocks in Norway.
- Iversen, E., Johansen-Stene, S., & Oredalen, T. (2003). *KASPER MOTTAK. Undersøkelser i forbindelse med ny søknad om utslippstillatelse* (8257743429). Retrieved from NIVA:
- Jenssen Sola, K., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. G., & Ratnaweera, H. (2018). Infiltration and Inflow (I/I) to wastewater systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland. *Water*, 10(11), 1696.
- Jenssen Sola, K., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. G., & Ratnaweera, H. (2020). Analysing consequences of infiltration and inflow water (I/I-water) using cost-benefit analyses. *Water Science and Technology*, 82(7), 1312-1326.
- Jenssen Sola, K., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. G., & Ratnaweera, H. (2021). What Effect Does Rehabilitation of Wastewater Pipelines Have on the Share of Infiltration and Inflow Water (I/I-Water)? *Water*, 13(14), 1934.
- Jenssen Sola, K., Kvaal, K., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. G., & Ratnaweera, H. (2019). Identifying factors influencing infiltration and inflow (I/I-water) in wastewater systems using multivariate data analysis. *Vann*, 04 2019.
- Omfattende tiltak for å bekjempe koronaviruset, (2020).
- Levenspiel, O. (2014). The three mechanisms of heat transfer: conduction, convection, and radiation. In *Engineering Flow and Heat Exchange* (pp. 179-210): Springer.
- Lindholm, G., Nordeidet, B., Ratnaweera, H., & Aasgaard, G. (1999). *Renseanlegg og system for avløp. Integrert modellering og beregning av totalutslipp* (8257737224). Retrieved from NIVA.brage: [https://niva.brage.unit.no/niva-xmllui/bitstream/handle/11250/210559/4113\\_72dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://niva.brage.unit.no/niva-xmllui/bitstream/handle/11250/210559/4113_72dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Lindholm, O. (2011). Regnvannsoverløp. Status, krav og dokumentasjon av utslipp. *Norsk Vannforening*, 46(1), 83-90.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Norsk vann*, 162, 8.
- Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften), § 11 (2007, lovdata).
- Lundblad, M. W., Andersen, L. F., Jacobsen, B. K., Carlsen, M. H., Hjartåker, A., Grimsgaard, S., & Hopstock, L. A. (2019). Energy and nutrient intakes in relation to National Nutrition Recommendations in a Norwegian population-based sample: the Tromsø Study 2015–16. *Food & nutrition research*, 63.
- Maryam Beheshti, V. F., Sveinung Sægrov. (2020). Påvisning av innstrømning av fremmedvann i avløpsledninger ved bruk av fiberoptisk temperatursensor og røyktesting i Trondheim. *Vann*, 01. Retrieved from <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2020/04/Beheshti.pdf>
- Matiko, J. W., Grabham, N. J., Beeby, S. P., & Tudor, M. J. (2013). Review of the application of energy harvesting in buildings. *Measurement Science and Technology*, 25(1), 012002.
- Mattilsynet. (2019). *Status for drikkevanns-området i landets kommuner*. Retrieved from Regjeringen.no: [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/opplysninger\\_om\\_vannforsyningsssystemer/status\\_for\\_drikkevannsomraadet\\_i\\_landets\\_kommuner.36692/binary/Status%20for%20drikkevannsomr%C3%A5det%20i%20landets%20kommuner](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/opplysninger_om_vannforsyningsssystemer/status_for_drikkevannsomraadet_i_landets_kommuner.36692/binary/Status%20for%20drikkevannsomr%C3%A5det%20i%20landets%20kommuner)
- McVicker, J., & JWM. (2007). Specifications of 72-2065A, Digital thermometer, Dual input. Retrieved from <https://elcodis.com/parts/4018591/72-2065A.html#datasheet>
- Melbøe, L., Hirsti, S. R., Gjærum, R. G., & Kane, A. A. Selvstendig liv og smittevern–rettigheter i krysspress under covid-19-restriksjoner for personer med utviklingshemming. *Tidsskrift for omsorgsforskning*, 7(01), 1-12.
- Norconsult\_AS. (2021). *Handlingsprogram fremmedvann og ledningsfornyelse avløp*. Retrieved from <https://sru.sarpsborg.com/api/utvalg/637503/moter/4180626/behandlinger/3/1>
- Nordengen, H. M. (2021). *Affektive responser av musikklytting før, under og etter nasjonal nedstenging våren 2020. En Experience Sampling Method-Studie*. (Master). Universitetet i Oslo, Institutt for musikkvitenskap Humanistiske fakultet.
- Oddvar G. Lindholm, J. T. B. (2011). Store fremmedvannmengder i norske avløpsrensaneanlegg. *Vann*, 01, 5-14. Retrieved from [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011\\_820086.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011_820086.pdf)
- Onstad, M. E. (2021). *Avfall frå samferdsel*. Retrieved from SSB.no: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/avfall/artikler/avfall-fra-samferdse>
- Oredalen, T. J., & Aas, W. (2000). *Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst-Norge* (8257739413). Retrieved from NIVA:
- Panasiuk, O., Hedström, A., Langeveld, J., de Haan, C., Liefting, E., Schilperoort, R., & Viklander, M. (2019). Using Distributed Temperature Sensing (DTS) for Locating and Characterising Infiltration and Inflow into Foul Sewers before, during and after Snowmelt Period. *Water*, 11(8). doi:10.3390/w11081529
- Plósz, B. G., Liltved, H., & Ratnaweera, H. (2009). Climate change impacts on activated sludge wastewater treatment: a case study from Norway. *Water Science and Technology*, 60(2), 533-541.
- Rieckermann, J., & Pazhepurackel, V. (2012). *Distributed Temperature Sensing for Sewer Infiltration Monitoring*. Dübendorf, Switzerland (researchgate): Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG) and Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Dübendorf, Switzerland.
- Romanova, A., Mahmoodian, M., & Alani, A. (2014). Influence and interaction of temperature, H<sub>2</sub>S and pH on concrete sewer pipe corrosion. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 8(6), 621-624.
- Røstum, J., Bruaset, S., Desjardins, A., & Hansen, A. (2013). *Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer*. Retrieved from Hamar: Norsk Vann BA:

- Sallanko, J., & Pekkala, M. (2008). Wastewater temperature decrease in pressure sewers. *Water environment research*, 80(12), 2247-2252.
- Sandberg, M. (2021). *Distributed Temperature Sensing för kontroll av inläckage i spillvattenledningar*. (Master). Uppsala universitet, DIVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet). Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1566246&dswid=9780>
- Schilperoort, R., & Clemens, F. (2009). Fibre-optic distributed temperature sensing in combined sewer systems. *Water Science and Technology*, 60(5), 1127-1134.
- Seksjon for energi-, m.-o. t. (2021, 13/10.2021). Kommunalt avløp. Retrieved from SSB, <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunalt-avlop>
- Selker, F., & Selker, J. S. (2018). Investigating water movement within and near wells using active point heating and fiber optic distributed temperature sensing. *Sensors*, 18(4), 1023.
- Selvik, J. R. (2019). Befolkningsstatistikk og vannområder En tilrettelegging av data for bruk i vannforvaltning. *NIVA-rapport*.
- Simperler, L. (2015). *Impact of Thermal Use of Wastewater in a Sewer on the Inlet Temperature of a Wastewater Treatment Plant*. (Master's Thesis). University of Natural Resources and Life Sciences Wien, Lincoln University New Zealand, BOKU.
- Sivertsen, E., Bomo, A., & SINTEF. (2016). *Norske Tall for Vannforbruk Med Fokus på Husholdningsforbruk (Figures on Water Use in Norwegian Households)*. Retrieved from Va-kompetanse.no:
- Slørdal, L., & Larssen, S. (2001). Vedfyring og svevestøv. Beregninger i Oslo vinteren 1998/1999. *NILU OR*.
- Solberg, L. (2017). *Deteksjon av fremmedvann i separatsystemer med isotoper*. (Msc Master thesis). NTNU, Institutt for bygg og miljøteknikk.
- Steinset, T. A. (2021). *Hyttesalget på fjellet i taket i pandemiperioden*. Retrieved from SSB: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/eiendom/artikler/hyttesalget-pa-fjellet-i-taket-i-pandemiperioden>
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99-103.
- Thiyagarajan, K., Kodagoda, S., Ranasinghe, R., Vitanage, D., & Iori, G. (2018). Robust sensing suite for measuring temporal dynamics of surface temperature in sewers. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.
- Tomperi, J., Koivuranta, E., Kuokkanen, A., & Leiviskä, K. (2017). Modelling effluent quality based on a real-time optical monitoring of the wastewater treatment process. *Environmental technology*, 38(1), 1-13.
- Torres, M. F. (2013). *FREMMEDVANN I OSLO KOMMUNE. "Evaluering av fremmedvannets volum, kilder og sammenheng"*. (Master thesis). NMBU, Brage.
- Tveito, O., Førland, E., Heino, R., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Dahlström, B., . . . Laursen, E. V. (2000). *DNMI-REPORT*. Retrieved from Blindern Oslo:
- VA\_Miljø-blad. (2017). *Fremmedvann i avløpsledninger*. Retrieved from VA-blad.no: <https://www.va-blad.no/fremmedvann-i-avlopsledninger/>
- Vann og vannmiljø, A. k. (2018). *Kommunedelplan vann*. Asker: Plan og investering, Asker kommune Retrieved from Vann og vannmiljø Asker kommune, <https://www.asker.kommune.no/globalassets/vann-og-avlop/hovedplan-v1.6.pdf>
- Vann og vannmiljø, A. k. (2021). *Temaplan for vann og vannmiljø*. Asker: Plan og investering, Asker kommune Retrieved from Vann og vannmiljø Asker kommune, <https://www.asker.kommune.no/globalassets/vann-og-avlop/hovedplan-v1.6.pdf>
- Vatn, S. (2021). *Resultatrapport för VASS Drift 2020*. Retrieved from svensktvatn.no, Bromma:
- VEAS. (2019). *Årsrapport 2019*. Retrieved from <https://veas.nu/om/arsrapporter-og-publikasjoner>, Slemmestad: [https://www.veas.nu/global/upload/rBPPQ/files/210569%20%C3%85rsrapport%202020\\_web-pages%20\(1\).pdf](https://www.veas.nu/global/upload/rBPPQ/files/210569%20%C3%85rsrapport%202020_web-pages%20(1).pdf)
- VEAS. (2020). *Årsrapport 2020*. Retrieved from <https://veas.nu/om/arsrapporter-og-publikasjoner>, Slemmestad:

- Vråle, L. (1984). *Avløpsmengder tilført påslippene ved SRV i 1983 og 1984*. Retrieved from NIVA Open Acces Archive: [https://niva.brage.unit.no/niva-xmloi/bitstream/handle/11250/204068/1713\\_200dpi.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://niva.brage.unit.no/niva-xmloi/bitstream/handle/11250/204068/1713_200dpi.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Vråle, L. (1985). *Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger fra Sydskogen-feltet og ANØ-området*. Retrieved from NIVA, Buskerud:
- Vråle, L. (1987). *Forurensningsmodell for avløpsvann fra boliger*. Retrieved from Oslo:
- Vråle, L. (1994). Kriterier for evaluering av avløpsnettets funksjonsdyktighet. In: Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord.: Styrings-gruppe 4 Ledningsnett, sekretær Christen Ræstad.
- Vråle, L. (2011). Fremmedvann– Et stort problem for norske ledningsnett og renseanlegg. *Vann (Norsk Vannforening)*, 46(3), 408-418.
- Vråle, L., & Dupont, R. A. (2012). Spesifikt vannforbruk i Sydskogen-Røyken 1981 og 2010. *Vann*, 47(2), 170-181.
- Ward, M., Corsi, R., Morton, R., Knapp, T., Apgar, D., Quigley, C., . . . Parker, W. (2011). Characterization of natural ventilation in wastewater collection systems. *Water environment research*, 83(3), 265-273.
- Wedum, K. (1984). Ammonium som forurensningsparameter. (1661), 54. Retrieved from [https://niva.brage.unit.no/niva-xmloi/bitstream/handle/11250/203921/1661\\_72dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://niva.brage.unit.no/niva-xmloi/bitstream/handle/11250/203921/1661_72dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Welch, A., Fransen, H., Jenab, M., Boutron-Ruault, M., Tumino, R., Agnoli, C., . . . Engeset, D. (2009). Variation in intakes of calcium, phosphorus, magnesium, iron and potassium in 10 countries in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(4), S101-S121.
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (H. Ødegaard Ed. 2 ed.): Norsk vann.
- Øvrevik, O. S. (2018). *Fra gråvann til varmtvann*. OsloMet-storbyuniversitetet. Institutt for bygg-og energiteknikk,

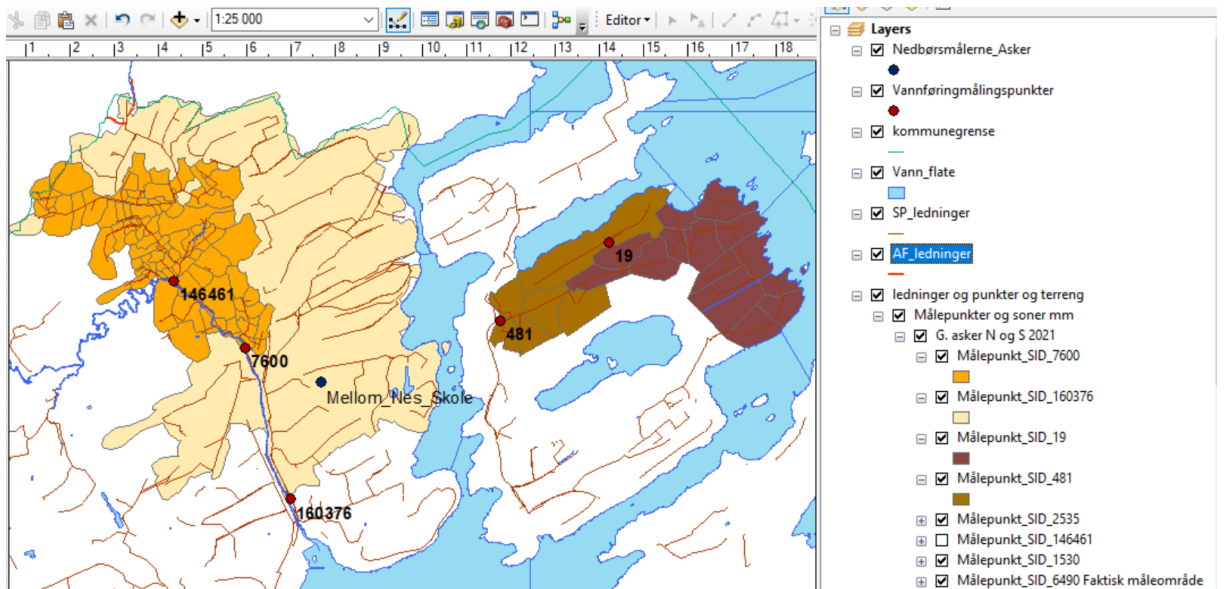
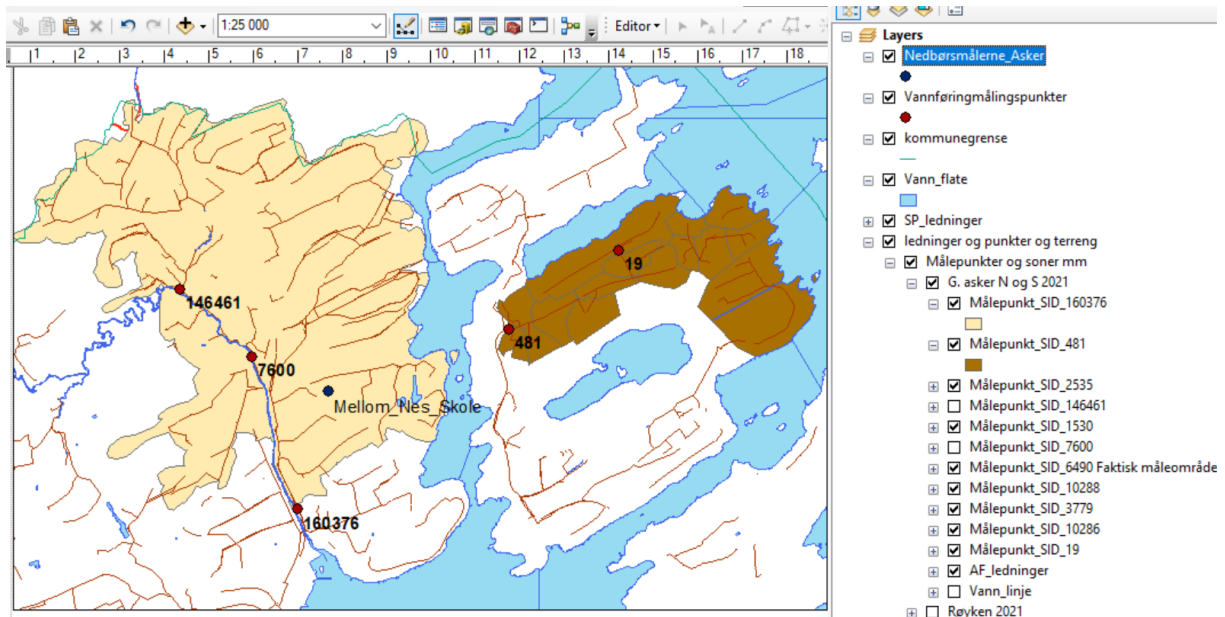
## Vedlegg

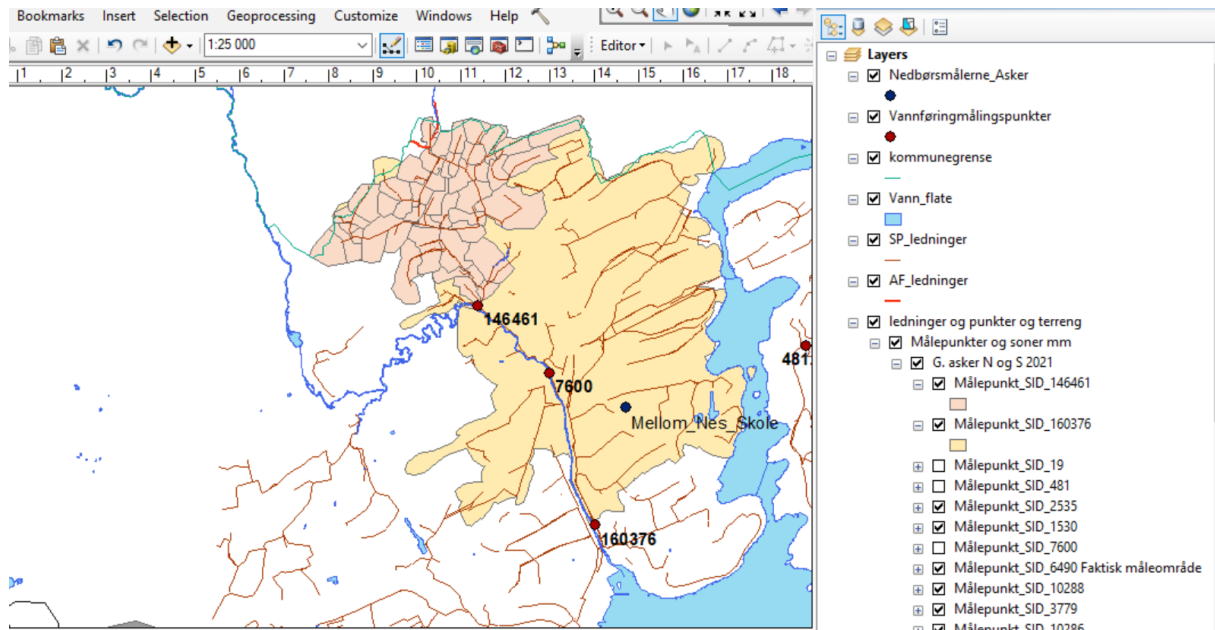
### Del 1

#### Avløpssoner

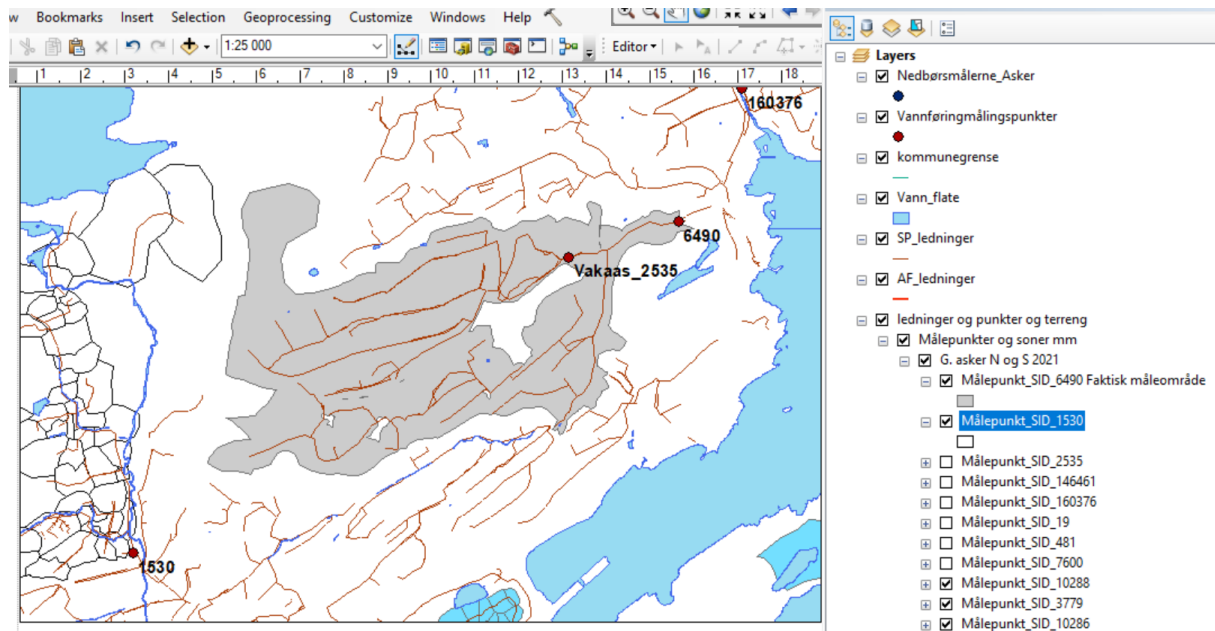
481 og 160376:





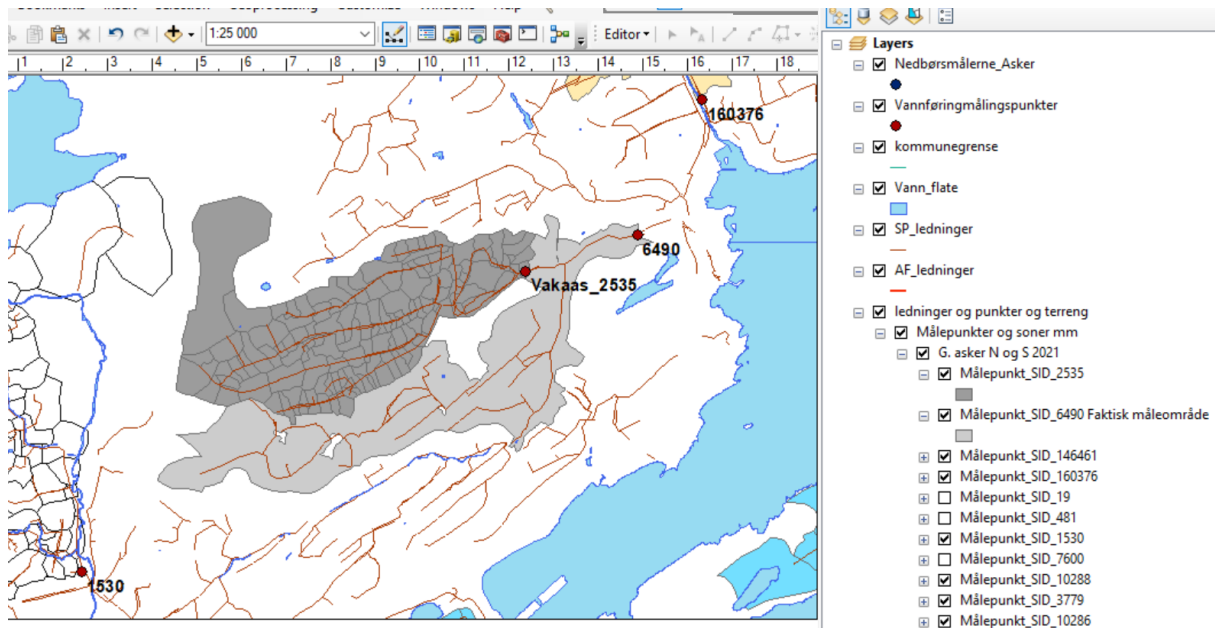


6490:

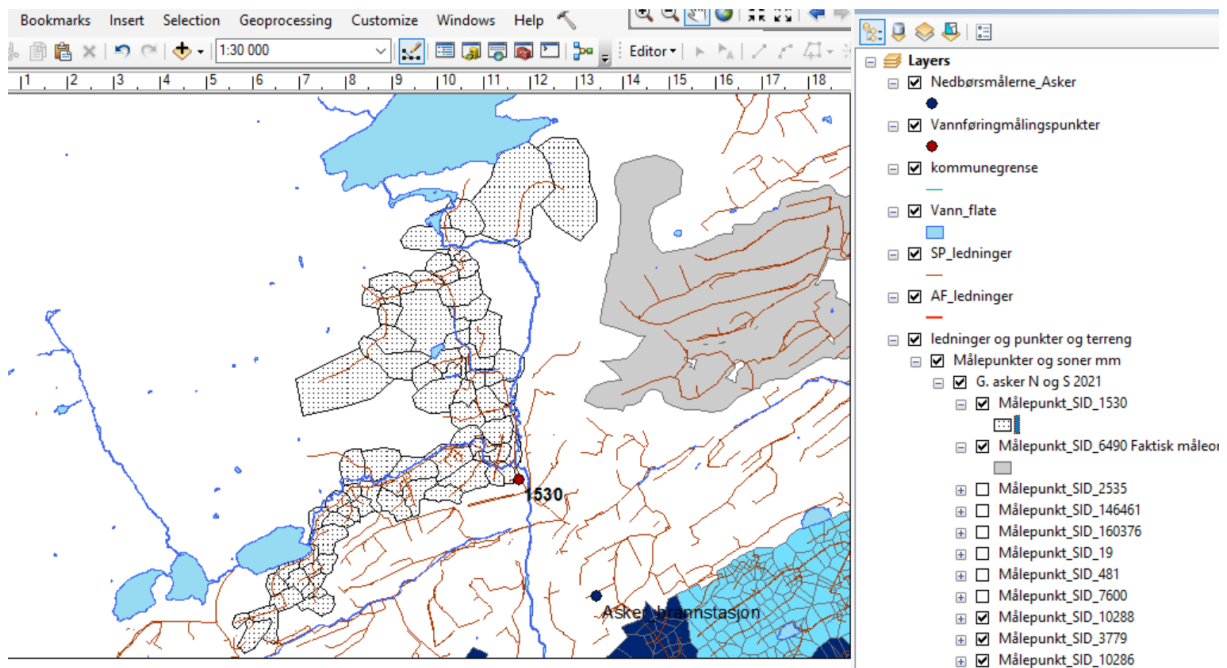


2535:

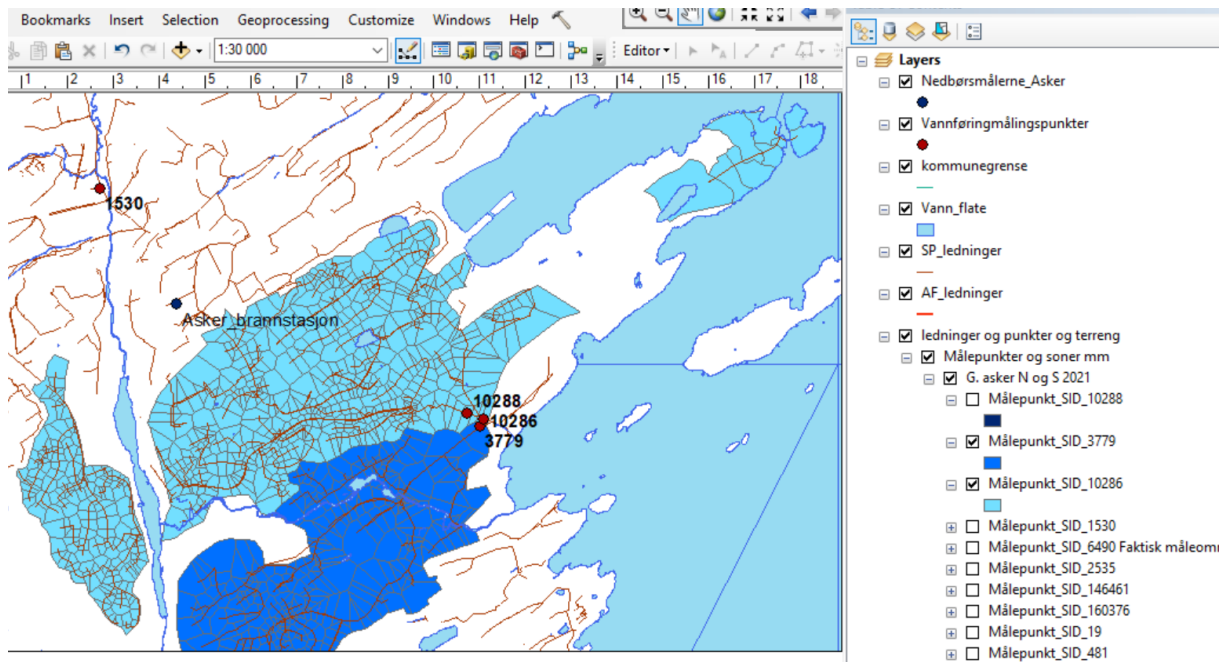




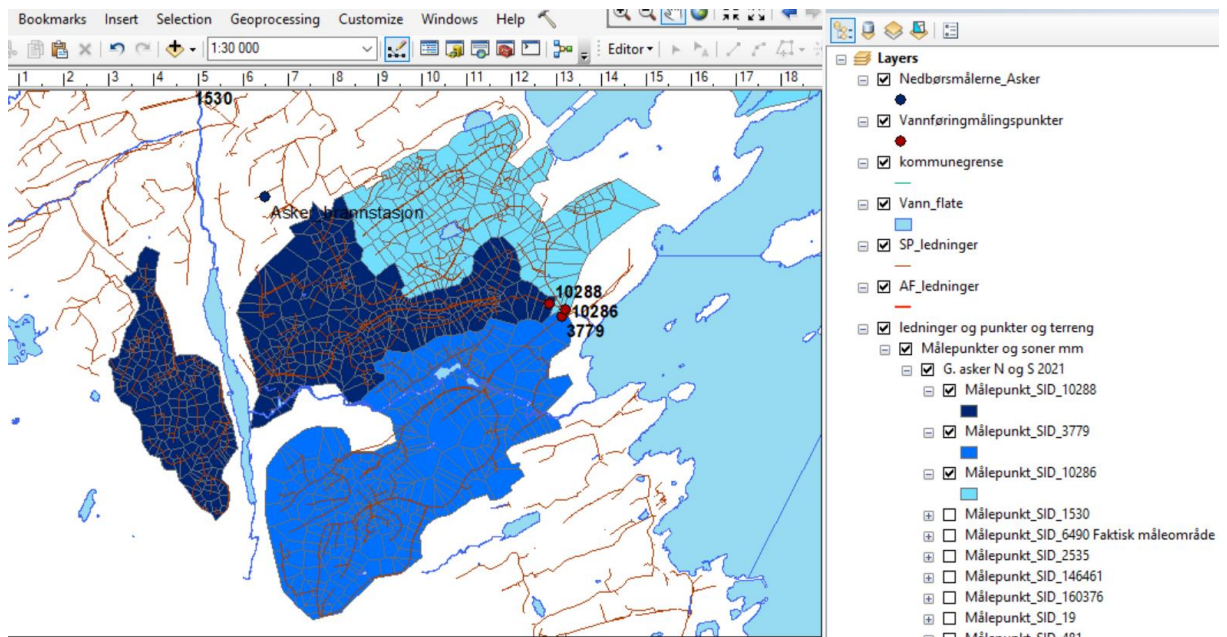
1530:



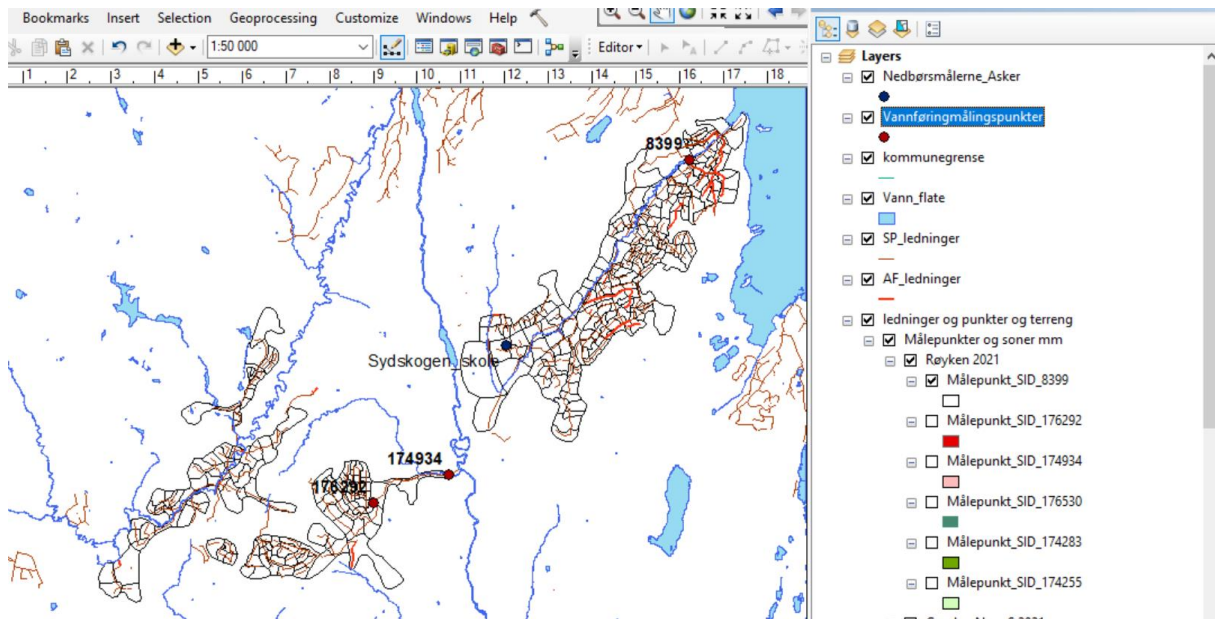
10286:



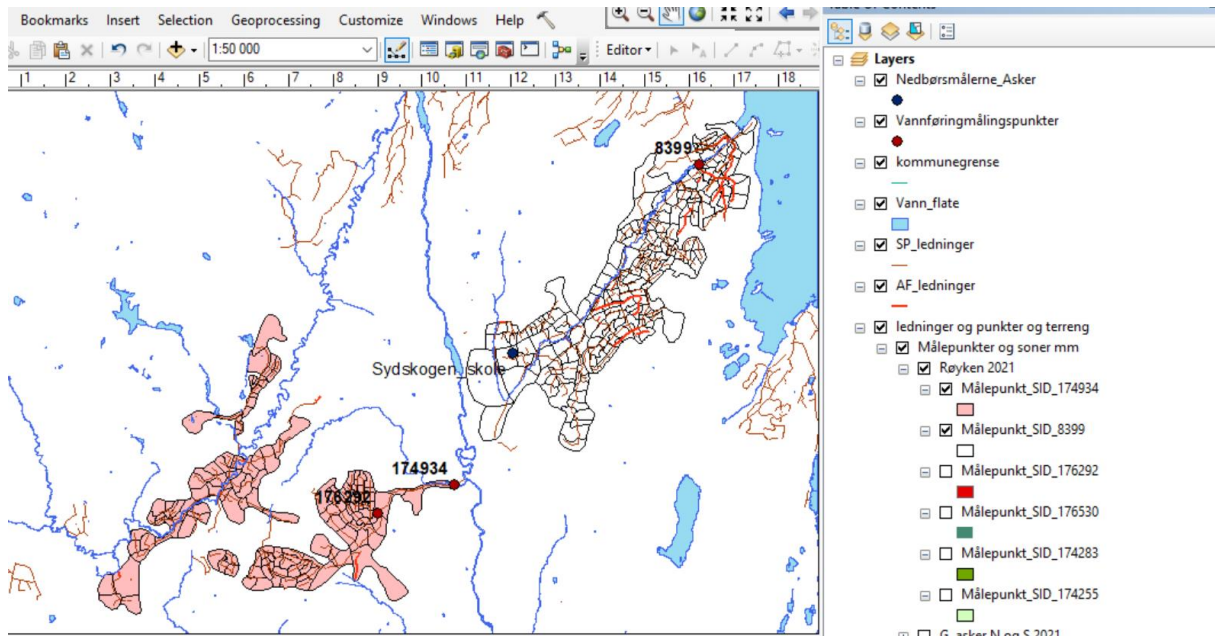
10288 og 3779:



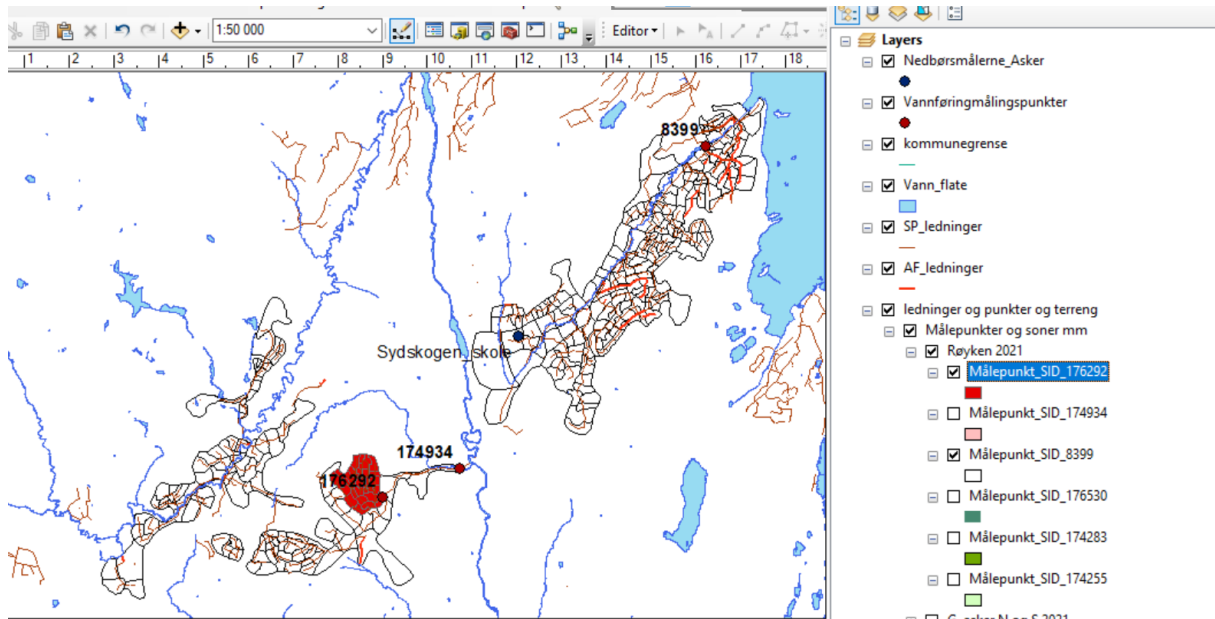
8399:



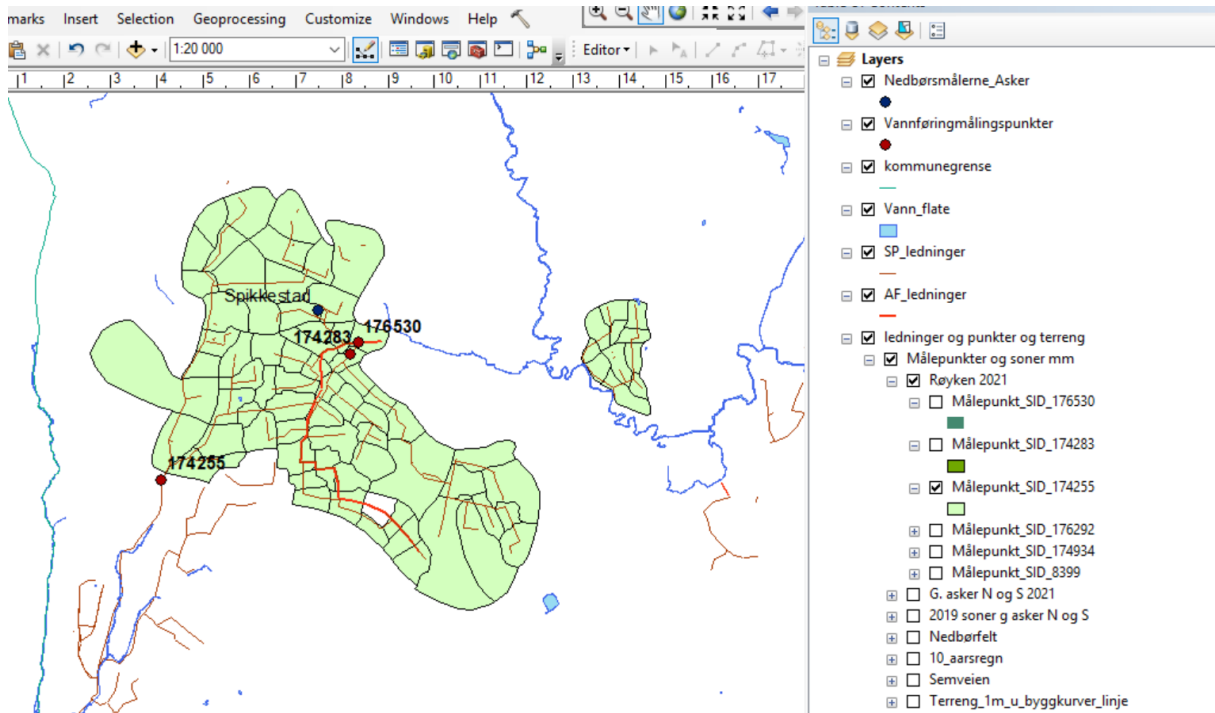
174934:



176292:

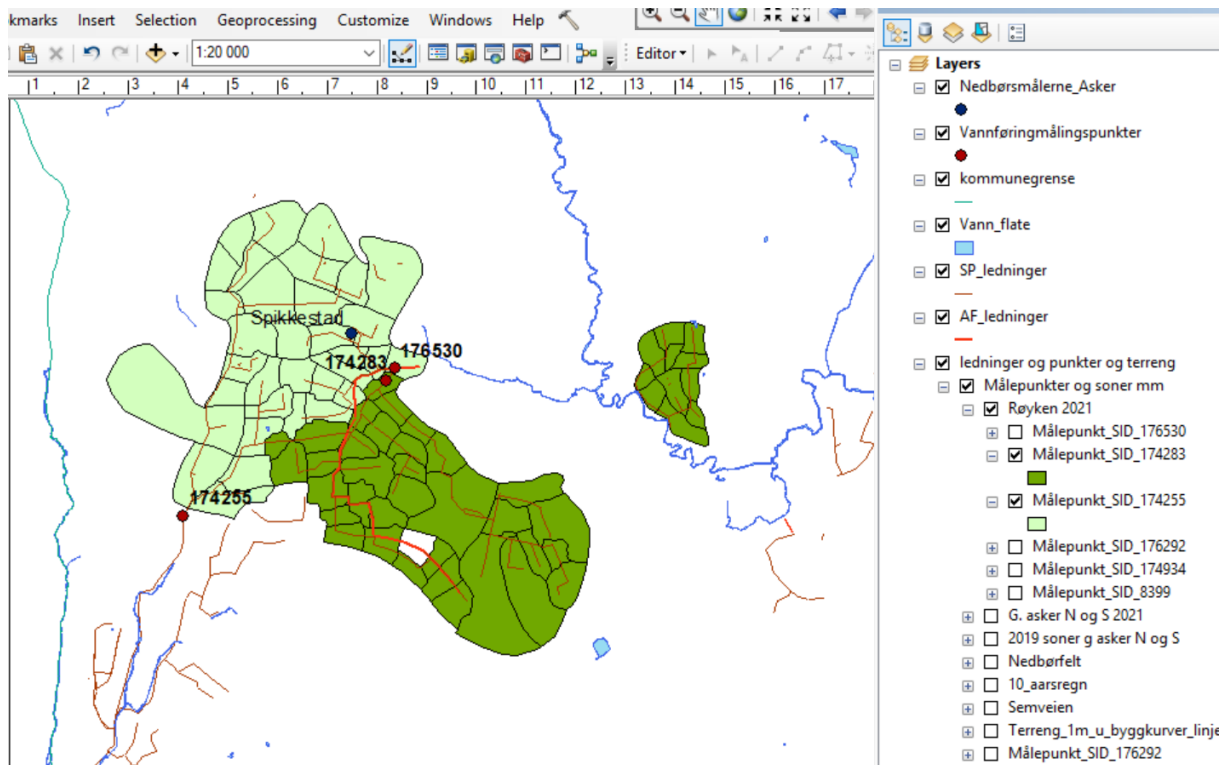


174255:

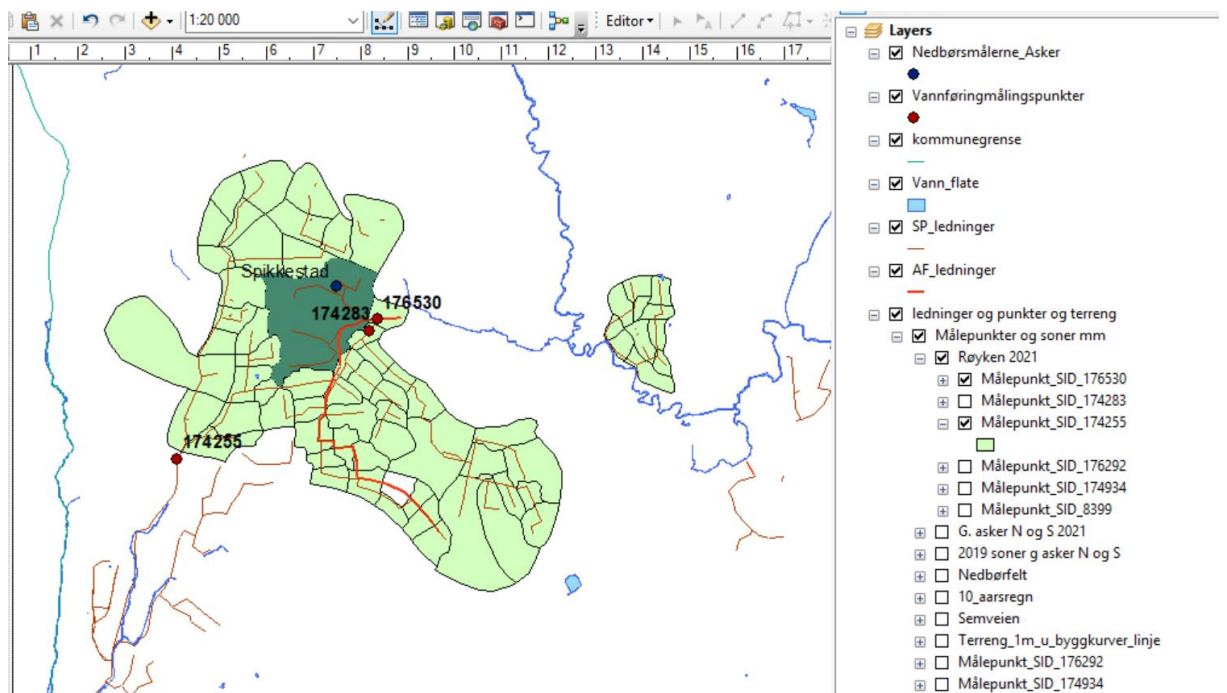


174283:

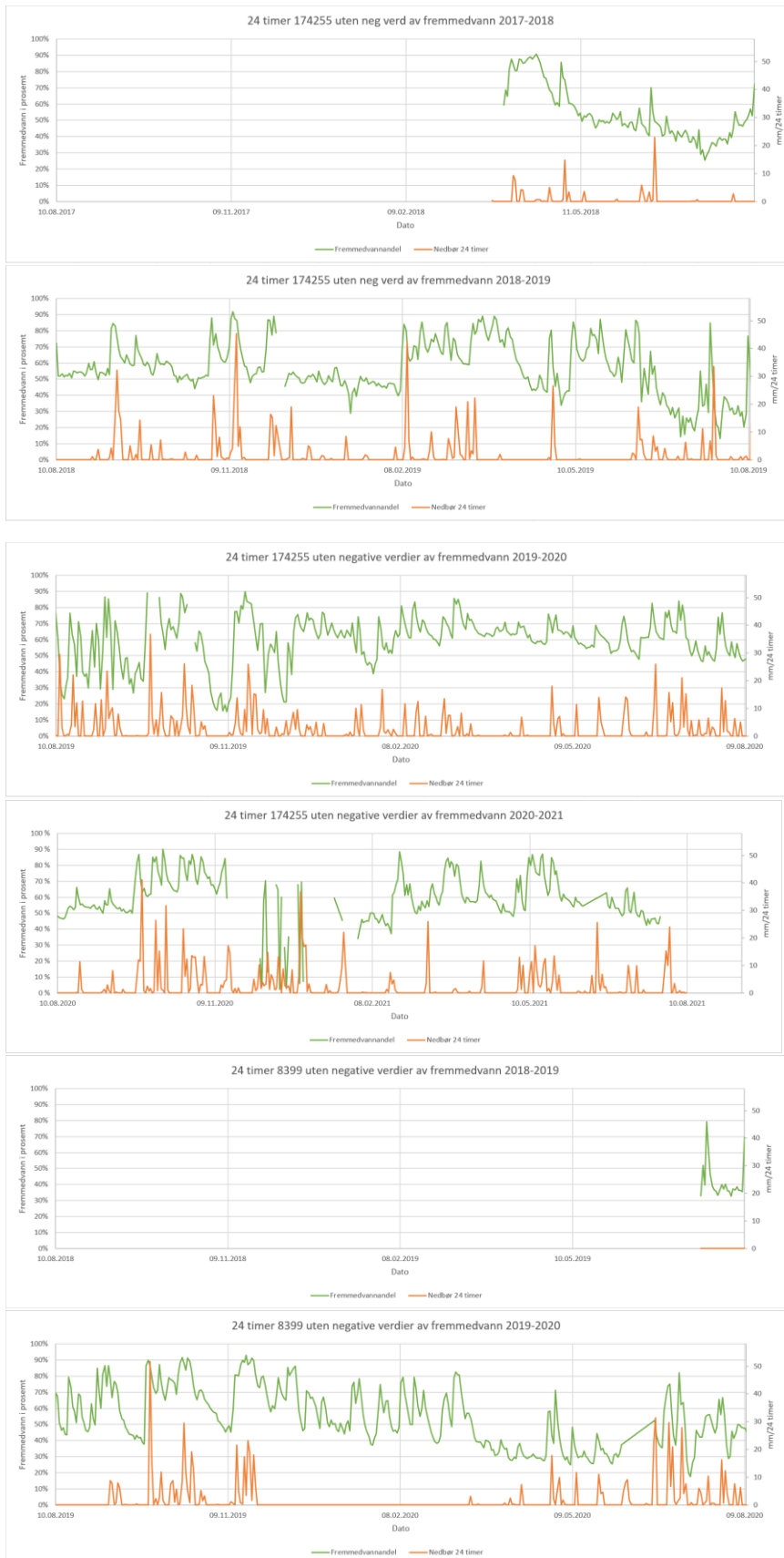


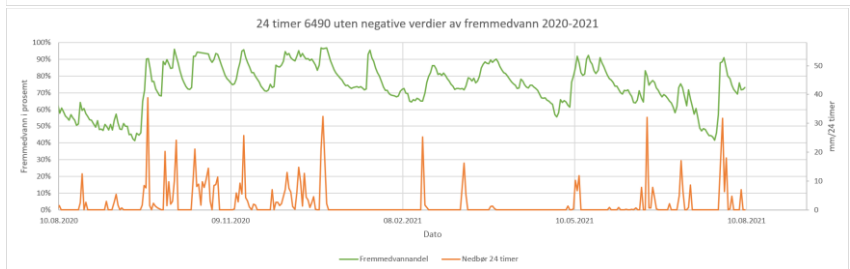
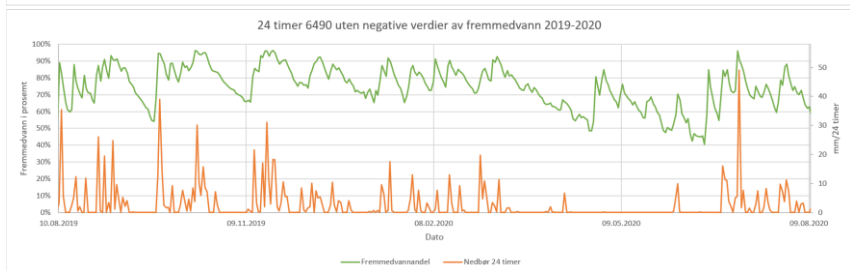
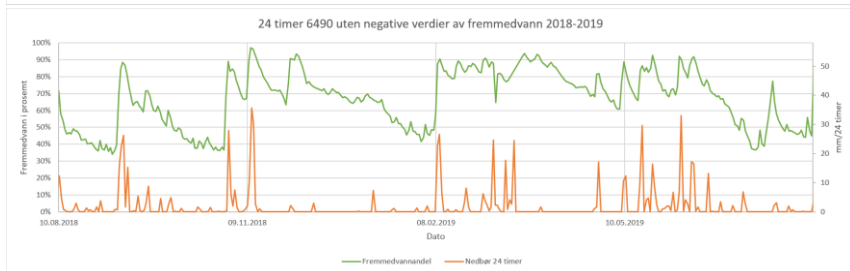
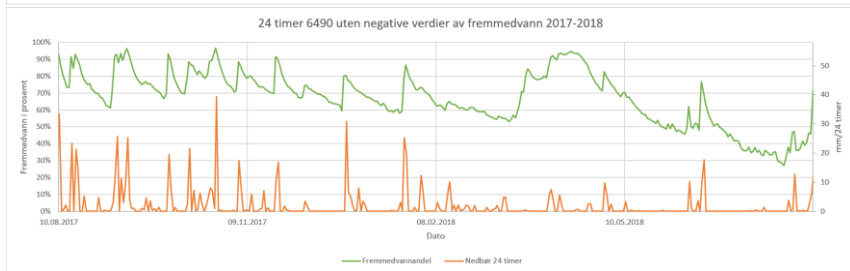
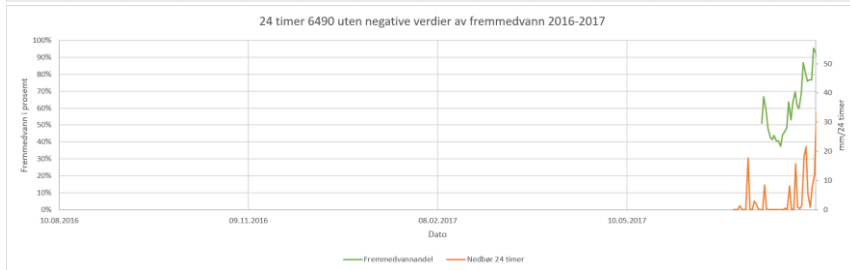
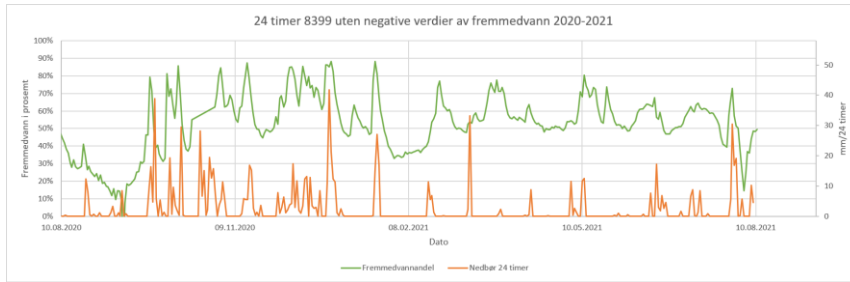


176530:



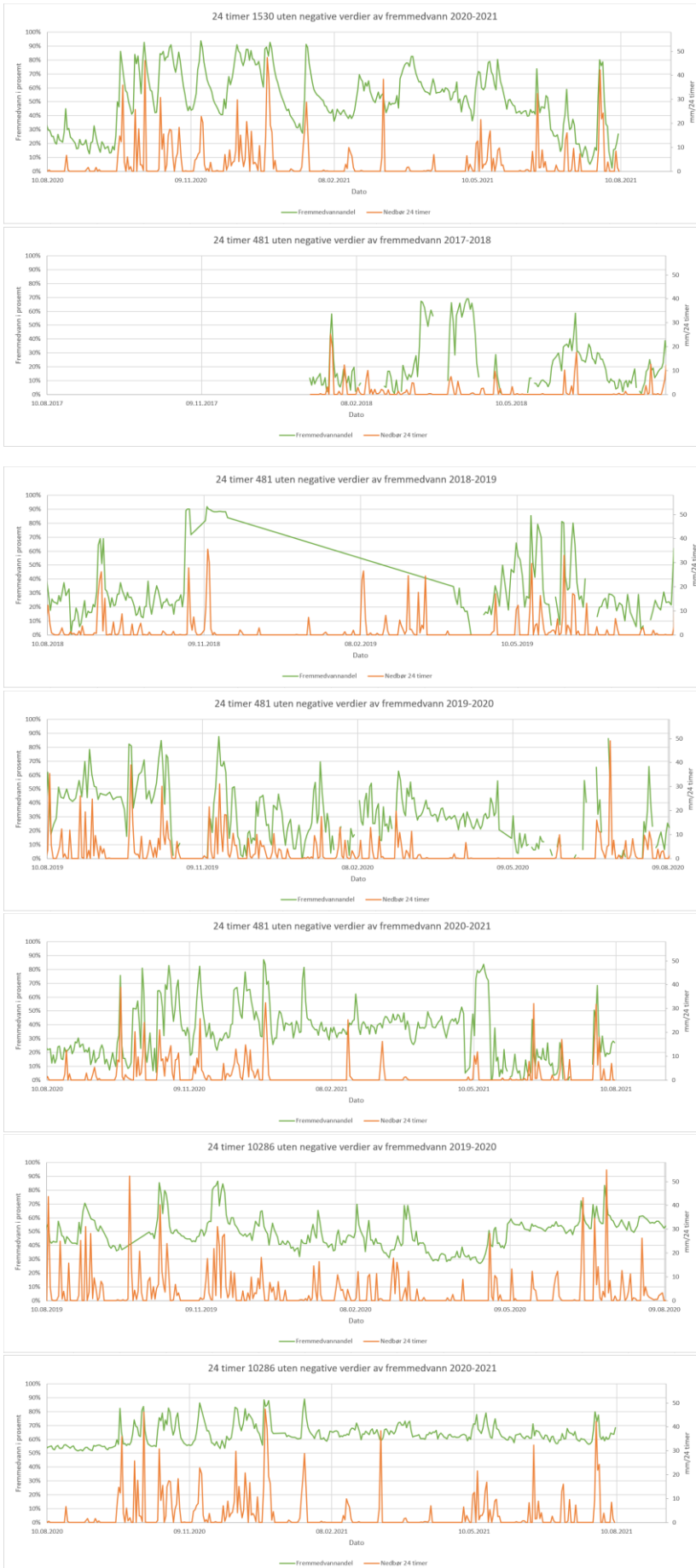
## Del 2, Fremmedvann og nedbør resterende drenerende målepunkter



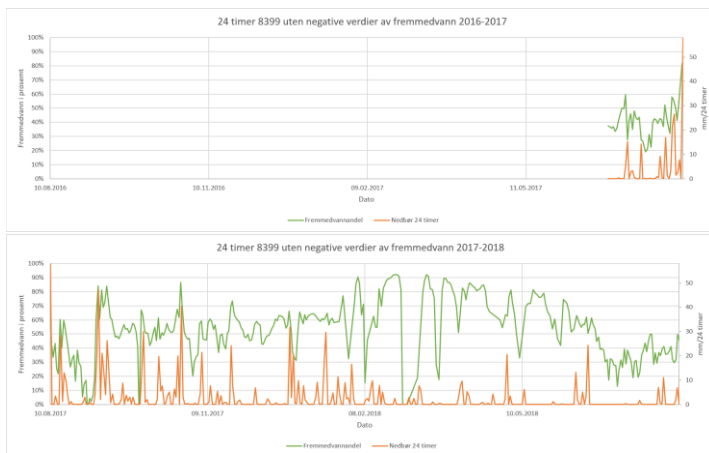








Feil tittel (skulle vært 10286):

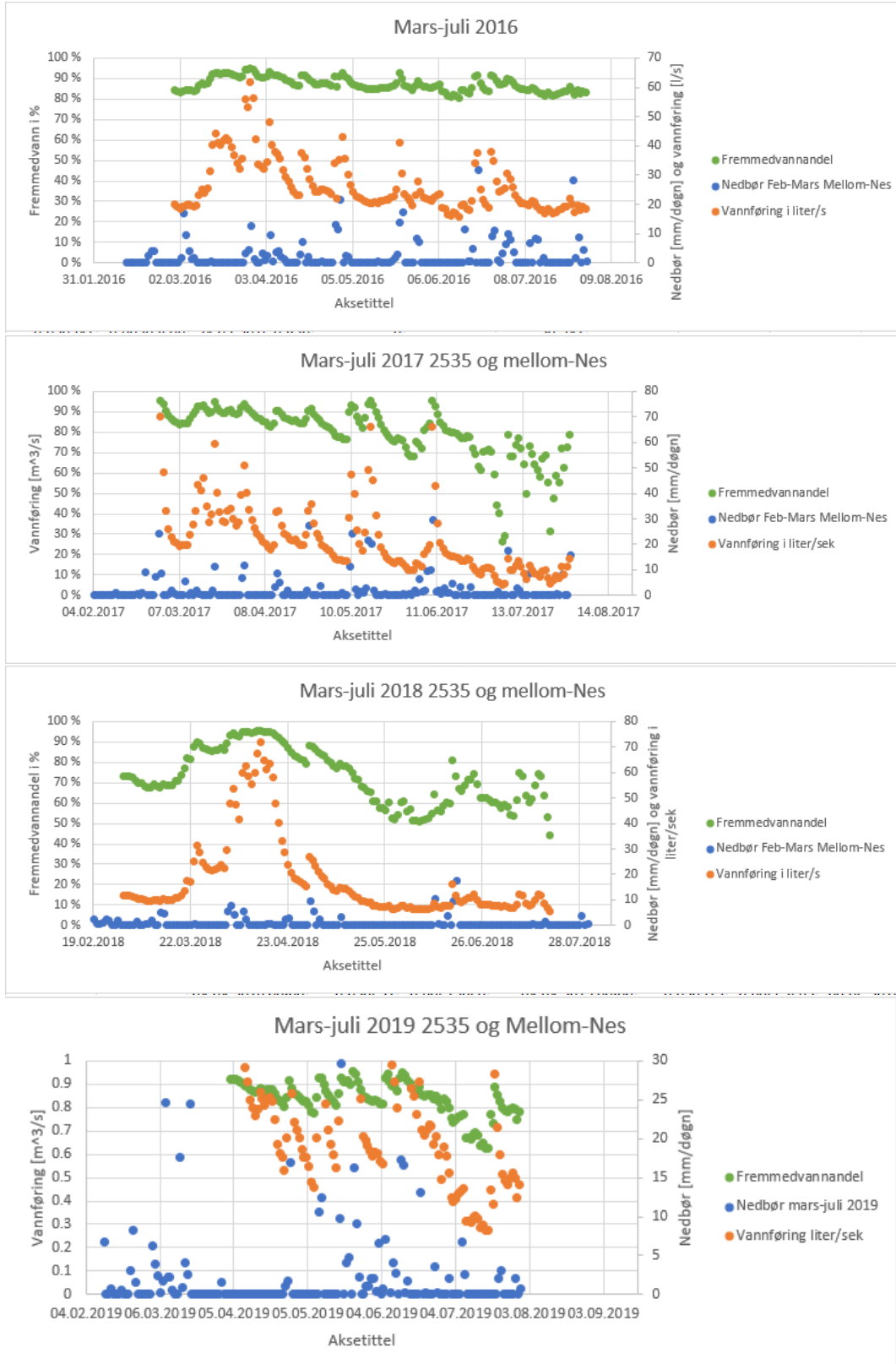


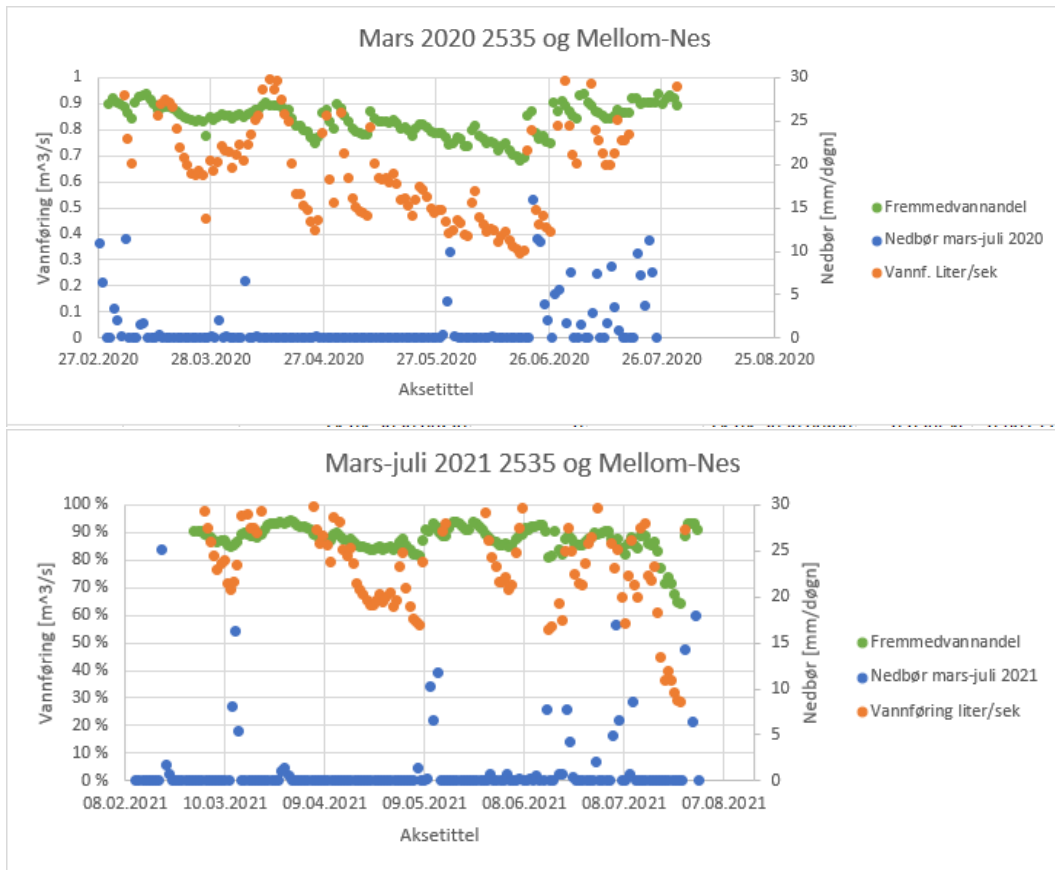
Del 3, Diverse figurer som ikke fikk plass

Del 1, Oversikt over utregning av årsspesifikt forhold mellom korrelasjonsmetoden og vannbalanse-metoden

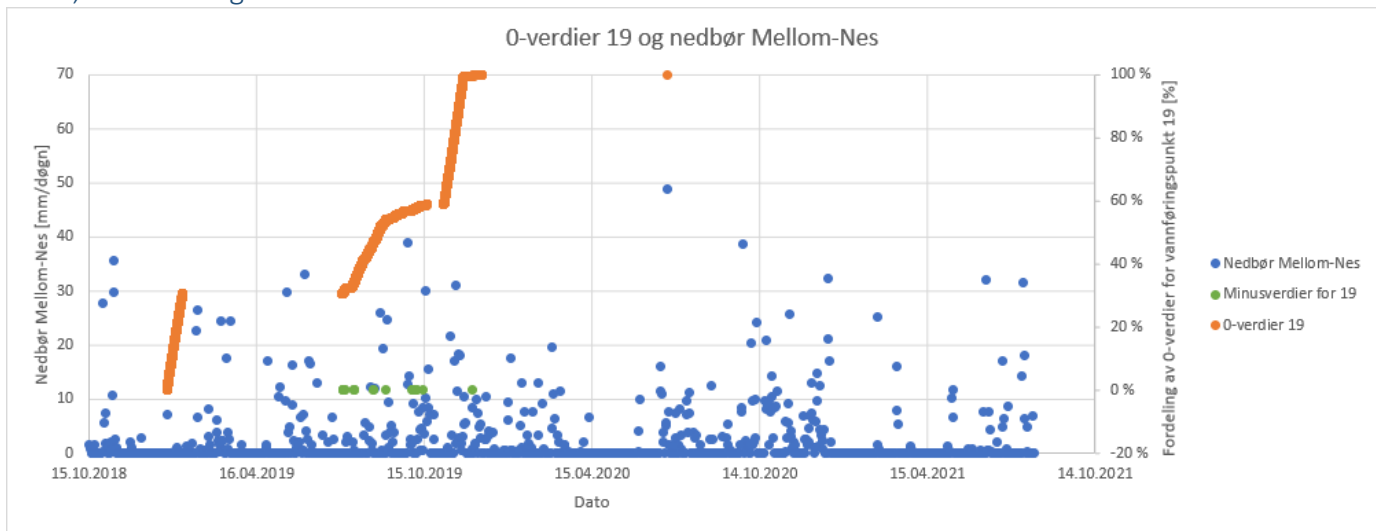
	2020-2021		2019-2020		2018-2019		2017-2018		
	Fremmedvannandel	Temperatursnitt	Fremmedvannandel	Temperatursnitt	Fremmedvannandel	Temperatursnitt	Fremmedvannandel	Temperatursnitt	
160376	75.7 %	11.44	62.8 %	11.00	53.8 %	11.51	54.8 %	11.48	
6490	82 %	8.91	82 %	8.94	77 %	9.06	77 %	8.98	
10286	65.5 %	11.84	53.2 %	11.81	52.9 %	12.15	65.3 %	12.41	
3779	71 %	11.31	62 %	11.02	59 %	11.14	67 %	10.79	
Korrelasjon [korrelasjon, R^2]	-0.862	0.743	-0.998	0.997	-0.986	0.973	-0.734	0.538	
	-1		-1		-1		-1		
Ukorrelasjon	0.1382		0.0017		0.0138		0.2665		
Fremmedvannandel med vannbalanse	0.7153		0.6233		0.6685		0.5979		
Forhold mellom vannbalanse og korrelasjonsmetode	1.0102		1.0104		1.1297		0.8904		
	0.9899		0.9897		0.8852		1.1231		

Del 2, uferdige figurer fra nedstengning i 2020 for 2535.





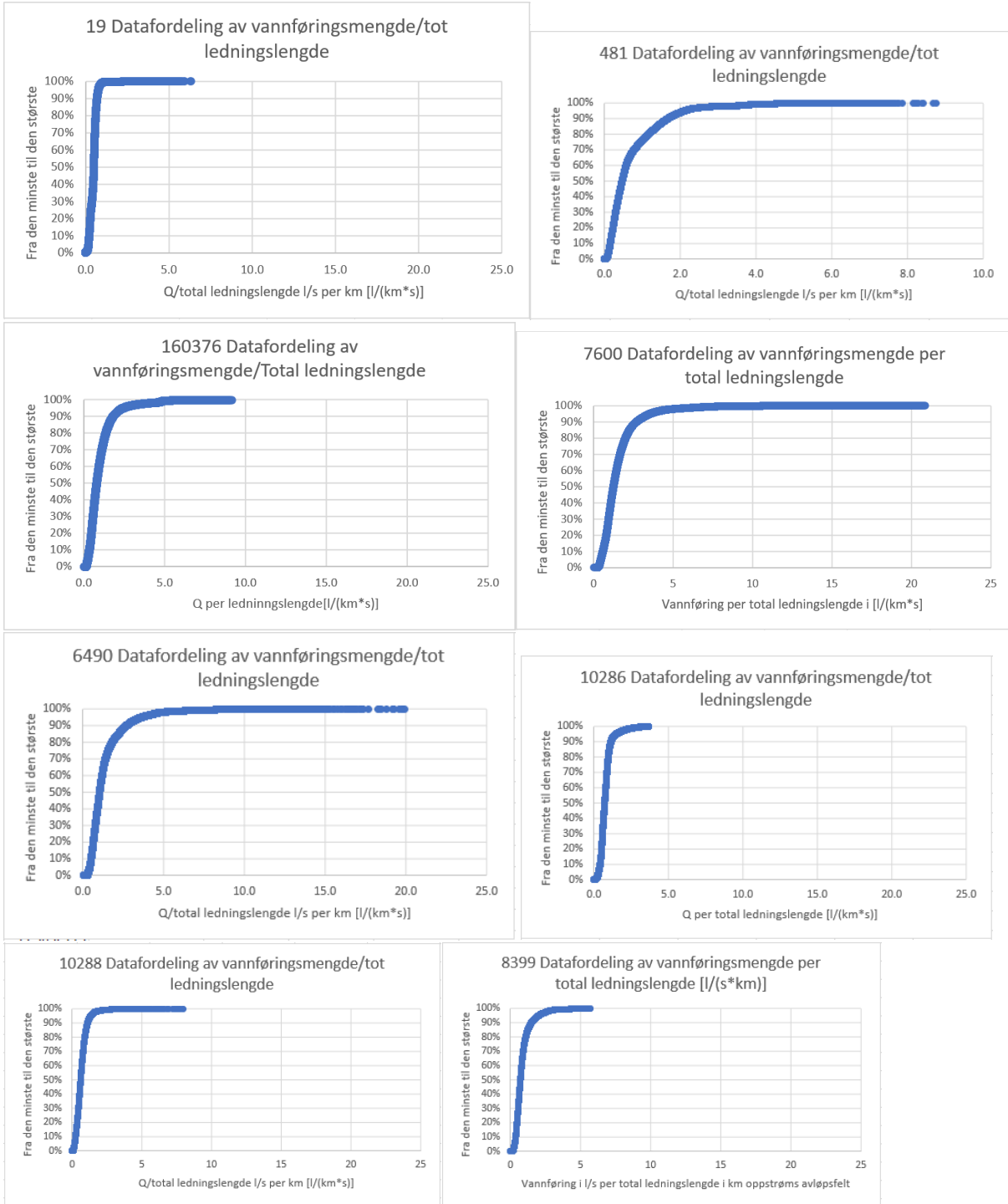
### Del 3, 0-verdier og minus-verdier

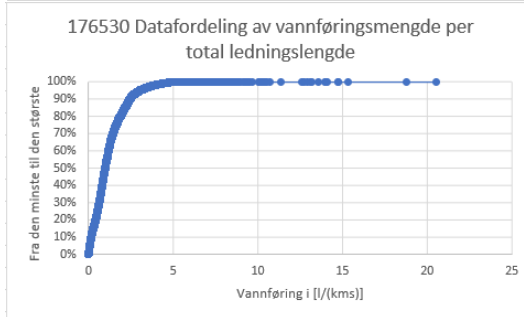
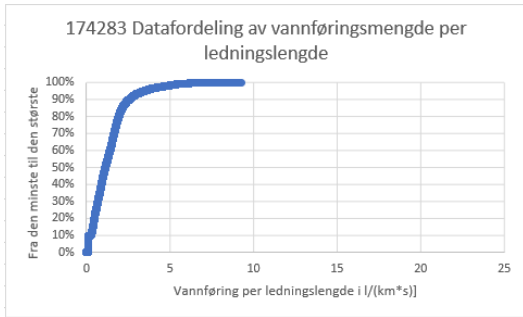
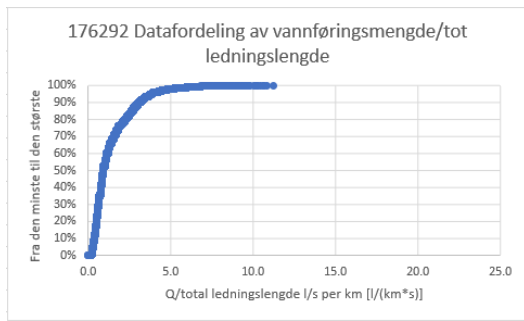
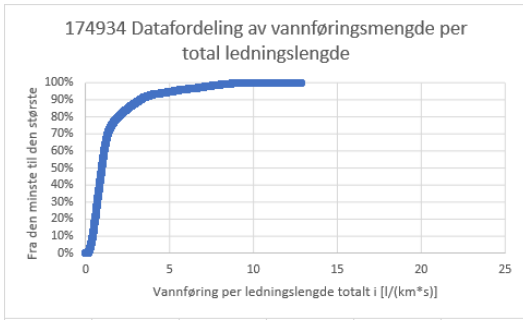


Minusverdier og 0-verdier for vannføring i 19, plottet med nedbør for Mellom-Nes (Nesbru) mellom oktober 2018 og august 2021

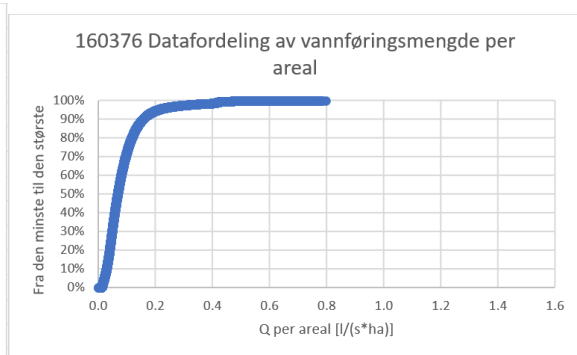
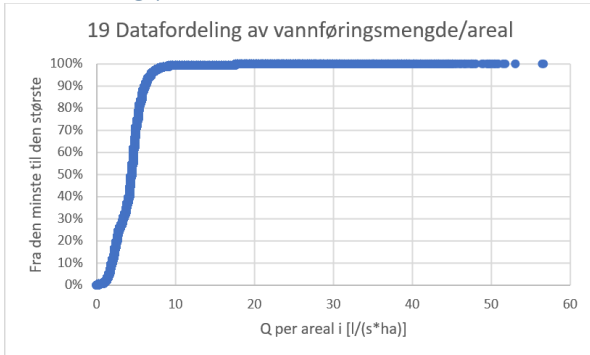
Del 4, fordeling av vannføring per total ledningslengde, areal og pe.

Vannføring per ledningslengde:

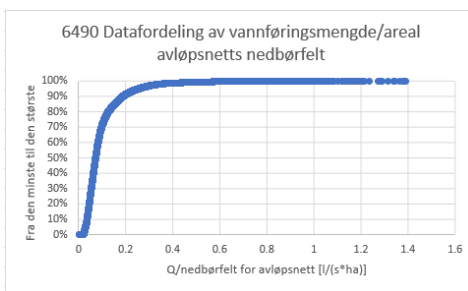
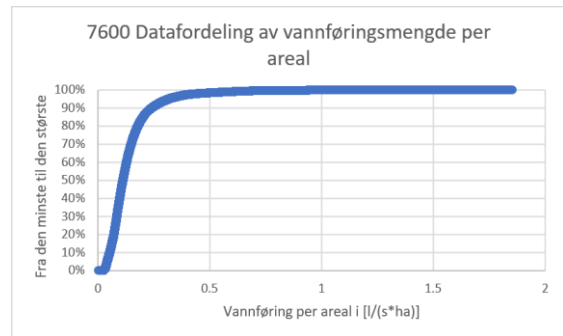




Vannføring per areal:

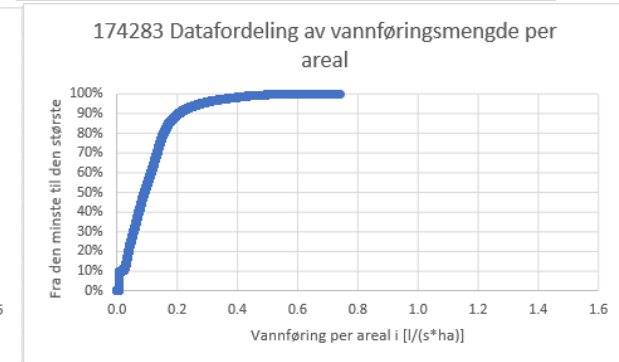
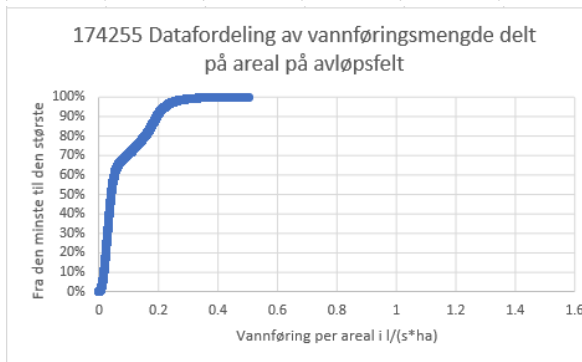
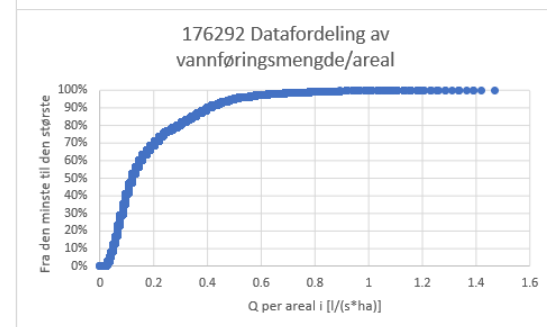
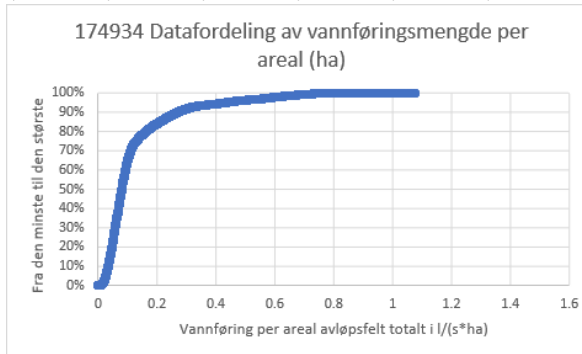
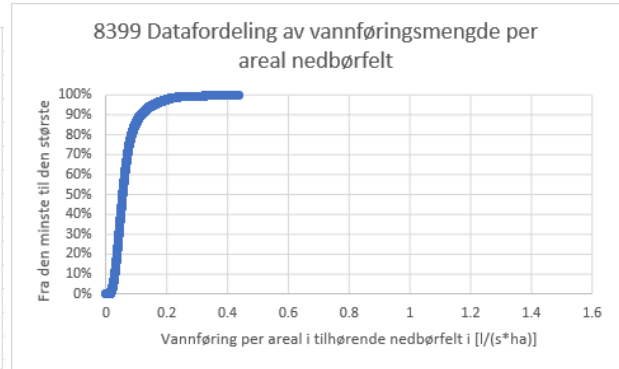
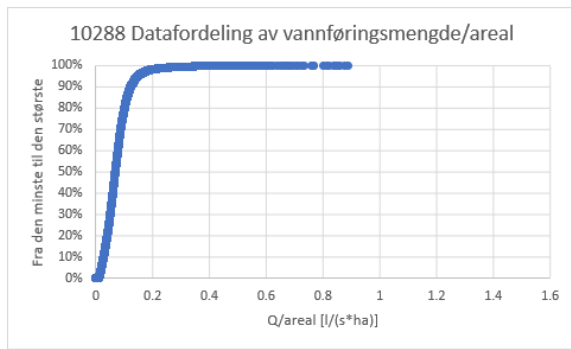


Merk x-aksen

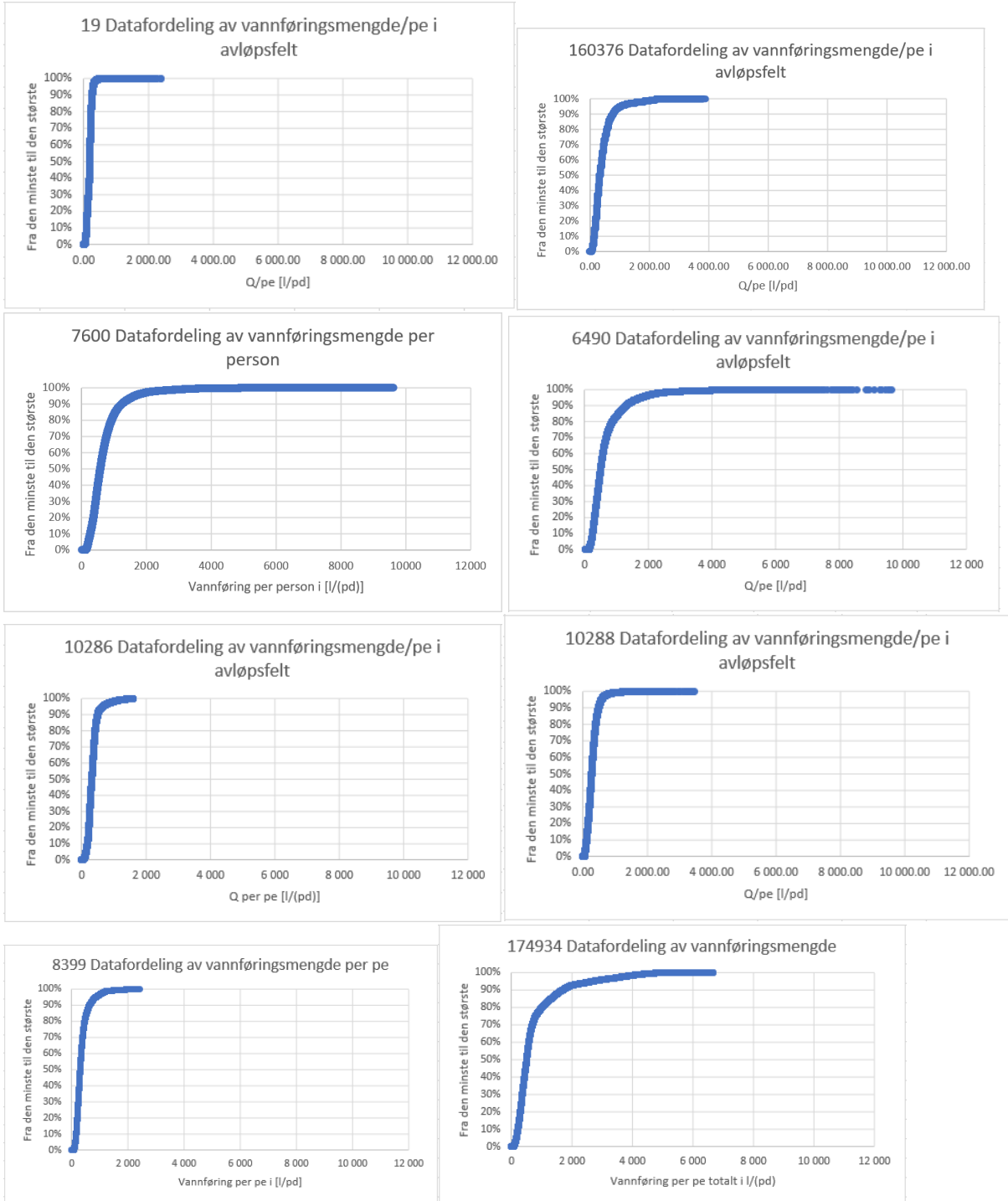


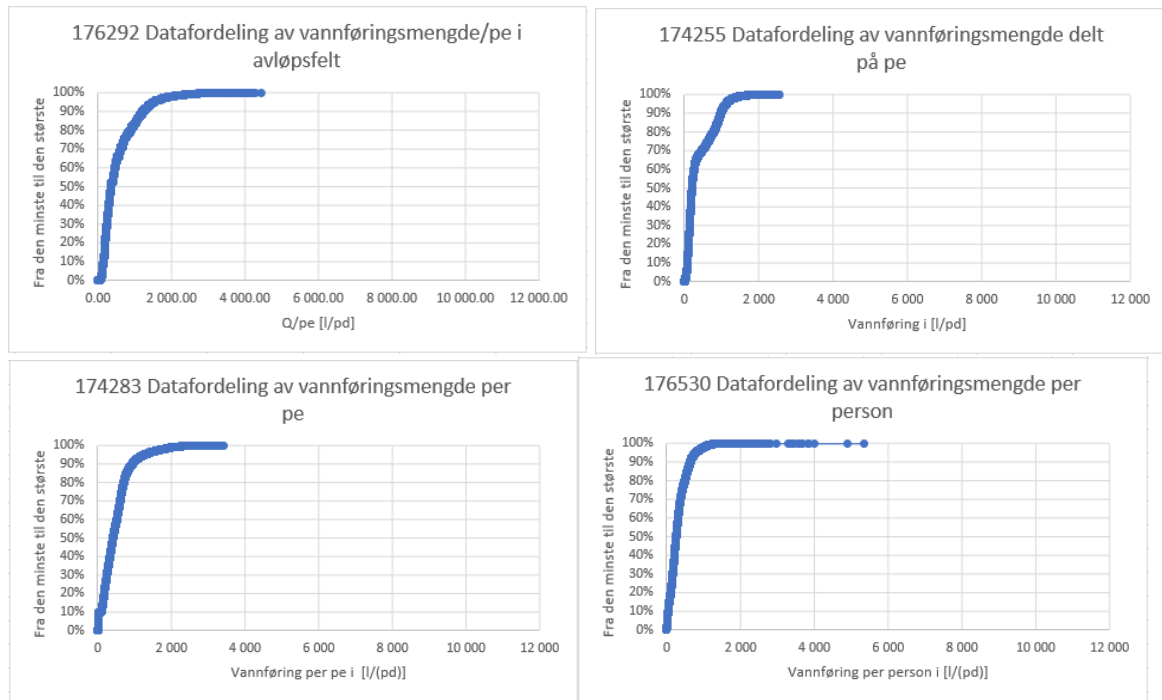
Merk x-aksen



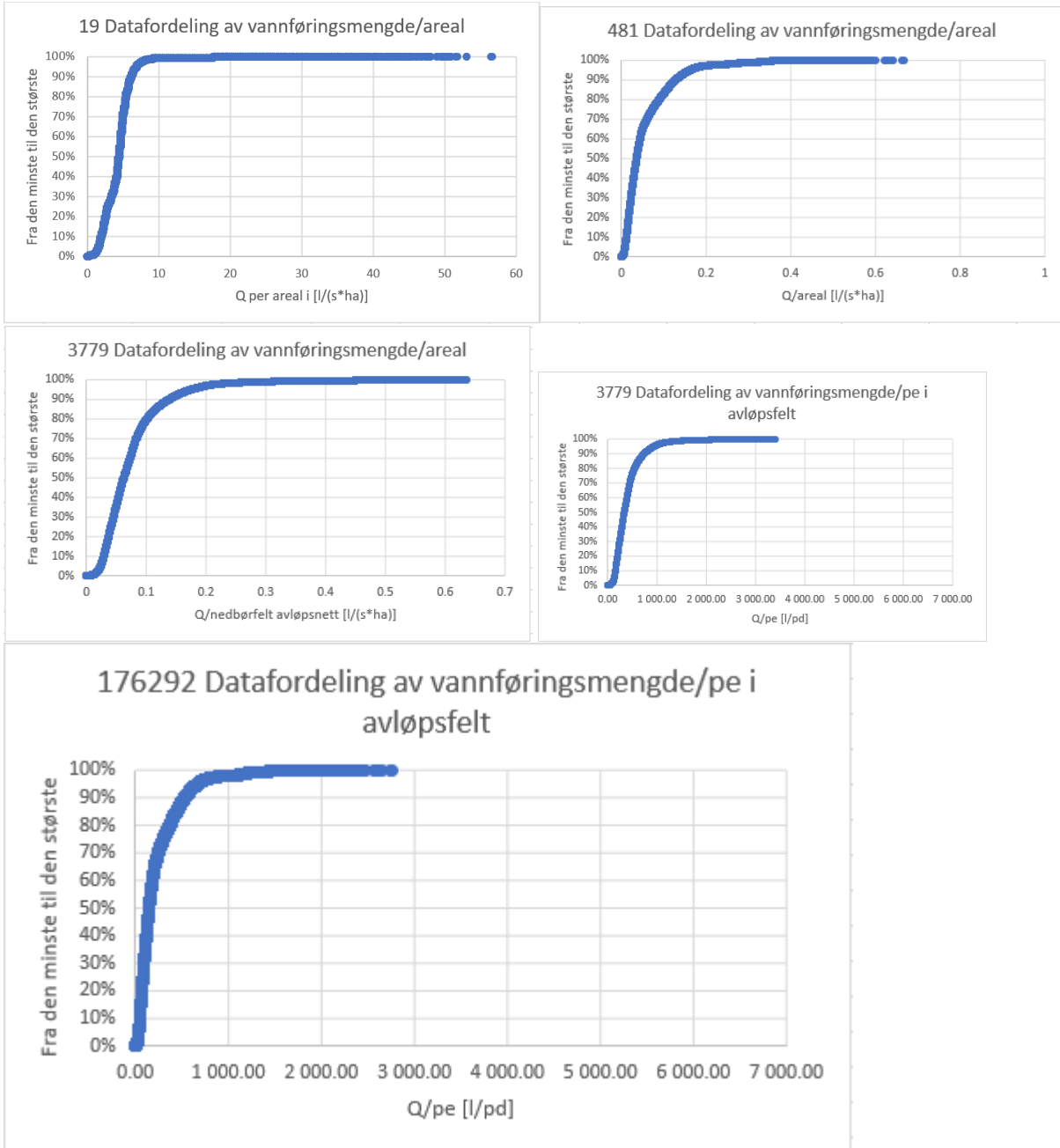


## Vannføring per pe:

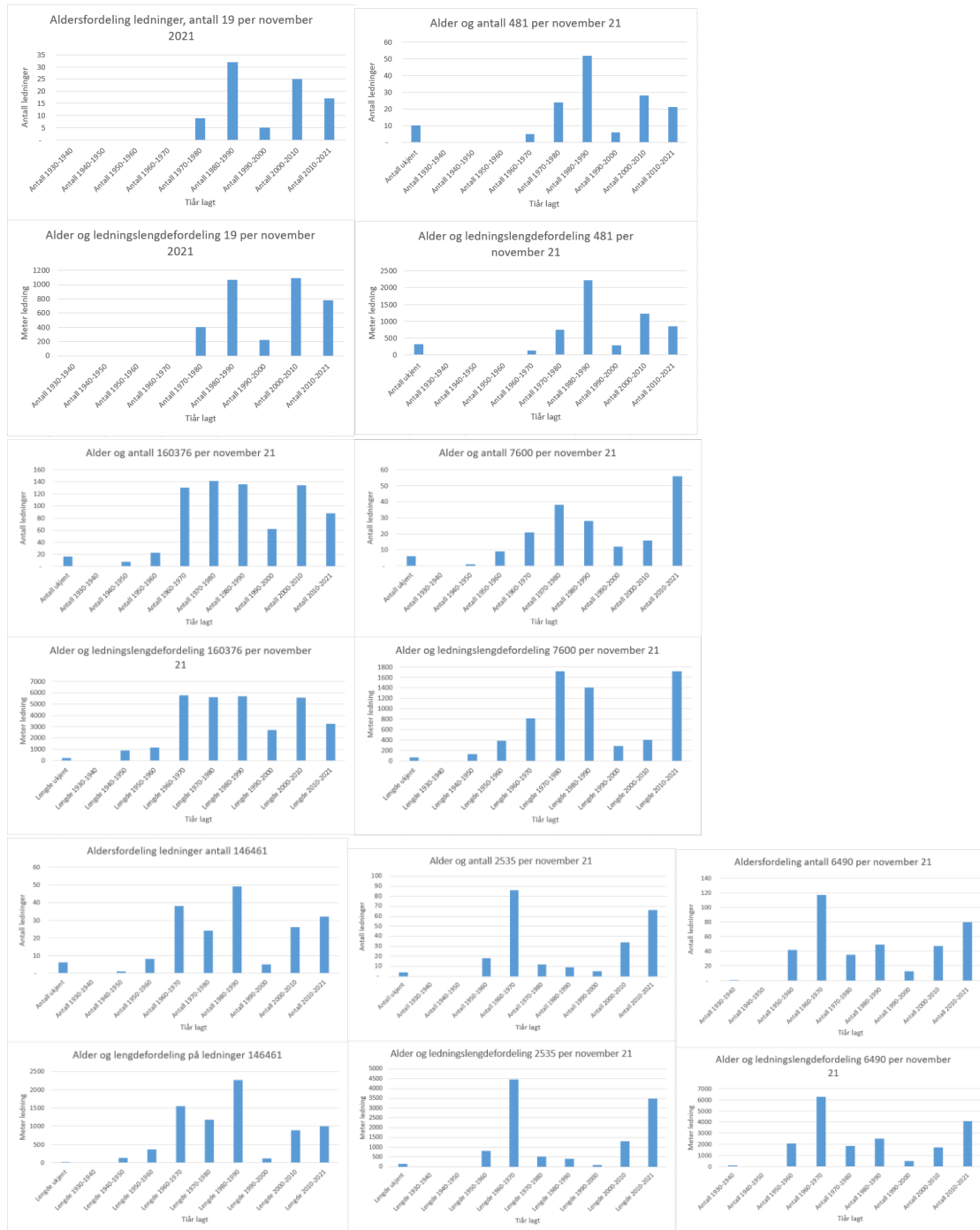


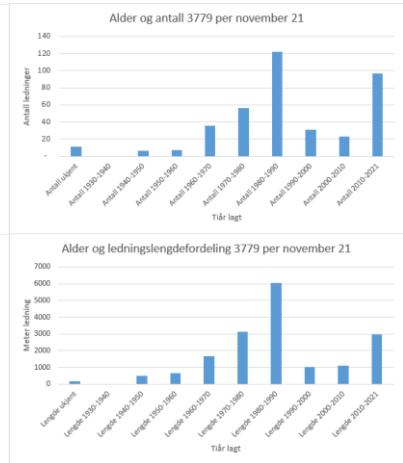
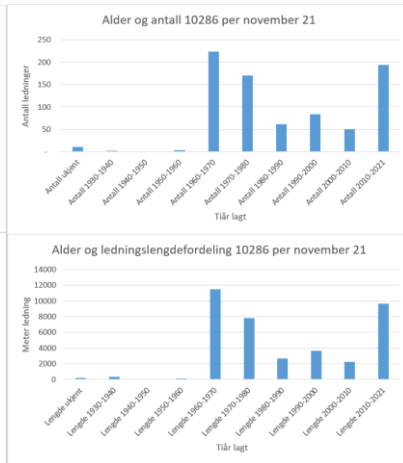
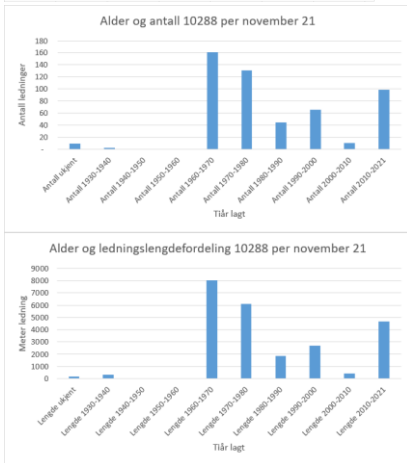
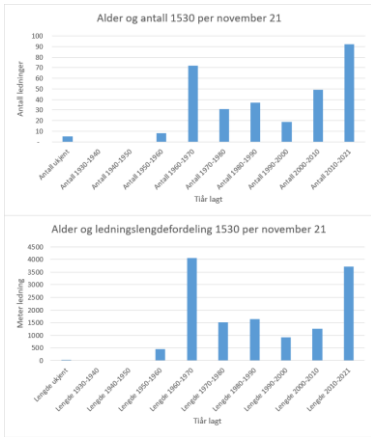


Punkter med ulike forhold på x-aksen:

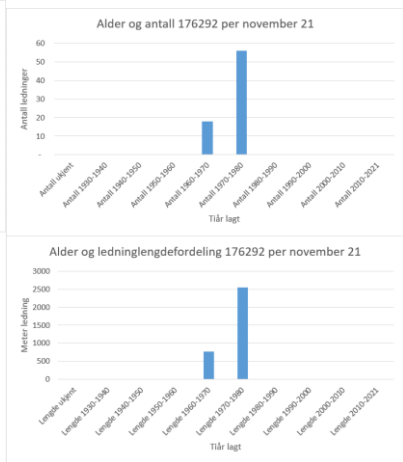
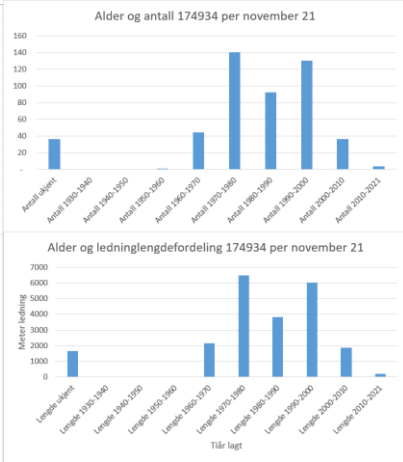
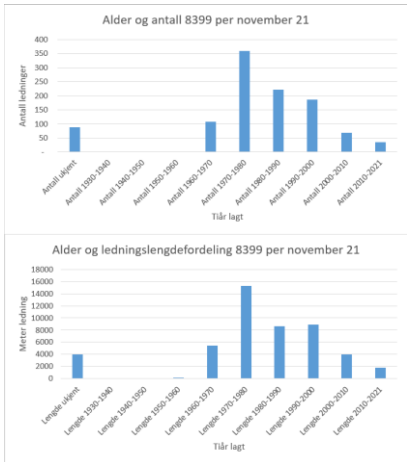


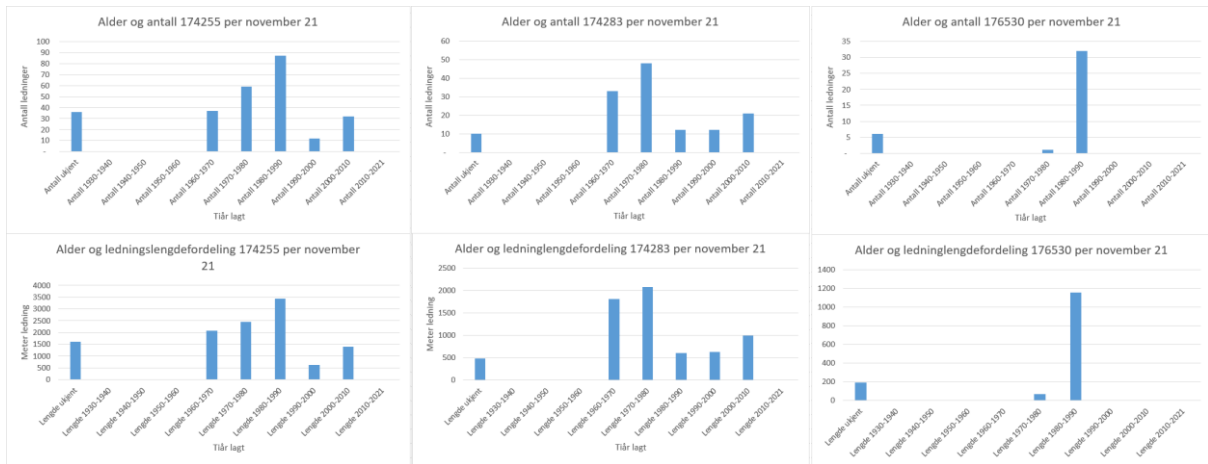
## Del 5, Fordeling av ledningslengde og alder samt antall ledninger Tidligere Asker kommune:





Røyken:









**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway