



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2019 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi

Odd Ivar Lekang

## **Behovet for vannmålere på vanddistribusjonsnett, med fokus på Horten kommune**

The need for water meters in the water distribution network, focusing on Horten municipality

**Hulda Gran Elvestad**

Vann- og miljøteknikk



# Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på en 5 år lang studietid ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU) på linjen Vann- og miljøteknikk. Oppgaven ble skrevet under NMBUs fakultet for realfag og teknologi våren 2019, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Tidligere i min studietid har jeg vært involvert i prosjekter i samarbeid med Eik ideverksted (organisasjon som jobber med studentinnovasjon, industrisamarbeid og talentutvikling ved NMBU). Et av prosjektene jeg deltok i omhandlet bruk av vannmålere. Prosjektet vekket min interesse og var årsaken til at jeg ønsket å skrive en masteroppgave om behovet for vannmålere på det norske distribusjonsnett. Jeg vil takke Kristian Sørby Omberg ved Eik ideverksted som hjalp meg innledningsvis i prosessen.

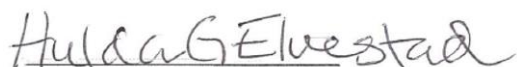
I tillegg til en litteraturstudie baserer oppgaven seg på informasjon fra tre norske vanddistributører: Kroksjøen Vannverk, Asker Kommune og Horten Kommune/Vestfold Vann. Informasjonen er hentet inn via møter og mailutveksling. En spesiell takk til Mattias Kristiansson i Kroksjøen Vannverk, Arild Aune og Sigrun Hval Thürmer i Asker kommune, Marte Lerdal og Geir Kjellsen i Horten kommune og Børge Bjørndahl i Vestfold Vann. Takk for at dere har tatt dere tid til å bidra med informasjon til min masteroppgave.

Jeg vil takke min hovedveileder, Odd Ivar Lekang, og min biveileder, Ola Sørby Omberg, for god oppfølging under arbeidet med oppgaven.

Takk til mine foreldre, Eiri Elvestad og Even Gran, og min samboer, Mathias Perskaas, for korrekturlesing av oppgaven og gode innspill.

Jeg vil også takke mine medstudenter ved vann- og miljøteknikk for en fantastisk studietid.

Ås, 13. mai 2019



Hulda Gran Elvestad

# Sammendrag

Denne masteroppgaven har sett på behovet for utplassering av husholdningsvannmålere og sonevannmålere på det norske vanddistribusjonsnettet, for å oppnå et mer effektivt lekkasjesøk og danne et bedre datagrunnlag for beregning av lekkasjer. For å konkretisere oppgaven ble det tatt utgangspunkt i hva Horten kommune, en spesifikk kommune, kunne oppnå med økt utplassering.

I Norge regnes det med at ca. 30 % av vannet som sendes ut på distribusjonsnettet går tapt i form av lekkasjer. Dette er et høyt tall sammenliknet med det gjennomsnittlige lekkasjetallet i Europa, som ligger på 23 %. Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen har satt som mål at det nasjonale lekkasjetallet i Norge skal ned til 20 % innen 2030.

Det er imidlertid stor usikkerhet i beregningen av lekkasjetallet. Dette kommer av at husholdningsforbruket i stor grad baseres på antakelser. Tendenser kan tyde på at norske kommuner velger å benytte seg av et høyere husholdningsforbruk enn hva som er reelt. Dette gir grunn til å tro at det nasjonale lekkasjetallet i realiteten er vesentlig høyere enn 30 %.

I dag har kun 84 av Norges 422 kommuner vannmålere i minst 80 % av sine husholdninger. Det gjennomsnittlige spesifikke husholdningsforbruket i kommuner med minst 80 % vannmålerdekning er 177 l/pe/d (liter per personequivallent per døgn). Gjennomsnittet for kommunene med under 80 % vannmålerdekning er 241 l/pe/d. Kommuner mer høy vannmålerdekning rapporterer altså generelt sett om et lavere husholdningsforbruk enn kommuner med lav vannmålerdekning.

Det er også en sammenheng mellom kommuners innrapporterte husholdningsforbruk og lekkasjetall. De 20 kommunene som rapporterer lavest lekkasjetall har et gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk på 280 l/pe/d og et lekkasjetall på 4,3 %, mens de 20 kommunene som rapporterer om høyest lekkasjetall har et gjennomsnitt på 183 l/pe/d og et lekkasjetall på 55,5 %. Det kan se ut til at kommuner velger å sette husholdningsforbruket høyt for å gi inntrykk av at det som reelt sett er lekkasjevann egentlig er høyt husholdningsforbruk. Dermed ser lekkasjetallet lavere ut på papiret enn hva som er reelt.

Horten kommune har blitt sammenliknet med tre andre vanddistributører. Seoul Metropolitan Government, Kroksjøen Vannverk og Asker kommune. Lekkasjetallet blant de fire vanddistributørene varierer fra under 5 % for Seoul til over 30 % for Kroksjøen Vannverk.

Av de tre norske vanddistributørene i sammenlikningen kommer Horten kommune godt ut, men potensialet til forbedring er stort når man sammenlikner kommunen med Seoul Metropolitan Government. Horten kommune har et lekkasjetall på 21 % og et spesifikt husholdningsforbruk på 159 l/pe/d. Dersom Horten kommune klarer å redusere sitt lekkasjetall til 5 % vil de kunne spare over 400 000 m<sup>3</sup> med vann i året til en verdi på over 3 millioner kr.

For å få et sikrere datagrunnlag for årlige lekkasjeberegninger anbefales det at Horten kommune installerer husholdningsvannmålere med automatisk avlesning ved hjelp av en mobil mottaker

(drive-by-metoden). I tillegg til et bedre beregningsgrunnlag vil også faktureringsgrunnlaget bli mer rettferdig, og forbrukerne får en motivasjon til å spare på vannet.

Ved en senere anledning kan Horten kommune vurdere å gå over til kontinuerlig innsamling av data fra husholdningsvannmålerne ved hjelp av en stasjonær mottaker. Dette vil føre til en bedre overvåking av variasjonene i lekkasjetallet.

For å effektivisere lekkasjesøket i Horten kommune anbefales det å installere flere sonevannmålere for å etablere en mer finmasket soneinndeling.

For å redusere usikkerheten i nasjonale lekkasjeberegninger anbefales det at det etableres en nasjonal standard for valg av spesifikt husholdningsforbruk og beregning av lekkasjetall.

# Abstract

This master's thesis looks at the need for deployment of household water meters and water meters for portioning of District Meter Areas (DMA) on the Norwegian water distribution network, in order to achieve a more effective search for leaks and form a better data basis for calculating and estimating water leakage. The case being examined is what the Norwegian municipality of Horten may achieve with increased deployment of water meters.

In Norway, it is estimated that approx. 30% of the water distributed from the water suppliers is lost in water leaks from pipes. This is a high figure compared to the average leakage rate in Europe, which is 23%. The Norwegian sustainability strategy for the water industry aims at reducing the national leakage figure to 20% by 2030.

There is a high degree of uncertainty when it comes to calculating and estimating water leakage. The reported Norwegian household consumption is largely based on loose assumptions. Statistical analyses indicate for example that Norwegian municipalities choose to report an unrealistically high household consumption to camouflage what is in reality high leakage rates. This gives reason to believe that the national leakage rate is considerably higher than the reported 30%.

Today, only 84 of Norway's 422 municipalities have water meters in at least 80% of their households. The average specific household consumption in municipalities with at least 80% water meter coverage is 177 l/pe/d (liters per person per 24 hours). The average consumption for municipalities with less than 80% water meter coverage is 241 l/pe/d. Thus, municipalities with a high water meter coverage generally report a lower household consumption than municipalities with low water meter coverage.

There is also a correlation between municipalities' reported household consumption and leakage figures. The 20 municipalities that report the lowest leakage figures report an average specific household consumption of 280 l/pe/d and a leakage figure of 4.3%, while the 20 municipalities that report the highest leakage percentages have an average of 183 l/pe/d and a leakage figure of 55.5%. It may seem that some municipalities choose to report high household consumption numbers in order to give the impression that what is actually water leaks, is a high water consumption in the households. Because of this, actual water leakage in Norway may be more severe and substantial than reported by the municipalities.

The Municipality of Horten is in this report compared with three other water distributors. Seoul Metropolitan Government in South Korea, Kroksjøen Waterworks and Asker Municipality. The leakage rates among these four water distributors range from below 5% for Seoul to over 30% for Kroksjøen Waterworks.

Of the three Norwegian water distributors, the municipality of Horten does quite well, but the potential for improvement is substantial compared to the water distribution system of the Seoul

Metropolitan Government. Horten municipality has a leakage rate of 21% and a reported household consumption of 159 l/pe/d. If Horten municipality manages to reduce its leakage rate to 5%, they will be able to save over 400,000 m<sup>3</sup> of water a year at a value of over NOK 3 million.

In order to obtain more reliable data to calculate and estimate water leaks, this report recommends that Horten municipality installs household water meters with automatic reading using a mobile receiver (the drive-by method). In addition to getting more reliable data on household consumption, the basis for invoicing will also improve, giving consumers a new incentive to save water.

In order to streamline the search for leaks, this report recommends the municipality of Horten to install more DMA water meters to establish a more fine-meshed division of DMAs.

In order to reduce the uncertainty in national leakage figures, it is recommended that a national standard be established for household consumption for municipalities that have not been able to reliably measure household water consumption. This will improve the quality of the national leakage estimates.





# Innhold

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	IV
Innledning .....	1
Problemstilling .....	3
Begrensninger .....	4
Litteraturstudie .....	5
Dagens lekkasjesituasjon i Norge .....	5
Usikkerhet i lekkasjeberegningen .....	10
Lekkasjeberegninger .....	17
Lekkasjesøk .....	20
Vannmålere .....	30
Innsamling av vannmålerdata .....	37
Eksempler på ulike vanddistributørers lekkasjesituasjon .....	40
Seoul Metropolitan Government .....	40
Kroksjøen Vannverk .....	44
Asker kommune .....	48
Horten kommune, Vestfold Vann IKS .....	52
Sammenlikning av vanddistributører .....	60
Diskusjon .....	61
Husholdningsvannmålere i Horten kommune .....	61
Sonevannmålere i Horten kommune .....	63
Lekkasjereduksjon i Horten kommune .....	63
Lekkasjeberegning i Norge .....	64
Konklusjon .....	68
Kilder .....	70
Vedlegg .....	i

# Innledning

Vann er en sårbar og livsnødvendig ressurs. Ifølge FN lever 3,6 milliarder mennesker med fare for vannmangel minst en måned i året. Dette antallet kan øke til mellom 4,8 og 5,7 milliarder innen 2050. 3 av 10 lever uten tilgang til rent drikkevann. FN har satt som mål at alle verdens innbyggere skal ha tilgang til rent drikkevann innen 2030. Samtidig forventes det at behovet for vann kommer til å øke med 40 % innen 2030 som følge av urbanisering, befolkningsvekst og økt velstand (Endo et al., 2017; UN Water, 2018; UNITED NATIONS).

Ifølge World Bank Group går 48 000 000 m<sup>3</sup> av forsyningsvannet tapt på verdensbasis. Verdens lekkasjetall varierer fra 5 % til 50 %. Tendensen er at industrialiserte land har lavere lekkasje prosent enn utviklingsland. Lekkasje fører både til store økonomiske utgifter, helseisriko og tap av en verdifull resurs (Gupta & Kulat, 2018).

Siden midten av 80-tallet har vanddistributører på verdensbasis hatt økt fokus på lekkasjer. Metodene for å detektere lekkasjer krever ofte mye tid og ressurser. Ny sensorbasert teknologi har revolusjonert metodene for å detektere lekkasjer (Gupta & Kulat, 2018).

Ifølge SSB gikk 29,9 % av drikkevannet i Norge tapt som lekkasjevann i 2018. Til sammenlikning ligger det gjennomsnittlige lekkasjetallet i Europa på 23 % (Eureau, 2017). Fokuset på lekkasjereduksjon i Norge har økt de siste årene. Ønsket om å redusere lekkasjetapene skyldes både økonomi, etikk, miljø og helse. Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen har satt som mål at lekkasjetapet på distribusjonsnettet skal være under 20 % innen 2030 (Norsk Vann, 2017).

Denne oppgaven tar for seg bruken av husholdningsvannmålere og sonevannmålere på det norske distribusjonsnettet, og hvordan implementering av disse kan bidra til å få økt oversikt og mer effektiv reduksjon av lekkasjetallet. Husholdningsvannmålere måler mengden vann som forbrukes i hver husstand, mens sonevannmålerne brukes til å overvåke vannforbruket i ulike deler av det kommunale ledningsnettet.

I dag er usikkerheten i lekkasjeberegningen stor. Norske kommuner vet hvor mye vann som sendes ut på det kommunale distribusjonsnettet, men har i mindre grad oversikt over hvor mye av dette vannet som går til forbruk og hvor mye som går tapt i form av lekkasjer. I Norge er dekningen av husholdningsvannmålere lav, noe som fører til at husholdningsforbruket i stor grad er

basert på antakelser. Det er også grunn til å tro at norske kommuner antar at husholdningsforbruket er høyere enn hva som er reelt. Dette vil si at lekkasjetallet i realiteten kan være vesentlig høyere enn 29,9 %.

Norsk Vann anbefaler norske kommuner å benytte et spesifikt husholdningsforbruk på 140 l/pe/d dersom det ikke finnes egne data fra husholdningsvannmålere. Denne anbefalingen er blant annet basert på tall fra kommuner som har høy dekning av husholdningsvannmålere og har jobbet for å få

gode tall på husholdningsforbruket. Anbefalingen til Norsk Vann har ikke blitt fulgt opp av norske kommuner.

I Mattilsynets veiledning til innrapportering i MATS (Mattilsynets skjematjenester) bes kommuner om å benytte 200 l/pe/d dersom husholdningsforbruket ikke er målbart. Mattilsynets veiledning skyldes et krav i drikkevannsforskriften (§ 3 f). Basert på de innrapporterte tallene til MATS har SSB beregnet det gjennomsnittlige husholdningsforbruket i Norge til å være 180 l/pe/d i 2018 (Mattilsynet, 2019).

Horten kommune har ikke installert husholdningsvannmålere hos sine innbyggere i dag. Ifølge SSBs database hadde kommunen hadde et spesifikt husholdningsforbruk på 159 l/pe/d og et lekkasjetall på 21 % i 2018. Tallene til SSB er basert på Horten kommunes egen innrapportering i MATS.

Det interkommunale selskapet Vestfold Vann drifter lekkasjesøkingen i Horten kommune. I Horten kommune er det plassert ut vannmålere som deler distribusjonsnettet inn i vannmålesoner. Kontinuerlig overvåkning av vannmålesonene bidrar til å bestemme hvor videre lekkasjesøk skal iverksettes. Ved etablering av en mer finmasket soneinndeling vil lekkasjesøket kunne utføres mer effektivt.

## Problemstilling

Denne masteroppgaven har til hensikt å gi ny kunnskap om behovet for utplassering av husholdningsvannmålere og sonevannmålere på det norske distribusjonsnettet, hovedsakelig for å effektivisere lekkasjesøket og danne et bedre datagrunnlag for lekkasjeberegninger. For å konkretisere oppgaven ble det valgt å fokusere på en spesifikk kommune. I dette tilfellet ble Horten kommune valgt.

Med utgangspunkt i en litteraturstudie der flere kommuner sammenlignes, vil behovet for økt utplassering av husholdningsvannmålere og sonevannmålere på distribusjonsnettet i Horten kommune bli diskutert. Oppgaven har også til hensikt å gi en anbefaling om utplassering av vannmålere basert på Horten kommunes behov. Anbefalingen vil ta hensyn til hvor det er behov for utplassering av flere vannmålere (i husholdninger eller på det kommunale distribusjonsnettet), samt hvordan data fra vannmålere skal hentes inn.

### **Hovedproblemstillingen i denne masteroppgaven er:**

Hva vil Horten kommune oppnå med økt utplassering av vannmålere i husholdninger og på det kommunale distribusjonsnettet?

### **Delmål:**

- Beskrive lekkasjesituasjonen i Norge
- Beskrive metoder for beregning av lekkasjetall
- Beskrive usikkerheten i lekkasjeberegningene
- Beskrive metoder for lekkasjesøking og vannmengdemåling
- Beskrive metoder for innsamling av data fra vannmålere, og hvordan metoden for innsamling av data påvirker vannmålerens funksjon.
- Beskrive lekkasjesituasjonen hos fire ulike vanddistributører, og deres arbeid for å redusere lekkasjetallet.

## Begrensninger

- Går ikke i dybden på hvordan lekkasjer oppstår, og hvilke faktorer som påvirker dette (f.eks. trykk).
- Ikke omfattende økonomiske analyser.
- Beskriver eller vurderer ikke ulike måter for dataoverføring via nett.
- Vurderer kun bruken av forbruksvannmålere og sonevannmålere. Vannmålere som benyttes til andre formål blir ikke vurdert.
- Oppgaven tar kun hensyn til vannmålere som måler forbruket til husholdninger og næringsvirksomheter, samt sonevannmålere. Andre vannmålere på distribusjonsnett vil ikke bli vurdert.
- Ved rådgivning av utplassering av husholdningsvannmålere tas det kun hensyn til om målerne skal leses av manuelt eller automatisk. Det tas ikke hensyn til om måleren skal være basert på AMR (Automatic Meter Reading) - eller AMS (Advanced Metering Infrastructure) - teknologi.

# Litteraturstudie

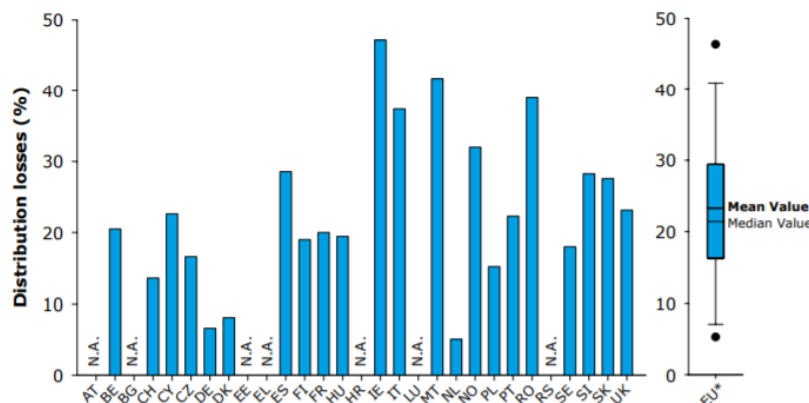
## Dagens lekkasjesituasjon i Norge

Ifølge SSB (Statistisk sentralbyrå) lå den gjennomsnittlige lekkasjemengden i Norge på 29,9 % i 2018 (Statistisk sentralbyrå, 2019). Dette er høyt i forhold til lekkasjetall for resten av Europa. Det gjennomsnittlige lekkasjetapet i Europa ligger på 23 % (Eureau, 2017). Mengden lekkasjer varierer mye fra land til land. Danmark, som er et av de landene i verden med minst lekkasjer, hadde i 2015 en lekkasjemengde på bare 7,8 % basert på vannmålerdata (DANVA, 2016). Tabell 1 viser en oversikt over lekkasjetallet i Norge, Danmark og gjennomsnittlig lekkasjetall i Europa.

**Tabell 1: Andelen prosentvis lekkasjetap i Norge, Danmark og i Europa.**

	Andel av total vannleveranse til lekkasjetap (%)	Kilde
Europa	23	(Eureau, 2017)
Norge	29,9	(Statistisk sentralbyrå, 2019)
Danmark	7,8	(DANVA, 2016)

Figur 1 viser en oversikt over lekkasjemengden i europeiske land. Figurene er laget av Eureau (European Federation of National Associations of Water & Waste Water Services) (Eureau, 2017). Ut ifra figuren kan man se at Norge (NO) er en av landene med høyest lekkasje prosent.



**Figur 1: Den beregnede lekkasje prosent i europeiske land (Eureau, 2017).**

Grunnen til at lekkasjemengden i Norge er høy skyldes at vi historisk sett har hatt tilgang på rikelig med vann fra gode drikkevannskilder. God vannkvalitet har ført til lave kostnader knyttet til rensing av drikkevannet. Ledningsnett i Norge har vært godt dimensjonert. Det kupert terrenget gjør det mulig for flere vandistributører å transportere vannet til forbrukerne ved hjelp av gravitasjon, noe

som fører til lave transportkostnader (lite pumping). Det har altså ikke vært noen økonomisk interesse i å redusere lekkasjene (Flatin, 2009).

Til sammenlikning har Danmark hatt helt andre forutsetninger når det kommer til vannforsyningen. Siden 70-tallet har Danmark møtt på utfordringer knyttet til begrenset tilgang på vann. To tørre somre i 1975 og 1976 førte til at flere vannreservoarer rundt store byer begynte å tørke ut (Stockmarr & Thomsen, 2009). Siden 80-tallet har vannbesparende tiltak vært et viktig tema. Tiltakene som ble gjort var å øke prisen på vann, installere vannmålere hos alle forbrukere og bøtelegge vanddistributører som hadde et vanntap på over 10 %. Tiltakene fungerte godt. Det skal likevel nevnes at Danmark, med sitt flate terreng, har bedre forutsetninger enn Norge fra naturens side når det kommer til å holde lekkasjetallet nede (Malm et al., 2018).

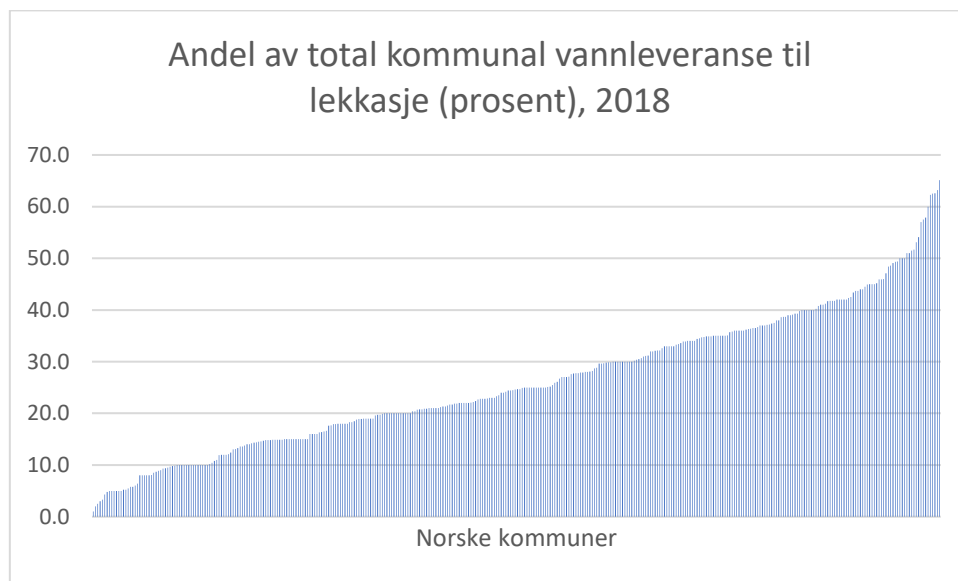
Det at Norge har store høydeforskjeller er ikke bare positivt. Dette medfører store trykkvariasjoner på distribusjonsnettet og områder med høyt trykk (selv om man utfører trykksoneinndeling) (Flatin, 2009). Forholdet mellom trykk i distribusjonsnettet og lekkasjemengden er komplekst, men flere studier antar at det er et en-til-en forhold mellom trykket i ledningsnettet og hvor mye vann som lekker ut av rørene (Fox et al., 2015).

Grunnforholdene og klimaet med frost og tining skaper også utfordringer for vanddistribusjonen. Liten interesse for å redusere vanntapet har ført til lite utskiftning av rørnettet, noe som betyr at rørnettet i dag har høy alder. Tidligere hadde man heller ikke nok kunnskap om rørmaterialer, rørdeler og hvordan utførelsen av rørleggingen skulle gjøres. Dette er også noe av årsaken til det høye lekkasjetallet (Flatin, 2009).

Norsk Vann har vurdert at nødvendig fornyelse av ledningsnettet er 1,2 % per år fram til 2040. Behovet for fornyelse vil variere mellom kommunen ut ifra ledningsnettets lekkasjemengde, alder og funksjon (Jacobsen et al., 2014; Rostad, 2017).

## Nasjonale forskjeller i lekkasjetall

Ut ifra tallene fra SSBs database ser man at lekkasjetallet varierer mye rundt om i landet. Figur 2 viser hvor stor prosent av den kommunale vannleveransen som går til lekkasje i Norske kommuner.



**Figur 2: Innrapportert lekkasjetall (%) fra norske kommuner. Figuren viser at det er store forskjeller i hva kommunene rapporterer om (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

## Lekkasjer på stikkledning

En Norsk Vann-rapport fra 2014 (Folkedal & Ording, 2014) skriver at stikkledningene utgjør mellom halvparten og 2/3 av den samlede lengden vann- og avløpsledninger, og at mellom 50 og 70 % av lekkasjene (målt i antall) befinner seg på stikkledninger. En stikkledning regnes som ledningen fra forbrukeren til an boring på det kommunale ledningsnettet, og eies som oftest av forbrukeren (i noen få tilfeller eies stikkledningen helt eller delvis av kommunen).

Fokuset på lekkasjereduserende tiltak i kommunene har økt, men dette har først og fremst vært rettet mot det kommunale ledningsnettet. Med denne utviklingen risikerer man at stikkledningene blir det svakeste leddet på distribusjonsnettet (Folkedal & Ording, 2014).

Den generelle huseier har lite kunnskap om lekkasjer, og at de selv har ansvar for at sin stikkledning er i god stand. Huseier betaler heller ikke for vannet som lekker ut i form av lekkasje på stikkledningen. Eventuell vannmåler (som danner faktureringsgrunlaget) plasseres inne i huset og måler kun vannet som faktisk forbrukes i husstanden (ikke lekkasjevannet fra stikkledningen). En lekkasje på stikkledningen har altså liten praktisk betydning for huseier. Huseiere har derfor liten egeninteresse i å utføre kostbart arbeid på sin stikkledning (Folkedal & Ording, 2014).

Dersom kommunen oppdager lekkasjer på en privat stikkledning blir det sendt ut et pålegg om at huseier må fikse dette. Dette kan ofte bli et kostbart pålegg for huseier. Stikkledningene kan ligge under asfaltert kommunal vei sammen med blant annet rør til fjernvarme og strømkabler. Dette gjør at arbeid på stikkledningen blir ekstra kostbart. Det finnes eksempler (Aadland & Ahamath, 2012;



Ferguson, 2015) på huseiere som har blitt pålagt å betale godt over 100 000 kr for å reparere stikkledningen sin (Folkedal & Ording, 2014).

Norsk Vanns rapport (Folkedal & Ording, 2014) trekker fram problematikken i å pålegge privatpersoner å betale så store summer, og anbefaler at hele eller deler av eierskapet bør overføres til kommunen for mer profesjonell drift.

Lekkasjer på stikkledninger oppstår i stor grad på grunn av monteringsfeil, og bruk av koblingsdeler av dårlig kvalitet. Grunnarbeidet og fyllingsmassene rundt røret kan også øke faren for at lekkasjer oppstår over tid. Fare for lekkasje ved dårlig montering gjelder også for helt nye stikkledninger. Vestfold vann oppgir at lekkasjene på stikkledninger hovedsakelig oppstår på grunn av dårlige koblingsdeler av messing. I dag er det mulig å utføre gjengeløse påkoblinger av stikkledninger, men også her er det nødvendig med godkunnskap og riktig utførelse for å unngå lekkasjer (Folkedal & Ording, 2014).

For å få økt kontroll på stikkledningslekkasjene (enklere å finne og redusere lekkasjene) anbefaler Norsk Vann (Folkedal & Ording, 2014) at man:

- Kobler seg til det kommunale ledningsnettet i en stikkledningskum.
- Legger stikkledninger med ytter-rør (rør-i-rør).
- Legger stikkledning helt fra stikkledningskum til kjeller uten skjøter og bakkekran.
- Har strenge krav til valg av koblinger og skjøter.
- Har strenge krav til kompetanse hos den som skal utføre påkoblingen.

## Økt fokus på lekkasjereduksjon

De siste årene har bevisstheten rundt sløsing av vann i form av lekkasjer økt. Dette av både økonomiske, helsemessige, miljømessige og etiske årsaker. Det blir ikke lenger sett på som greit at en tredel av drikkevannet går tapt før det når forbrukeren. Lekkasjer kan medføre store utgifter og forbrukere kan utsettes for helsefare. I tillegg har klimaforandringer gjort oss beviste på at også Norge kan stå i fare for å bli utsatt for vannmangel.

Økte krav til drikkevannskvalitet har også gjort vannbehandlingen dyrere, og prisen per produserte vannmengde har dermed gått opp. Når store deler av det produserte vannet på vannverkene går tapt i form av lekkasjer, blir man nødt til å rense og transportere (pumpe) mer vann enn nødvendig. Dette fører til høyere energi- og kjemikaliekostnader (Rostad, 2017).

Lekkasjene utgjør en varierende andel av driftskostnadene på de ulike vannverkene. Dette avhenger av vannverkets råvannskvalitet, behandlingsprosess og lekkasjetall. Tall innrapportert fra interkommunale vannverk og 37 kommuner til bedreVANN i 2015 viser at rensing og transport av lekkasjevannet utgjorde mellom 1 og 9 % av driftskostnadene, med et snitt på 3 % (Rostad, 2017).

Man har også sett at lekkasjer har ført til store kostbare ødeleggelser. For eksempel førte en vannlekkasje i Oslo i 2017 til at flere bygninger fikk store skader (Holm, 2017). I 2018 oppstod det et synkehull, med en meter diameter, på en asfaltert vei i Halden (Lillerud, 2018).

Utette rør kan også føre til at forurensende stoffer trenger inn i røret i trykkløse episoder. Trykkløse rør kan blant annet oppstå under vedlikeholdsarbeid på ledningsnettet eller store vannuttak (for eksempel som følge av stor lekkasje). Dette er spesielt uheldig med tanke på at vannledningene oftest graves ned i samme grøft som avløpsledningene. Avløpsledningene i Norge er også i dårlig stand, slik at avløpsvann lekker ut fra røret. Dette vil si at drikkevannsledningene står i fare for å få innsug av avløpsvann når trykkløse tilfeller oppstår. I en rapport fra Norsk Vann (Norsk Vann, 2008) beskrives trykkløst nett som hovedårsaken til vannbårne sykdomsutbrudd.

Hvert år blir folk syke på grunn av drikkevannet i Norge. Et tidsskrift fra Den Norske Lægeforening melder (Guzman-Herrador et al., 2016) om 28 sykdomsutbrudd med 8 060 rammede i perioden 2003 til 2012, mens en internasjonal rapport (Guzman-Herrador et al., 2015) melder om 53 utbrudd og 10 483 rammede mellom 1998 og 2012.

Flere studier har vist at lekkasjer og vedlikeholdsarbeid har sammenheng med økt fare for vannbåren smitte. En NORVAR-rapport fra 2005 (Wahl, 2005) konkluderer med at det var en klar sammenheng mellom trykkløse hendelser på ledningsnettet og økt sannsynlighet for kortvarig oppkast og diare'. Sannsynligheten økte med mengden vann som trengte inn i vannledningen. Det finnes også andre studier (Nygård et al., 2007; Säve-Söderbergh et al., 2017) som viser at det er en sammenheng mellom lekkasjer, trykkløse hendelser og økt sannsynlighet sykdomsutbrudd. Smittefare på grunn av vannledningsnettet er et prioritert forskningsområde (Folkehelseinstituttet, 2017).

Tørke (og flom) har truet verdens vannressurser i lang tid, og på grunn av befolkningsvekst er behovet for vann økende. Ifølge FN (UN Water, 2018) lever 3,6 milliarder mennesker (nesten halve jordas befolkning) i områder der det er fare for vannmangel minst en måned i året. Dette kan øke opp til 5,7 milliarder mennesker i 2050. Den sørafrikanske millionbyen Cape Town er en av byene som er hardt rammet av vannmangel. Her brukes begrepet «Day Zero» om den dagen byen vil gå tom for vann (Robins, 2019).

Etter sommeren 2018 har også Norge blitt bevisste på at framtidens klima kan true vannressursene. Som et resultat av en ekstrem tørr og varm periode fra slutten av mai til begynnelsen av august gikk flere brønner og drikkevannsmagasiner tomme eller nesten tomme i Sør-Norge (Skaland et al., 2019).

## Nasjonale mål for lekkasjereduksjon

I 2017 ble det vedtatt en Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen (Norsk Vann, 2017). Under delmål 4 settes det som et mål at det totale lekkasjetapet i Norge skal være mindre enn 20 % innen 2030.

Det er ikke realistisk at alle norske kommuner skal oppnå en lekkasjeprosent på under 20 %. Norsk Vann ga i 2018 ut en rapport som gir en anbefaling til hvordan hver vandndistributør kan beregne sitt bærekraftige lekkasjenivå (Malm et al., 2018). Denne baserer seg på internasjonale standarder utarbeidet av International Water Association (IWA). Målet gitt i rapporten er at flest mulig virksomheter skal ha utarbeidet en plan for å komme ned til sitt bærekraftige lekkasjenivå innen 2020.

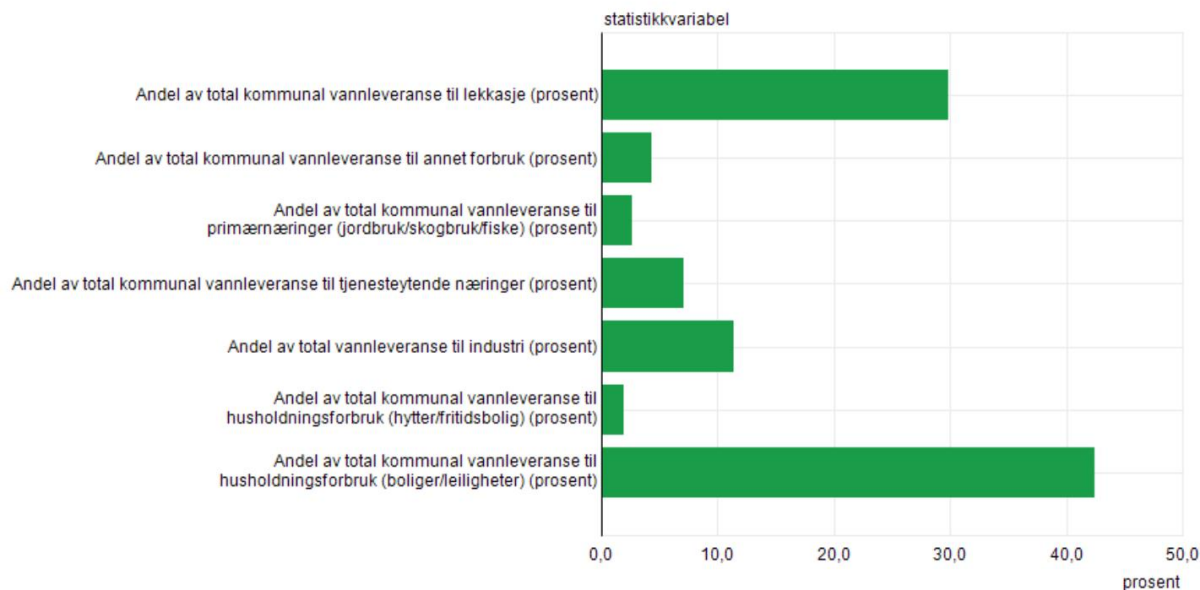
## Usikkerhet i lekkasjeberegningen

Det er stor usikkerhet ved beregningen av lekkasjetall i Norge. Usikkerheten i beregning av lekkasjetall ligger i at man ikke vet hvor mye vann som går til husholdningsforbruk. Norge har generelt sett lav dekning av husholdningsvannmålere, men også kommuner med høy vannmålerdekning er usikre på hvor stort husholdningsforbruket er (Sivertsen & Bomo, 2016).

Det er også grunn til å tro at mange kommuner benytter usikkerheten i husholdningsforbruket til å pynte på sitt lekkasjetall. De setter et husholdningsforbruk som er alt for høyt, slik at lekkasjetapet blir lavt (Ræstad et al., 2010).

## Husholdningsforbruk

Husholdningsforbruk er den største forbruksposten, og spiller en stor rolle når lekkasjetall skal beregnes. Figur 3 viser en oversikt over hva vannet som sedes ut på distribusjonsnettene går til. Ifølge SSBs statistikkbank (Statistisk sentralbyrå, 2019) går 42,5 % av vannet til husholdningsforbruk.



**Figur 3: Hvor stor prosentandelen av vannet som sendes ut på distribusjonsnett som går til ulike formål i 2018. Husholdningsforbruk utgjør den største delen på 42,5 %, etterfulgt av lekkasjetap som utgjør 29,9 % (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

Fram til 2017 benyttet BedreVann 160 L/pe/d som gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk i Norge. I perioden 2015 til 2016 utarbeidet Norsk Vann en rapport (Sivertsen & Bomo, 2016) som skulle gi et bedre tall på det spesifikke vannforbruket i Norge. Her beregnet man spesifikt vannforbruk til å være 138 l/pe/d, og ga en anbefaling om å endre dagens bransjetall fra 160 l/pe/d til 140 l/pe/d. I 2018 besluttet Norsk Vann å endre bransjetallet fra 160 til 140 l/pe/d (Malm et al., 2018).

Anbefalingen fra Norsk Vann (140 l/pe/d) er basert på rapportert forbruk fra kommuner med høy vannmålerdekning, tall fra SSB og andre kilder. Det viste seg at kommunene som har jobbet for å finne gode forbrukstall hadde et lavere husholdningsforbruk enn man tidligere antok (Sivertsen & Bomo, 2016).

Hvert år må norske kommuner melde inn informasjon om forbruk og lekkasjetall til Mattilsynets informasjonsportal, MATS. Innrapporteringen til MATS brukes som grunnlag i SSBs statistikk. I Mattilsynets veiledning for innrapportering til MATS (Mattilsynet, 2019) anbefaler de norske kommuner å benytte et spesifikt husholdningsforbruk på 200 l/pe/d dersom dette ikke er målbart.

Mattilsynets anbefaling om å benytte et spesifikt husholdningsforbruk på 200 L/pe/d er et resultat av et krav i drikkevannsforskriften (Drikkevannsforskriften, 2017). Drikkevannsforskriften er basert på et EU-regelverk Norge er pålagt å følge på grunn av EØS-avtalen.

Det finnes ingen nasjonal standard for beregning av husholdningsforbruk. Dette betyr at kommunene står fritt til å velge beregningsmetode og å gjøre antakelser når tallene til MATS skal sendes inn. I

2018 ble det gjennomsnittlige husholdningsforbruket ifølge SSB beregnet til å være 180 l/pe/d (Statistisk sentralbyrå, 2019).

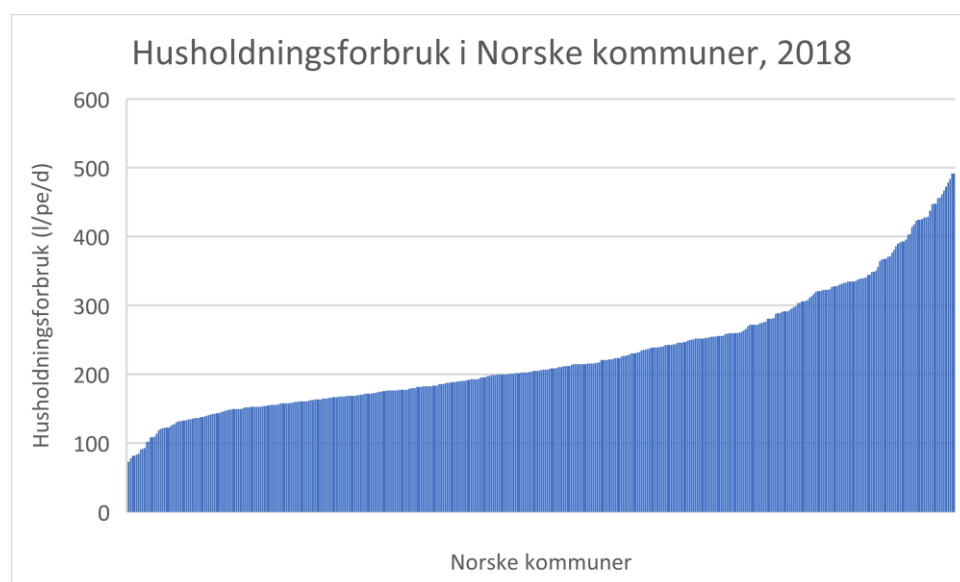
Til sammenlikning ligger gjennomsnittlige spesifikke husholdningsforbruket i Europa på 128 L/pe/d (Eureau, 2017).

**Tabell 2: Gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk i Norge ifølge ulike aktører.**

	Gjennomsnittlig husholdningsforbruk i Norge (l/pe/d)	Kilde
Mattilsynets anbefaling	200	(Mattilsynet, 2019)
Norsk Vanns anbefaling	140	(Sivertsen & Bomo, 2016)
SSBs statistikkbank, 2018	180	(Statistisk sentralbyrå, 2019)

### Variasjoner i husholdningsforbruket

Det er stor variasjon i hva norske kommuner melder om når det kommer til husholdningsforbruk. Dette gjør det utfordrende å bestemme et nasjonalt nøkkeltall. Figur 4 viser en oversikt over husholdningsforbruket i alle norske kommuner. Oversikten er basert på tallene kommunen selv har meldt inn til MATS i 2018. Ballangen kommune rapporterer om det høyeste forbruket på 492 l/pe/d, mens Gjerdrum kommune melder om det laveste forbruket på 45 l/pe/d (Statistisk sentralbyrå, 2019).



**Figur 4: Norske kommuners spesifikke husholdningsforbruk (målt i l/pe/d) i 2018. Hver søyle representerer en norsk kommune (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

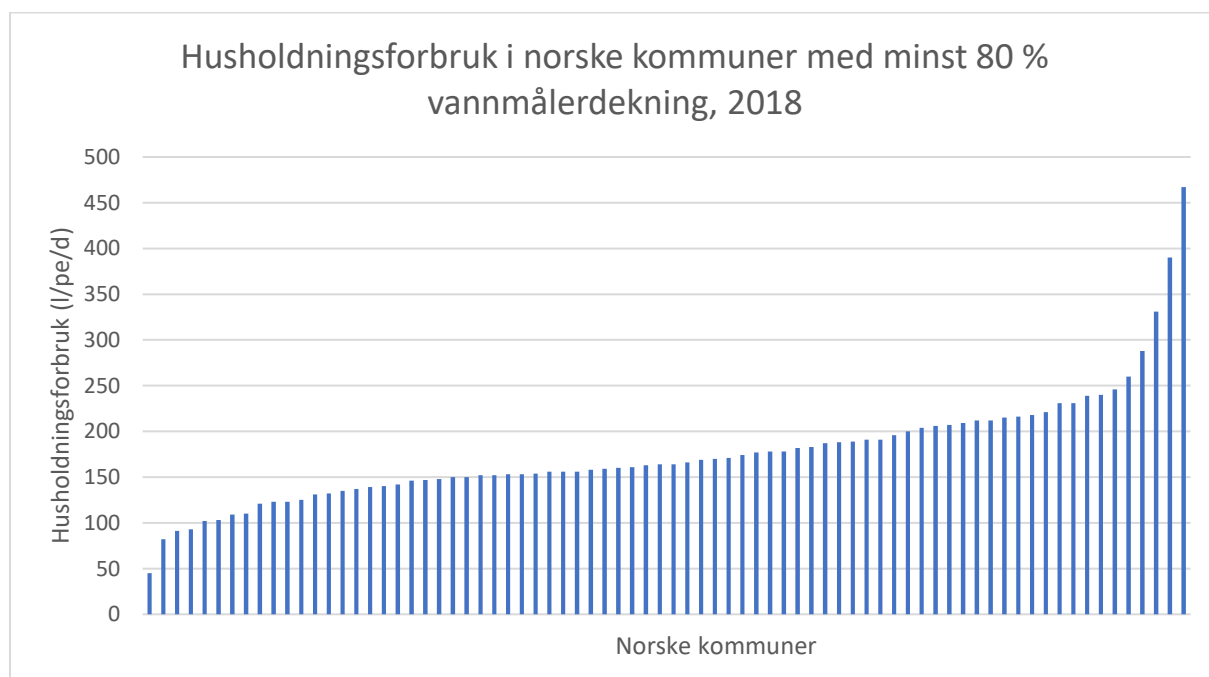
Den store variasjonen i innrapportert husholdningsforbruk gir grunn til å betvile om forbrukstallene er reelle (Sivertsen & Bomo, 2016).

Legg merke til at få kommuner rapporterer om et spesifikt husholdningsforbruk på 140 l/pe/d, som er Norsk Vanns anbefaling. Kun 36 av 422 kommuner mener de har et spesifikt husholdningsforbruk på 140 l/pe/d eller lavere. Mange kommuner rapporterer også om et spesifikt husholdningsforbruk som ligger over mattilsynets anbefaling på 200 l/pe/d. 197 kommuner skal ifølge SSBs statistikk ha et spesifikt husholdningsforbruk på over 200 l/pe/d. For 57 kommuner mangler det tall på spesifikt husholdningsforbruk.

## Dekning av husholdningsvannmålere

I Norge er det lav dekning av husholdningsvannmålere sammenliknet med resten av Europa. I 2015 hadde Oslo en vannmålerdekning på 1,5 %, mens Stockholm, Gøteborg, København, Helsinki, Hamburg og Amsterdam hadde en vannmålerdekning på 100 % (Bomo & Schade, 2015).

Ved inngangen av 2019 var det 84 av landets 422 kommuner der minst 80 % av husholdningene hadde installert vannmåler. Det er stor variasjon i det innrapporterte husholdningsforbruket, også fra kommuner med minst 80 % vannmålerdekning. Figur 5 viser et stolpediagram over husholdningsforbruket i norske kommuner der minst 80 % av husholdningene har installert vannmåler (Statistisk sentralbyrå, 2019).



**Figur 5: Husholdningsforbruket i norske kommuner der minst 80 % av husstandene har installert vannmåler.**

Også for kommunene med høy vannmålerdekning er det grunn til å tvile på om de innrapporterte tallene er reelle. En årsak til dette kan være måleusikkerhet. En annen er at kommunene ofte ikke har oversikt over vannmålerens posisjon, og hvor mange personer som er tilknyttet hver måler. Det hender til og med at kommuner med høy vannmålerdekning lar være å benytte sine vannmålerdata

ved innrapportering av husholdningsforbruket. De benytter seg istedenfor av nasjonale nøkkeltall (Sivertsen & Bomo, 2016).

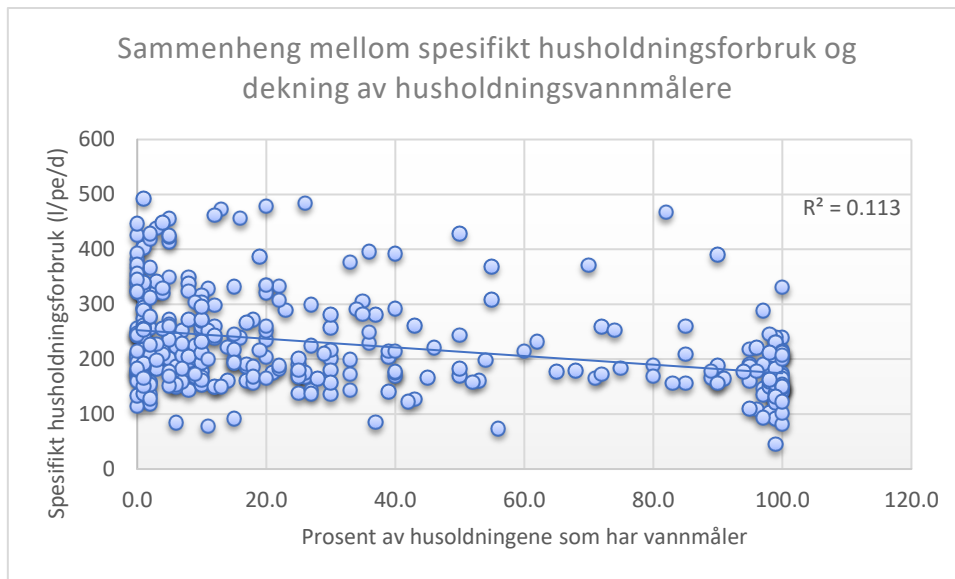
Gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk for kommunene med minst 80 prosent dekning av husholdningsvannmålere er 177 l/pe/d. Gjennomsnittet er beregnet ut ifra det innrapporterte spesifikke husholdningsforbruket (l/pe/d) i hver kommune, uten at det er tatt hensyn til befolkningen i hver av kommunene.

Til sammenlikning lå det gjennomsnittlige spesifikke husholdningsforbruket for kommuner med under 80 % dekning av husholdningsvannmålere på 241 l/pe/d (her er det heller ikke tatt hensyn til befolkningen i hver kommune). Dette betyr at kommuner med høy vannmålerdekning generelt sett rapporterer om et lavere husholdningsforbruk enn kommuner med lav vannmålerdekning. Tabell 3 viser en oversikt over det gjennomsnittlige spesifikke husholdningsforbruket i kommuner med høy og lav dekning av husholdningsvannmålere.

**Tabell 3: Gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk for kommuner med minst 80 % vannmålerdekning og under 80 % vannmålerdekning i husholdningene. Tallene er basert på tall fra SSBs statistikkbank (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

Gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk i 2018	
Kommuner med minst 80 % dekning av husholdningsvannmålere	177 l/pe/d
Kommuner med under 80 % dekning av husholdningsvannmålere	241 l/pe/d

Figur 6 viser sammenhengen mellom norske kommuners dekning av husholdningsvannmålere (%) og det innrapporterte spesifikke husholdningsforbruket i kommunen. Figuren viser at kommuner med høy vannmålerdekning generelt sett rapporterer om et lavere husholdningsforbruk enn kommuner med lav vannmålerdekning.



**Figur 6: Det spesifikke husholdningsforbruket plottet mot dekning av husholdningsvannmålere i norske kommuner. Figuren viser at kommuner med høy vannmålerdekning i husholdningene rapporterer om et lavere husholdningsforbruk enn kommuner med lav vannmålerdekning.**

### Sammenheng mellom husholdningsforbruk og lekkasjetall

Forholdet mellom husholdningsforbruk og lekkasjetall i norske kommuner tilsier at kommuner med høyt lekkasjetall generelt sett har lavere husholdningsforbruk enn kommuner med lavt lekkasjetall, og motsatt. I utgangspunktet er det ingen grunn til å tro husholdningsforbruket skal være påvirket av lekkasjetallet. Dette kan tyde på at kommuner velger å sette et høyt forbrukstall for å sitt lekkasjetall til å se lavere ut enn det det egentlig er.

I en bulletin fra Norsk Vann står det skrevet en artikkel (Ræstad et al., 2010) om at mange kommuner setter husholdningsforbruket sitt for høy for å få lekkasjetallet til å virke mindre. Her nevnes Sørums kommun som et eksempel. Sørums kommun påstår at de har et lekkasjetap på 0,7 %, noe som er urealistisk lavt. Sørums kommun kom fram til et så lavt lekkasjetall ved å sette husholdningsforbruket høyt. Beregninger gjort ved hjelp av minimum nattforbruk i Sørums kommun viste ifølge Ræstad et al. (2010) at lekkasjetapet var rundt 26 %, altså mye høyere enn 0,7 %.

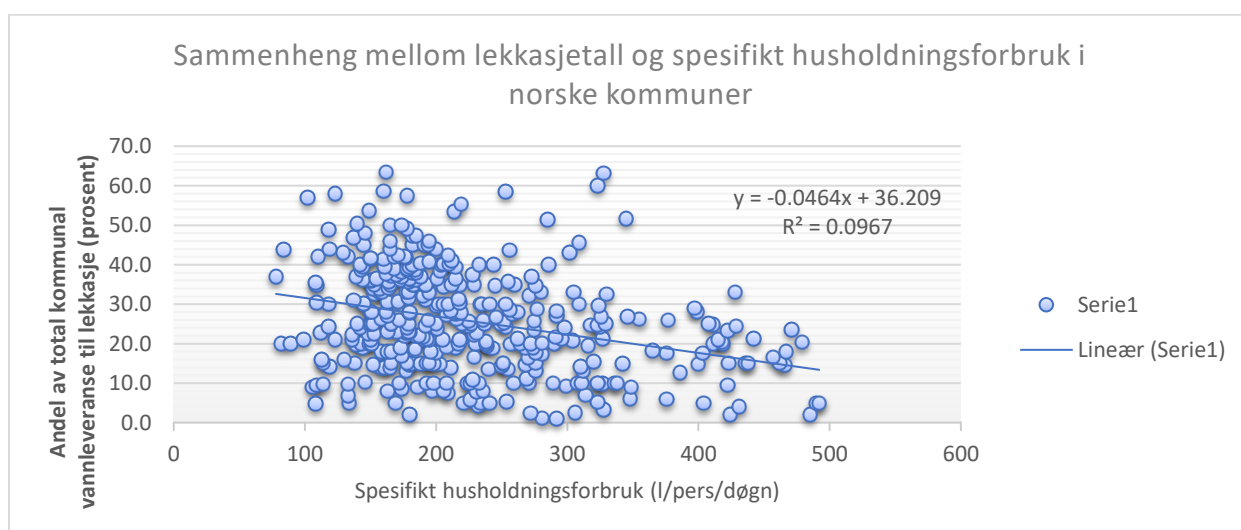
Tallene kommuner rapporterte inn for 2018 bekrefter tendensen til at det er sammenheng mellom rapportering av lavt lekkasjetall og rapportering av høyt husholdningsforbruk. Tabell 4 viser gjennomsnittlig lekkasjetall og husholdningsforbruk for de 20 kommunene med høyest og lavest lekkasjetall i Norge. Gjennomsnittene i tabell 4 tar kun hensyn til de innrapporterte verdiene fra hver enkelt kommune, ikke kommunens innbyggertall. Tallene viser at kommunene som melder om lavt lekkasjetap også melder om høyt husholdningsforbruk (Statistisk sentralbyrå, 2019).



**Tabell 4: Gjennomsnittlig lekkasjetall og husholdningsforbruk for de 20 kommunene med høyest og lavest lekkasjetall i 2018 ifølge SSBs statistikkbank. Tabellen viser at husholdningsforbruket er satt vesentlig mye høyere for de kommunene som påstår at lekkasjetallet er lavt. Gjennomsnittet tar ikke hensyn til antall innbyggere i hver kommune (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

	Gjennomsnittlig lekkasjetall (%)	Gjennomsnittlig husholdningsforbruk (l/pe/d)
De 20 kommunene med høyest lekkasjetall	55,5	183
De 20 kommunene med lavest lekkasjetall	4,3	280

Figur 7 viser sammenhengen mellom lekkasje prosent og husholdningsforbruk i alle norske kommuner. Det tas ikke hensyn til kommunenes innbyggertall. Figuren viser at det er en sammenheng mellom høyt husholdningsforbruk og lavt lekkasjetall. Dette underbygger teorien om at kommuner som rapporterer om et høyt husholdningsforbruk også oppgir et lavere lekkasjetall.



**Figur 7: det er en sammenheng mellom husholdningsforbruk og lekkasjetall. Kommunene som melder om et høyt husholdningsforbruk melder i større grad også om et lavt lekkasjetall. Her er det kun tatt hensyn til de innrapporterte verdiene i hver kommune, ikke kommunenes innbyggertall (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

## Lekkasjeberegninger

### ILI, mer rettferdig indikator på lekkasjetap

For å bedre kunne sammenlikne lekkasjevanntapet til ulike vanddistributører har IWA etablert begrepet *Infrastructure Leakage Index* (ILI). Denne legger til rette for en mer rettferdig sammenlikning enn kun hvor stor andel (%) av det produserte vannet som forsvinner i form av lekkasjer. ILI er en dimensjonsløs indikator som, i tillegg til lekkasjetapet, tar hensyn til lengden på kommunalt ledningsnett, gjennomsnittstrykk, tetthet av påkoblede stikkledninger og lengde på stikkledninger. Dette betyr at man ved sammenlikning av ILI istedenfor % lekkasjetap kan tillate et større lekkasjetap der man eksempelvis har lange rørstrekk eller stor andel stikkledninger (Winarni, 2009).

ILI beregnes som forholdet mellom CARL (Current Annual Real Losses) og UARL (Unavoidable Annual Real Losses). CARL er det reelle tapet fra distribusjonsnettet, oppgitt i L/døgn. UARL er den teoretiske laveste lekkasjemengden det er mulig å ha på distribusjonsnettet. Det regnes som umulig å drifte et system helt uten lekkasjetap. UARL tar hensyn til ledningsnettets fysiske forutsetninger (lengde, stikkledninger, trykk...), men tar utgangspunkt i at man ikke har noen økonomiske begrensninger når det kommer til reparasjoner og utskiftning av rør. UARL oppgis også i enheten L/døgn (Winarni, 2009).

$$ILI = \frac{CARL}{UARL}$$

CARL = Faktisk tap på distribusjonsnettet [L/døgn]

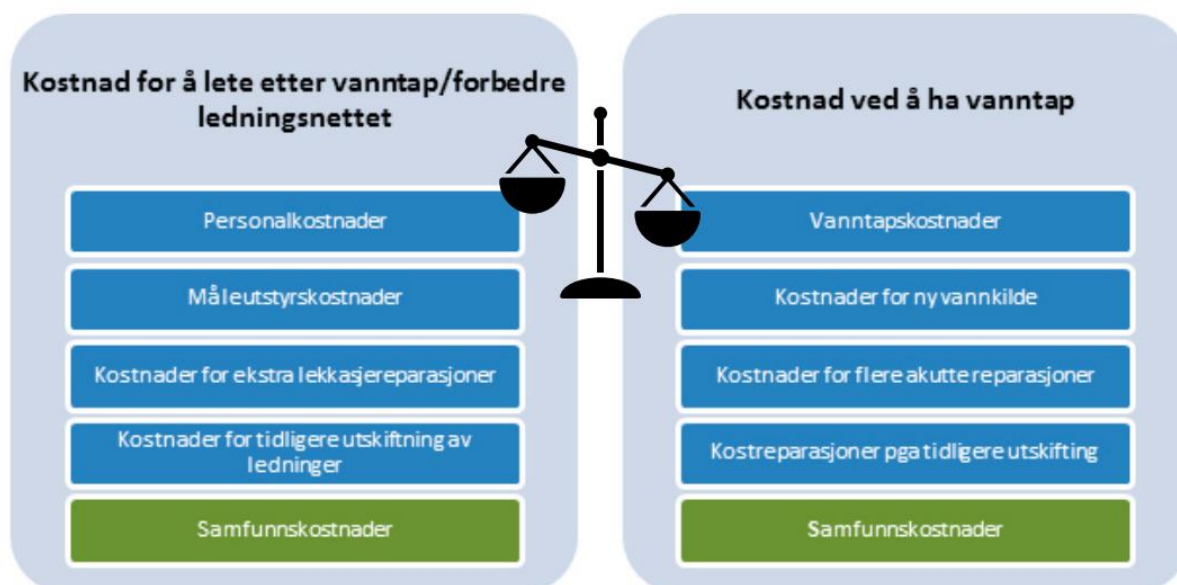
UARL = Uunngåelig tap på distribusjonsnettet [L/døgn]

Den beste ILI man kan oppnå er 1. Da har man et faktisk tap som tilsvarer det uunngåelige tapet (CARL = UARL). Dette trenger likevel ikke være målet for alle vanddistributører, i og med at økonomi ikke tas med i beregningen av ILI. Det vil altså ikke være økonomisk fornuftig eller gjennomførbart å oppnå en ILI på 1 i alle tilfeller (Winarni, 2009).

### Beregning av bærekraftig lekkasjenivå

I 2018 publiseres en Rapport (Malm et al., 2018) til bruk for beregning av bærekraftig lekkasjenivå. Rapporten gir en anbefaling til hvordan hver enkelt vanddistributør kan beregne sitt bærekraftige lekkasjenivå basert på europeiske standarder utarbeidet av International Water Association (IWA). Vedlagt rapporten ligger det regneark der vanddistributørene kan fylle inn egne opplysninger om sitt ledningsnett, og dermed få sitt estimat på bærekraftig lekkasjenivå.

Ut ifra beregninger av ILI og økonomiske forutsetninger har IWA utarbeidet en modell for beregning av bærekraftig lekkasjenivå (SELL - Sustainable Economic Level of Leakage). Figur 8 viser en oversikt over parametere som tas med i beregningen av bærekraftig lekkasjenivå (Malm et al., 2018).



**Figur 8: Oversikt over hvilke parametere som tas med i IWAs beregning av bærekraftig lekkasjenivå (Malm et al., 2018).**

Den nasjonale bærekraftstrategien for vannbransjen setter mål om at det nasjonale lekkasjetapet skal ned til maksimalt 20 % innen 2030. For noen vandrdistributører er en lekkasjeprosent på 20 % helt urealistisk med tanke på forutsetningene, mens andre allerede er godt innenfor dette målet. Det er derfor viktig at hver vandrdistributør bruker Norsk Vanns beregningsmetode for å finne sitt eget bærekraftig lekkasjenivå. Dersom alle vandrdistributører jobber for å få lekkasjetallet ned til sitt bærekraftige lekkasjenivå vil man på nasjonalt nivå kunne oppnå et lekkasjetall på under 20 %.

### Vannbalanseberegninger

I følge IWA og AWWA's standard (EPA, 2013) finnes det to metoder for å beregne hvor mye vann som går tapt i form av lekkasjer. Dette er vannbalansemetoden (topp-ned/top-down) og nattforbruksmetoden (bunn-topp/bottum-up). Selv om metodene burde gitt samme resultat, viser de seg å ha ulike egenskaper (Gupta & Kulat, 2018; Malm et al., 2018).

### Vannbalansemetoden

Vannbalansemetoden egner seg best til beregning av vannbalansen over lengre perioder (Bosnjakovic, 2017). Første steg i beregningen er å bestemme vannmengden sendt ut fra vannverket i en tidsperiode (typisk et år). Deretter bestemmer man hvor mye vann som har gått til forbruk i den samme perioden. Differansen mellom disse vannmengdene gir oss lekkasjemengden. Tabell 5 viser IWA's modell for vannbalanse.

**Tabell 5: IWA's vannbalansemodell (Alegre et al., 2016).**

Levert vannvolum til distribusjonsnett. (Vann fra eget vannverk, og importert vannvolum)	Legalt forbruk	Fakturert legalt forbruk	Fakturert målt forbruk	Fakturert vann
			Fakturert ikke-målt forbruk	
		Ikke-fakturert legalt forbruk	Ikke-fakturert målt forbruk	Ikke-fakturert vann
			Ikke-fakturert ikke-målt forbruk	
	Vanntap (Lekkasje)	Tilsynelatende tap	Illegalt forbruk	
		Virkelig vanntap	Vanntap på kommunale vannledninger	
Vanntap på private stikkledninger				

Ved hjelp av vannbalansemetoden beregner man lekkasjemengden slik:

$$\text{Lekkasjemengde} = \text{Levert vannmengde} - \text{Legalt forbruk}$$

Vannbalansemetoden er rask og enkel, men baserer seg ofte på grove estimater. Dette gjør beregningen unøyaktig (EPA, 2013). Vann distributørene vet stort sett hvor mye vann som sendes ut på distribusjonsnett fra vannverkene. Usikkerheten i vannbalansemetoden ligger i bestemmelsen av forbrukstallet.

Ved hjelp av å implementere sensorteknologi kan man øke nøyaktigheten til vannbalanseberegningen (Gupta & Kulat, 2018).

### Nattforbruksmetoden

Nattforbruksmetoden brukes som et supplement til vannbalansemetoden for å gi bedre oversikt over hvordan lekkasjemengden varierer over tid. Legalt nattforbruk beregnes ut ifra antakelsen om at gjennomsnittlig minimum nattforbruk per innbygger er 0,6 l/pe/t. Differansen mellom legalt nattforbruk og reelt minimum nattforbruk indikerer lekkasjemengden (Flatin, 2009).

Nattforbruksmetoden fungerer ikke optimalt for å beregne totalt lekkasjetap i løpet av en dag. Dette skyldes at trykket på distribusjonsnett er lavere på dagen når forbruket er høyt. Dersom man

hadde antatt at lekkasjemengden var like høy som ved minimums nattforbruk hele døgnet, ville man antatt en for høy lekkasje prosent (Gupta & Kulat, 2018).

Det finnes metoder for å overføre minimalt nattforbruk til total lekkasje prosent. Dette gjøres ved hjelp av matematiske formler som blant annet tar hensyn til trykkvariasjon. Det er usikkerhet i disse beregningene siden sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap ikke kan sies med sikkerhet. Blant annet vil lekkasjeprosenten fra elastiske rør (plastikk) øke mer ved en trykkøkning enn ikke-elastiske (Fox et al., 2015).

IWA viser til denne metoden for å beregne lekkasjetap ved hjelp av nattforbruksmetoden.

*Lekkasjemengde (l/time)*

$$= (\text{målt nattforbruk} - (\text{dråpetap} + \text{boligforbruk} + \text{næringsforbruk})) \\ * \text{time til dag trykkfaktor}$$

Trykkfaktoren tas med i beregningen for å ta hensyn til trykkvariasjonene over døgnet.

Parameterne som benyttes i IWA-metoden er ikke godt egnet til norske forhold. Dette kommer blant annet av at trykket ikke er likt i hele området man måler på (for eksempel innad i en målesone) (Flatin, 2009).

## Lekkasjesøk

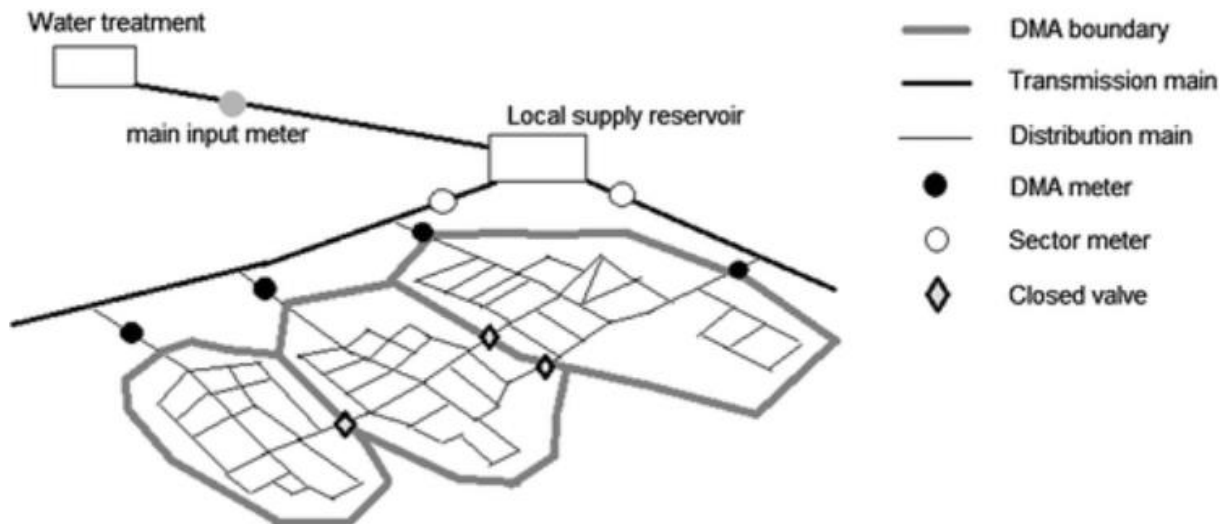
Dersom en vanddistributør ønsker å redusere lekkasjevanntapet er man først nødt til å finne ut hvor lekkasjene er. Dette gjøres ved hjelp av metoder innenfor grovlokalisering og finlokalisering.

Sonevanmåling benyttes for å finne ut hvilke områder på distribusjonsnettet som har høyest lekkasjetall. Deretter benyttes grovlokalisering til å bestemme hvilket rørstrekk/område lekkasjen befinner seg på. Ved hjelp av finlokalisering finner man lekkasjens posisjon på røret.

## Sonevanmåling

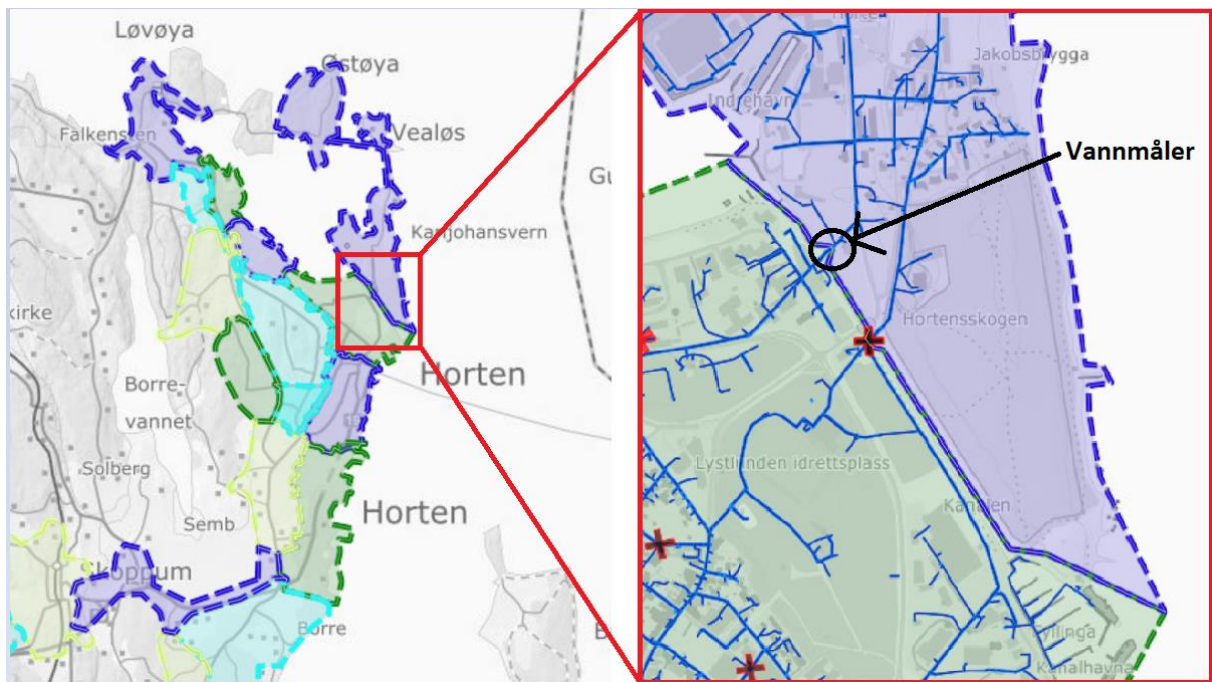
De fleste vanddistributører deler ledningsnettet inn i målesoner for å få en oversikt over vanntapet i ulike områder. Sonene avgrenses av vannmålere og stengte ventiler. Vannmålerne registrerer data kontinuerlig til vanddistributørens driftssentral. På denne måten har man oversikt over hvor mye vann som går inn og ut av målesonene via det kommunale ledningsnettet. Denne oversikten brukes til å bestemme hvor det skal iverksettes videre lekkasjesøk.

Figur 10 viser en skisse over et distribusjonsnett som er delt inn i vannmålesoner. De stiplede linjene omkranser hver målesone. På figuren ser man at hver sone avgrenses av enten en vannmåler («DMA meter») eller stengte ventiler («Closed valve»).



**Figur 9: Skisse av et distribusjonsnett som er delt inn i vannmålesoner. De duse grå linjene (DMA boundary) omkranser hver sin målesone. Målesonene avgrenses av enten sonevannmålere («DMA meter») eller stengte ventiler («Closed valve») (Ferrari et al., 2013).**

Figur 11 viser hvordan Horten kommune er delt inn målesoner (til venstre). Til høyre i Figur 11 ser man en mer detaljert framstilling av skillet mellom to målesoner. Vannet transporteres fra den grønne sonen til den blå. Vi ser at det er to vannledninger som krysser grensen mellom de to sonene. Den ene ledningen som krysser grensen er markert med et rødt kryss, noe som betyr at det er en stengt ventil der. Den blå sonen forsynes dermed bare fra en ledning. På ledningen som forsyner sonen er det plassert en vannmåler.



**Figur 10: Kart over målesonene i Horten kommune. Til høyre i bildet er det en mer detaljert framvisning av skillet mellom to soner, der også ledningsnettets vises. På det ene røret som krysser grensen mellom sonene er det plassert en vannmåler, på det andre røret som krysser grensen er det en stengt ventil (rødt kryss). Dette for å ha kontroll på vannforbruket i sonen.**

Typisk tidsintervann for registrering av data fra sonevannmålerne er et døgn eller en time. Det er vanlig å bruke nattforbruksmetoden i hver målesone. Dette gir en indikator på lekkasjetallet i sonen, og brukes for å bestemme hvor man skal prioritere å gjøre videre lekkasjesøk. Størrelsen på målsone varierer, men flere bykommuner prøver å sikte seg inn på 3000-6000 personer i hver sone (Flatin, 2009).

Inndeling av vannmålesoner medfører også behov for stengte ventiler på grensen mellom hver sone. Ventilene må stenges for at det ikke skal komme vann ut eller inn av en sone uten at dette registreres i sonevannmåleren. Dette skaper driftsproblematikk. Når ventiler stenges for å isolere målesoner blir det dannet flere endeledninger som fører til at behovet for spyling av rør øker. I tillegg kan stengte ventiler mellom målesonene minke leveringskapasiteten, noe som er spesielt kritisk ved brannslukking.

Soneinndelingen med stengte ventiler krever også mer av driftspersonellet og kartverket. Det er viktig å ha oversikten over hvilke ventiler som er lukket og stengt til enhver tid, og dette må oppdateres kontinuerlig. Dette for å ha full kontroll på hvor vannet på ledningsnettets renner, og at de avgrensede målesonene ikke får vannforsyning fra hverandre gjennom en åpen ventil. Er en ventil mellom to målesoner åpen vil dette medføre feil når innsamlet data fra sonevannmålerne skal analyseres (Flatin, 2009).

For driftsoptimalisering er det ønskelig med jevnlig kontroll og kalibrering av sonevannmålerne, samt at man bør forsyne hver målesone fra minst to ledninger (med en vannmåler på hver ledning). For å stole på målerdataen er det behov for å kontrollere at måleren fungerer som den skal (elektromagnetiske målere). Hvis man forsyner hver sone gjennom to sonevannmålere blir det mindre problematisk å stenge den ene inngangen ved behov. En toveis forsyning vil også gi økt kapasitet og et jevnere trykk (Flatin, 2009).

Prisen for utplassering av vannmålere på distribusjonsnettet vil variere mye med tanke på forholdene. Den største kostnaden vil være knyttet til byggearbeidet som skal til for å sette inn måleren. Enten må den eksisterende kummen bygges om, eller så må det bygges en ny kum. Dersom man ønsker å unngå bruk av batterier, må det også føres strøm fram til kummen.

Horten kommune antar at det kan koste opp mot 200 000 kr å etablere en ny kum med vannmåler. Asker kommune antok at det å etablere en ny kum kunne koste rundt 1 000 000 kr. Ifølge Horten kommune lå prisen for strøm og dataabonnement på 362 kr per måler i januar 2019.

Det vanligste er å ha en permanent soneinndeling med stasjonære vannmålere. Men det er mulig å plassere ut mobile vannmålere ved behov, noe som er vanlig i distriktene (SCC Prosjektering, 2008b).

## Grovlokalisering

De vanligste metodene innenfor grovlokalisering er lytting i kummer og ventilstengninger. Ved hjelp av grovlokalisering kan man bestemme hvilket rørstrekk/område lekkasjen befinner seg på (Flatin, 2009).

## Ventilstengning

Ventilstengning er ofte den enkleste metoden og den som gir best resultat, men den innebærer ofte risiko for trykkløst nett som kan føre til innsug av forurensninger. En annen ulempe med metoden er at den vil medføre at abonnentene får brunt vann som følge av at man endrer vannstrømmens retning og hastighet. Endring av vannets retning og hastighet fører til at avsetninger på innsiden av rørveggen løsner og blander seg med vannet, og vannet får dermed brun farge. (Flatin, 2009; SCC Prosjektering, 2008b).

Grovlokalisering ved hjelp av ventilstengning medfører at man blir nødt til å stenge vannet til en rekke forbrukere. Dette fordi lekkasjesøket kan forstyrres av variasjoner i forbruket. Det er derfor ønskelig å utføre ventilstengningen på natten, når forbruket er minst.

Metoden går ut på at man stenger ventiler (som normalt er åpne), slik at deler av ledningsnettet ikke får tilført vann. Samtidig overvåkes vannforbruket fra driftssentralen. Dersom vannforbruket går drastisk ned som følge av stengningen indikerer dette at det befinner seg en lekkasje på det «avkoblede» ledningsnettet. Ventilstengningen gjøres i flere steg, slik at man til slutt kan finne fram til hvilket ledningsstrekk lekkasjen befinner seg på (Flatin, 2009; SCC Prosjektering, 2008b).



Et tiltak som gjøres for å redusere faren for undertrykk i rørene er å strupe ventilene istedenfor å stenge dem helt. Da vil det bli enklere å opprettholde et visst trykk slik at man unngår innsug. (Flatin, 2009)

Ventilstilling	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enkel metode</li> <li>- Godt resultat</li> </ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Innebærer fare for trykkløst nett, og innsug av forurensning.</li> <li>- Brunt vann til forbrukerne</li> <li>- Arbeidet må gjennomføres på natten</li> </ul>

### Lytting i kummer

Grovlokalisering ved hjelp av lytting i kummer krever ikke stenging av vann, og dermed ingen risiko for undertrykk på ledningsnett og innsug av forurensning. Metoden går ut på å plassere ut lydloggere (lydregistrator tilkoblet datalogger) og registrere lyd i ulike strategisk valgte kummer. Lyden fra en lekkasje vil forplante seg i vannmassen og i rørmaterialet og bli tatt opp av lydloggeren. Når man sammenlikner lydregistreringen fra de ulike loggerne vil man kunne anta hvor lekkasjen befinner seg. Denne metoden vil kun gi en indikasjon på lekkasjens størrelse. Lekkasjelydens frekvens og energi må analyseres nærmere for å kunne si noe om lekkasjen er stor eller liten (SCC Prosjektering, 2008b).



**Figur 11: Ut plassering av lydloggere på ledningsnett. M1, M2, M3 og M5 indikerer en utplassert lydlogger. Lekkasjen ligger nærmest M2, og lyden vil dermed være kraftigere i denne lydloggeren. Når lydbildet fra alle lydloggerne sammenliknes kan man anta lekkasjens posisjon (SCC Prosjektering, 2008b).**

Begrensningen til lydloggerne ligger i hvor godt lyden fra lekkasjen registreres. Rørmaterialet påvirker hvor godt lekkasjelyden forplanter seg i røret. Lyden forplanter seg dårlig i rør av lyddødt materiale (plast, asbest, glassfiber, betong), sammenliknet med rør av lydledende materialer (metall). I tillegg kan lydregistreringen forstyrres av annen støy fra omgivelsene, som for eksempel trafikk, rennende vann (bekk) eller regnvær. I en rapport fra Norsk Vann (Flatin, 2009) oppgir 50 % av

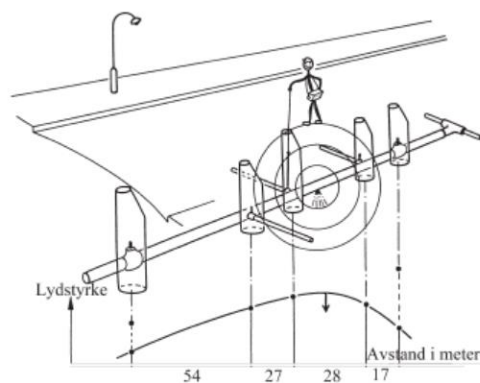
vann distributørene som har bidratt med informasjon til rapporten at de har dårlig erfaring med lydloggere på grunn av dette (SCC Prosjektering, 2008b).

Ved bruk av lydloggere må man ta hensyn til rørmaterialet man skal søke på. Dersom man skal lytte i kummer der ledningsnett er av lydledende materiale kan lydloggerne plasseres opp mot 300 m fra hverandre. Der man har lyddødt materiale bør man ikke plassere loggerne lenger enn ca. 100 til 150 meter fra hverandre. Det er mulig å bruke lydloggere med vannkontakt dersom rørene er av lyddødt materiale, man kan da plassere lydloggerne opp til 300 meter fra hverandre (SCC Prosjektering, 2008b).

Lytting i kummer	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ingen fare for undertrykk og innsug av forurensning.</li><li>- Medfører ikke brunt vann.</li><li>- Trenger ikke å utføre arbeid om natten.</li></ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Virkningen begrenses av hvor godt lekkasjelyden forplanter seg i røret.</li><li>- Lyttingen forstyrres av støy fra omgivelsene.</li><li>- Metoden gir kun en indikasjon på lekkasjens størrelse.</li></ul>

## Ventillytting

Ventillytting er en variant av grovlokalisering ved hjelp av lyd. Her logges lyden i alle tilgjengelige punkter etter tur. Mikrofonen er ofte stavformet. Figur 13 viser hvordan en person går rundt og registrerer lyd i kummene. Ved sammenlikning av den registrerte lyden kan man finne ledningsstrekke med lekkasje. Det finnes utstyr som gjør det mulig å lytte til ventilene fra bakkenivå (fra toppen av kumløkket). Man slipper dermed å åpne og gå ned i selve kummen, og sparer mye tid. Vann i Vestfold bruker ventillytting fra bakkenivå til grovlokalisering (Flatin, 2009; SCC Prosjektering, 2008a).



**Figur 12: Hvordan ventillytting gjennomføres. En lekkasjesøker går rundt og registrerer lydbildet i tilgjengelige punkter. Dette benyttes til å bestemme hvilket rørstrekk lekkasjen befinner seg på (SCC Prosjektering, 2008b).**

Ventillytting forstyrres av støy fra ledningsnettet. Dette kan være støy fra pumper, reduksjonsventiler, tapping av vann eller andre lekkasjer (SCC Prosjektering, 2008b).

Ventillytting	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingen fare for undertrykk og innsug av forurensning.</li> <li>- Medfører ikke brunt vann.</li> </ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Virkningen begrenses av hvor godt lekkasjelyden forplanter seg i røret.</li> <li>- Forstyrres av lyd fra ledningsnettet.</li> </ul>

## Finlokalisering

Når man vet hvilket rørstrekk lekkasjen befinner seg på, benytter man finlokalisering for å finne ut hvor på røret den befinner seg. Det finnes flere forskjellige måter å utføre en finlokalisering på. Valg av metode må man se i forhold til hvilket rørmateriale lekkasjen befinner seg på og hvor nøyaktig posisjon man trenger å ha. Dersom man må grave opp for å fikse lekkasjen vil dette for eksempel være mer kostbart midt i en trafikkert gate midt i byen enn i et skogsområde. For at man skal slippe å grave opp mer enn man må er det et større krav til nøyaktig lokalisering av lekkasjen i den trafikkerte gaten.

Det er vanlig å finlokalisere en lekkasje ved hjelp av to ulike metoder for å kunne bestemme lekkasjens posisjon med større sikkerhet før man begynner å grave. Den vanligste metoden for finlokalisering på rør av lyddødt materiale er akustisk korrelasjon ved hjelp av hydrofoner. Denne metoden kombineres gjerne med marklytting eller gass (Flatin, 2009).

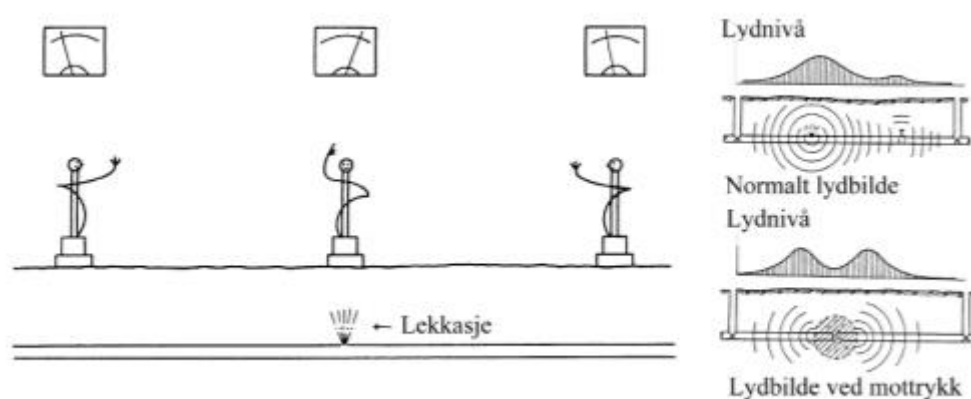
## Akustiske metoder

De akustiske metodene benytter seg av lyden og vibrasjonene lekkasjen sender ut for å lokalisere lekkasjen. Lyd og vibrasjoner forplanter seg både i væsken i røret og i rørmaterialet. Metodene vil ha begrenset virkning på rør av lyddødt materiale og på rør med stor diameter. I tillegg kan de akustiske

metodene forstyrres av bakgrunnsstøy. Metodene kan også være tidskrevende. Ny teknologi har klart å modifisere de akustiske teknikkene slik at virkningen er god til tross for begrensningene (Gupta & Kulat, 2018).

### Marklytting

Marklytting utføres ved at mikrofoner plasseres på bakken over røret der den aktuelle lekkasjen, man fant ved grovlokaliseringen, befinner seg. Metoden baserer seg på at lekkasjelyden forplanter seg fra røret og opp til bakken. Figur 14 viser marklytterne plassert over et rør med lekkasje, og hvilket lydbilde man får ut med metallisk rørmateriale. En erfaren lytter kan ved hjelp av marklytting bestemme lekkasjens posisjon med ca. 0,1 m nøyaktighet (SCC Prosjektering, 2008a).



**Figur 13: Hvordan marklyttere plasseres på markoverflaten over røret med lekkasje. Til høyre i bildet vises lydbildet man får ut fra målingen. Lydbildet brukes til å bestemme lekkasjens posisjon (SCC Prosjektering, 2008a).**

Metodens virkning avhenger av hvor dypt under bakken røret ligger og hvilke masse som ligger over røret. Størrelsen på lekkasjen og trykket i røret er også avgjørende for hvor godt lekkasjelyden lar seg registrere på markoverflaten. Marklyttingen forstyrres av støy fra omgivelsene, men det finnes utstyr som klarer å filtrere bort dette (SCC Prosjektering, 2008a).

Marklytting	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- God nøyaktighet.</li> <li>- Trenger ikke å stenge ventiler.</li> </ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Massene over røret kan begrense hvor godt lyden høres på markoverflaten.</li> <li>- Størrelsen på lekkasjen og trykket i røret påvirker også lekkasjelydens forplantningsevne.</li> </ul>

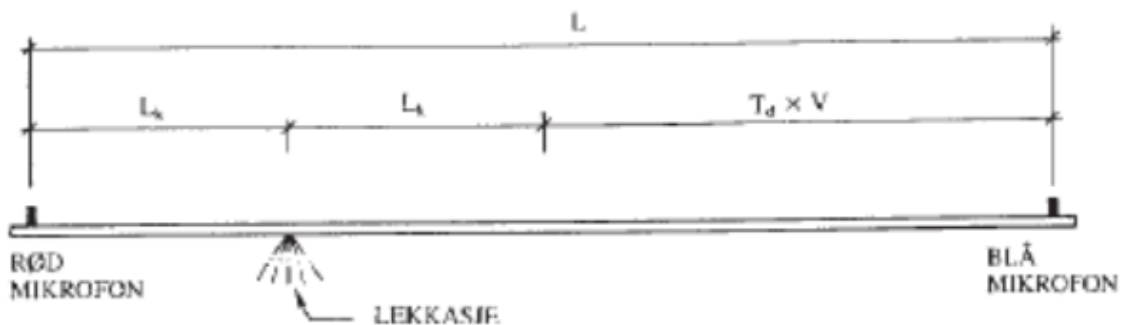
### Akustisk korrelasjon

Akustisk korrelasjon går ut på at man registrerer lyd på hver side av lekkasjen ved hjelp av mikrofoner. Ved å sammenlikne lydbildet i de to punktene kan man beregne hvor lekkasjen befinner

seg. Akustisk korrelasjon fungerer uavhengig av støy fra omgivelsene (trafikk, regn, bekk ...), men kan forstyrres av lyder og vibrasjoner fra ledningsnett (pumper, ventiler, tapping, andre lekkasjer ...) (SCC Prosjektering, 2008a).

Figur 15 viser to mikrofoner (rød og blå) som er plassert på hver sin side av lekkasjen. Ved hjelp av lekkasjelydens forplantningshastighet ( $V$ ), tidsforsinkelsen mellom den registrerte lyden hos de to mikrofonene ( $T_d$ ), og lengden mellom mikrofonene ( $L$ ) kan man finne avstanden fra mikrofon til lekkasje ( $L_k$ ). Formelen for som brukes for å finne  $L_k$  er:

$$L = 2 * L_k + T_d * V$$



**Figur 14: For å finne lekkasjens posisjon er to mikrofoner (rød og blå) plassert på hver sin side av røret. Ved hjelp av lyden som registreres i hver mikrofon kan man bestemme lekkasjens posisjon (SCC Prosjektering, 2008a).**

Metoden kan benyttes på alle rørmaterialer, men det er stor variasjon på hvor langt rørstrekket mellom hver mikrofon kan være. Hvor langt rørstrekk man kan ha mellom hver mikrofon avhenger av hvor god lyd/vibrasjon lekkasjen lager og hvor følsomt utstyr man bruker. På metallrør kan man normalt utføre akustisk korrelasjon på et rørstrekk mellom 300 og 500 meter (SCC Prosjektering, 2008a).

Dersom man ønsker å utføre søk på lengre rørstrekk kan man benytte seg av hydrofoner. Mikrofoner tar opp den lavfrekvente lyden, mens hydrofoner tar opp den hørfrekvente. Den lavfrekvente lyden forplanter seg lengre ut i rørstrekket enn den hørfrekvente. Dette vil si at man vil kunne måle på et lengre rørstrekk ved hjelp av hydrofoner enn ved mikrofoner (SCC Prosjektering, 2008a).

På rør av lyddødt materiale benyttes også hydrofoner (her er det vanligvis bare lavfrekvente lyder å måle på). For å få en troverdig lokalisering av lekkasjen anbefales det ikke å plassere hydrofonene lenger enn 350 meter fra hverandre ved bruk på rør av lyddødt materiale (SCC Prosjektering, 2008a).

Akustisk korrelasjon	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Påvirkes ikke av støy fra omgivelsene.</li> <li>- Trenger ikke å stenge ventiler.</li> </ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Påvirkes av støy fra ledningsnett.</li> <li>- Begrenset virkning på rør av lyddødt materiale.</li> </ul>

### Ikke-akustiske metoder

Den mest benyttede ikke-akustiske metoden for finlokalisering av lekkasjer i Norge er bruk av sporgass. Metoden benyttes først og fremst på små lekkasjer (opptil 1 L/s), og kan benyttes på alle typer rørmateriale. Bruk av sporgass krever at rørstrekket stenges fra ledningsnett (ved lukking av ventiler), noe som medfører driftsmessige utfordringer (Undertrykk/innsug, brunt vann, kutting av vannforsyning) (Flatin, 2009; SCC Prosjektering, 2008a).

Etter at rørstrekket er stengt fra resten av distribusjonsnett, fører man gass inn i røret. Gassen siver opp til markoverflaten, og kan spores på bakken over røret. Lekkasjestedet bestemmes ut ifra der sporgassen ble detektert. Metoden fungerer godt, men kan være begrenset i områder med tette flater (Flatin, 2009; SCC Prosjektering, 2008a).

Lekkasjedeteksjon ved hjelp av sporgass	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fungerer like godt på alle rørmaterialer</li> </ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fare for trykkløst nett og innsug av forurensning.</li> <li>- Brunt vann.</li> <li>- Kan ha begrenset effekt i områder med tette flater.</li> </ul>

### Ressurser brukt på lekkasjesøk

Alle de 15 vanddistributørene som svarte på Norsk Vanns spørreundersøkelse om lekkasjekontroll i 2009 (Flatin, 2009) hadde egne ansatte for utførelse av lekkasjesøk. Årsverkene omfatter både personellet som utfører administrative oppgaver knyttet til lekkasjesøk, og personellet utfører lekkasjesøket i praksis.

Hvor mange årsverk som var satt av til lekkasjedeteksjon varierte med antall innbyggere i kommunen. Kommunene med flest innbyggere, hadde også flest årsverk til lekkasjesøking. Tabell 6 viser en oversikt over virksomhetene som svarte på Norsk Vanns undersøkelse i 2009, og hva de svarte på spørsmål om ressursene som ble brukt på lekkasjesøk. For eksempel ser vi at Oslo, kommunen med flest innbyggere, brukte 13 årsverk på lekkasjesøk (Flatin, 2009).

**Tabell 6: Oversikt over ressursene ulike virksomheter brukte på lekkasjesøking i 2009. (Flatin, 2009)**

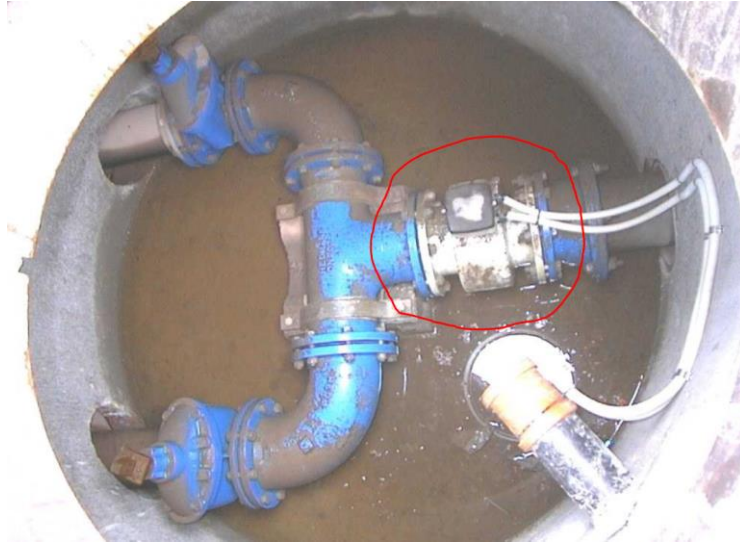
Virksomhet	Kontinuerlig?	Egne ansatte?	Organisering operatørnivå	Biler
Asker	Hele året	Ja, 2	Ett lag	Nei
Bærum	Hele året	Ja, 3	Ett lag	Ja, 2
Gjøvik	Hele året	Ja, 1 ++	1 person + sommervikar	Ja, 1
Hamar	1-2 mnd	Ja, + innleie	2 lag a 2 personer	Nei
Kristiansand		Ja		
Moss	Nei, ad hoc	Ja	Ikke systematisert	Nei
Oslo	Hele året	Ja, 13	3 nattskiftlag+2 dagskiftlag	Ja, 3
Porsgrunn		Ja		
Stavanger	Hele året	Ja, 4	2 lag a 2 personer	Ja, 2
Trondheim	Hele året	Ja, 2,5 + innleie	2 lag	Ja, 2
Voss	Fokus hele året	Ja	Utføres av vannverkets personell	Ja, felles
GVD, Godt Vann Drammen	Hele året	Ja, 3	2 lag a 1 person + noe bistand fra kommunen	Ja, 2
VIV, Vestfold Interkomm v.v.	Hele året	Ja, 4	3 lag a 1 person + noe bistand fra kommunen	Ja, 3
Multiconsult	Hele året	Ja, 3	Lag sammen med oppdragsgivers mannskaper	Ja
Eide vassverk	Fokus hele året	Ja	Utføres av vannverkets personell	Nei

## Vannmålere

I dag brukes vannmålere både i nøkkelpunkter på distribusjonsnettet og for å måle forbruket hos abonnentene. Norge har liten vannmålerdekning hos husholdningene, men storforbrukere har som oftest vannmåler. Måling av vannforbruk hos abonnentene hentes i dag først og fremst inn for å danne et bedre faktureringsgrunnlag. Forbruksdata fra vannmålere plassert hos abonnenter samles nesten utelukkende inn kun en gang i året, mens data fra vannmålerne på det kommunale distribusjonsnettet logges kontinuerlig til driftssentralen via et nettverk.

Vannmålere på distribusjonsnettet brukes for å danne målesoner der man har kontroll på hvor mye vann som går inn til et område og hvor mye som forsvinner i form av forbruk og lekkasjer. Data fra vannmålerne på ledningsnettet hentes automatisk inn til driftssentralen, og brukes til å bestemme hvor man skal prioritere videre lekkasjesøk.

Det finnes flere typer vannmålere på markedet, som baserer seg på ulik teknologi. De mest vanlige vannmålerne i Norge i dag er elektromagnetiske målere og roterende målere. Felles for disse målerne er at de monteres som en ekstra komponent på rørstrekket. Vannmåleren kobles på vannledningen ved hjelp av en flens i begge ender. Figur 16 viser hvordan en vannmåler er koblet på til et rørstrekk i Horten kommune. Vannstrømmen transporteres gjennom måleren, og det blir mulig å bestemme volumstrømmen (Ødegaard, 2014).



**Figur 15: Nedsynet i en kum med vannmåler i Horten kommune. På det ene rørstrekket er det plassert en vannmåler. Det er tegnet en ring rundt vannmåleren.**

På figur 16 ser man også at det er to ledninger koblet til vannmåleren. Disse tilfører måleren strøm og henter ut data fra måleren.

Videre forklares de ulike prinsippene for vannmengdemåling ved hjelp av vannmålere. Prinsipper for vannmengdemåling beskrives blant annet av (Ødegaard, 2014), (Devold, 2012) og (Engineering ToolBox, 2003).

### Elektromagnetiske vannmålere

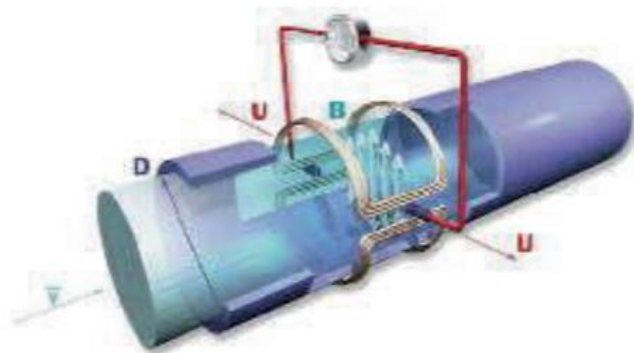
Elektromagnetiske vannmålere er den mest vanlige vannmåleren. Målerne krever lite vedlikehold, og levetiden er nærmest ubegrenset ved måling av rent vann (kan bli slitasje dersom det er partikler i vannet). Målenøyaktigheten er god, men den kan bli dårlig dersom det oppstår luft eller bobler i væskestrømmen. Den elektromagnetiske vannmåleren er avhengig av strømtilførsel, enten fra batteri eller fra strømmettet.

Elektromagnetiske målere bruker prinsippet i Faradays induksjonslov:

$$U = K(\text{Instrumentkonstant}) * B * V * D(\text{Diameter})$$

Prinsippet visualiseres i figur 17. Ved hjelp av to spoler (på hver side av røret) sendes det strøm gjennom røret. På grunn av strømmen dannes det et magnetfelt (B) inne i røret. Den induerte spenningen (U) vil variere med hastigheten vannet har gjennom røret. U detekteres ved hjelp av to elektroder, og brukes til å beregne vannstrømmens hastighet (V).





**Figur 16: Visualisering av hvordan en elektromagnetisk vannmåler fungerer (Devold, 2012).**

Elektromagnetiske vannmålere	
<b>Positivt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- God målenøyaktighet</li> <li>- Krever lite vedlikehold</li> <li>- Nærmest ubegrenset levetid ved måling av rent vann.</li> </ul>	<b>Ulemper:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Målenøyaktigheten kan forstyrres dersom det er luft eller luftbobler i røret.</li> <li>- Partikler i vannstrømmen kan føre til slitasje på måleren.</li> </ul>

### Roterende vannmålere

En roterende måler fungerer ved at et vingehjul eller en turbin roterer som følge av vannstrømmen som passerer måleren. Rotasjonshastigheten er proporsjonal med vannhastigheten, og brukes til å bestemme volumstrømmen. En Woltmannmåler, som er avbildet i figur 18, er et eksempel på en roterende vannmåler. Inne i Woltmannmåleren er det montert et vingehjul.



**Figur 17: En Woltmannmåler. Denne måleren kan benyttes som både sonevannmåler og forbruksmåler (AxFlow).**

Problemet med roterende målere er at de er sårbare for partikler. Partiklene påvirker målingene og kan ødelegge måleutstyret. For å hindre disse problemene kan man montere et filter i forkant av måleren. Når filteret etter hvert blir tett oppstår det imidlertid et nytt problem.

Selv om det er store mengder partikler i filteret vil vannet likevel trenge gjennom, men filteret vil nå fungere som en dyse. Dette fører til at vannet som passerer filteret vil ha økt hastighet, og det roterende hjulet i måleren vil rotere forttere. Måleren vil dermed vise en høyere volumstrøm enn hva som er reelt. En annen begrensning ved roterende måler er at de ofte krever en rettstrekning foran måleren (ca. 3 ganger rørdiameteren).

Roterende målere er mye brukt som vannmåler i husholdninger. For at måleren skal ha god målenøyaktighet over tid er det viktig å sørge for at vannet ikke inneholder partikler som kan ødelegge utstyret, og at måleren rengjøres jevnlig.

Roterende vannmålere	
Positivt: - Kan ha god målenøyaktighet ved riktig bruk.	Negativt: - Svært sårbar for partikler - Krever ofte en rettstrekning foran måleren.

## Ultralydmålere

Ultralydmålere sender lydbølger gjennom røret, og bruker de observerte lydrefleksjonene til å bestemme vannhastigheten i røret. Det finnes to ulike typer ultralydmålere: Målere basert på dopplereffekten og målere som baserer seg på transittid.

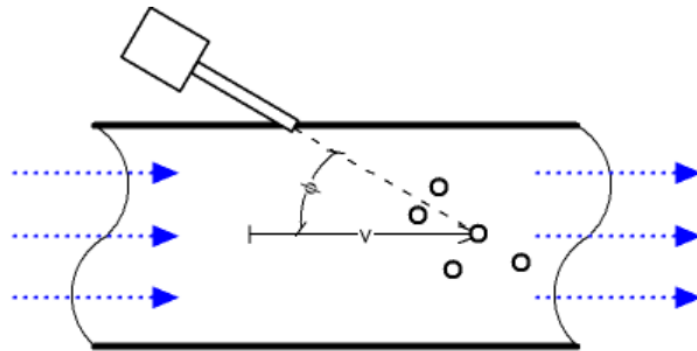
I motsetning til elektromagnetiske og roterende målere kan en ultralydmåler monteres på utsiden av et eksisterende rør. En ultralydmåler montert på utsiden av et rør kalles en clamp-on måler. Det at måleren er clamp-on medfører at det ikke er behov for fysiske inngrep i ledningsnett for montering av måleren. I tillegg vil den ikke forstyrre vannstrømmen (i form av trykktap).

En negativ side ved å montere måleren på utsiden av røret er at målenøyaktigheten vil avta. Hvor mye nøyaktigheten avtar vil avhenge av rørmaterialet.

### Ultralydmålere basert på dopplereffekten

En vannmåler basert på dopplereffekten er avhengig av at partikler i vannet reflekterer lyden tilbake til måleren. Derfor er denne metoden ikke egnet for måling av rent drikkevann. Norsk Vann ga i 2012 ut en veiledning for valg av sensorer og måleutstyr i VA-teknikken (Devold, 2012). I veiledningen omtales ultralydmålere basert på dopplereffekten som en vannmåler med stor usikkerhet.

Figur 19 viser en prinsippskisse for hvordan en ultralydmåler basert på dopplereffekten fungerer. Hastigheten ( $v$ ) i røret beregnes ut ifra den observerte lyden som reflekteres fra partiklene i vannet og vinkelen ( $\theta$ ) mellom måleren og vannstrømmen i røret.

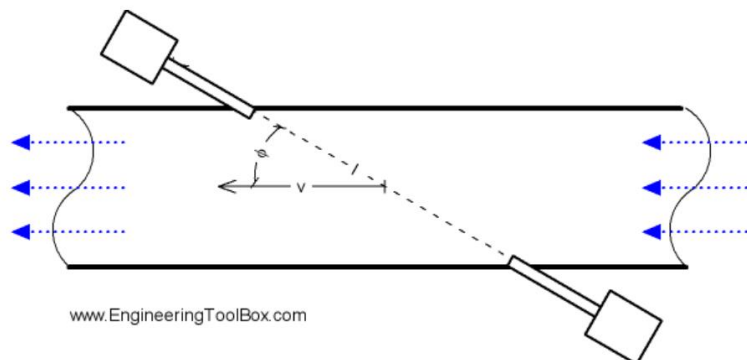


**Figur 18: Hvordan en ultralydmåler basert på dopplereffekten fungerer (Engineering ToolBox, 2003).**

Dopplereffekten er at frekvensen til en lydbølge endrer seg med hvordan kilde og observatør beveger seg i forhold til hverandre. En ultralydmåler som baserer seg på dopplereffekten tar utgangspunkt i frekvensendringen og overfører denne til hvordan måleren (observatøren) og vannet i røret (kilden) beveger seg i forhold til hverandre. På denne måten finner man volumstrømmen i røret.

#### Ultralydmålere basert på transittid

Ultralydmålere basert på transittid sender ut lydbølger fra hver sin side av røret. Det sendes en lydbølge motstrøms og en medstrøms med en vinkel ( $\theta$ ) på 45 grader, slik vist på figur 20. Begge lydbølgene observeres på motsatt side av røret. Tidsdifferansen mellom de observerte lydbølgene overføres til hvor høy hastigheten i røret er. Dersom væsken i røret sto i ro ville tidsdifferansen mellom de observerte lydbølgene vært 0.



**Figur 19: Hvordan en ultralydmåler basert på transittid fungerer (Engineering ToolBox, 2003).**

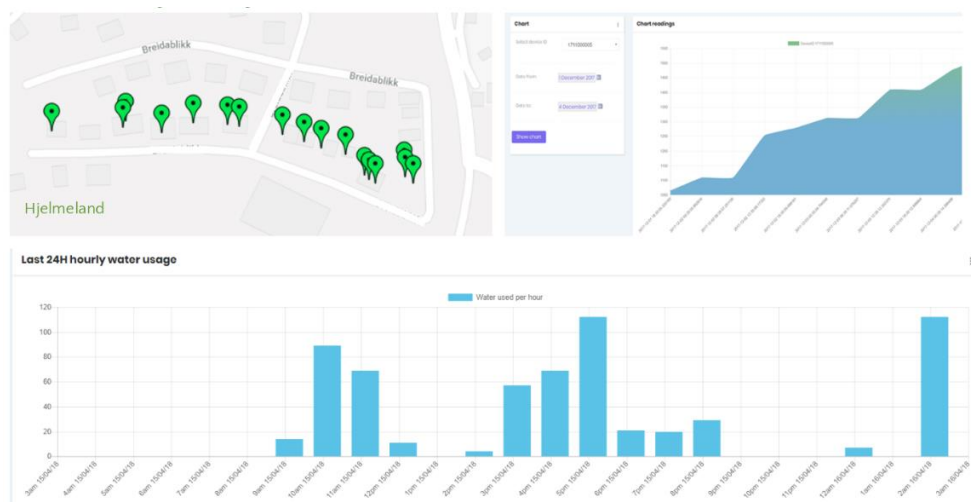
Måleren er avhengig av at røret er helt fylt med væske og et det er et rettstrekk før og etter måleren. Måleren har ingen bevegelige deler og er helt vedlikeholdsfri. Måleren er også godt egnet til å måle svært små volumstrømmer. Den bruker også lite strøm.

Ultralydmålere	
<b>Positivt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- God målenøyaktighet, også ved liten gjennomstrømning.</li> <li>- Mulighet for å montere måleren på utsiden av røret (clamp-on)</li> <li>- Bruker relativt lite strøm</li> <li>- Vedlikeholdsfrie</li> </ul>	<b>Negativt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clamp-on målere får redusert målenøyaktighet.</li> <li>- Avhengig av rette ledningsstrek før og etter måleren.</li> </ul>

## Digitalisering av vannmålere

Et alternativ til å implementere nye vannmålere med datasendere er å digitalisere eksisterende vannmålere. Dette gjøres ved å montere en enhet til vannmåleren. Enheten leser av målerdata fra vannmåleren og sender data via et nettverk.

Westcontrol er et firma i Norge som leverer en løsning for digitalisering av vannmålere. Westcontrol har testet ut løsningen på husholdninger i Hjelmeland kommune siden september 2017. Prosjektet er gjort i samarbeid med IVAR og Telia Norge, med støtte fra Innovasjon Norge. Figur 21 viser en visualisering av dataen som hentes inn fra vannmålerne i Hjelmeland. Data fra husholdningene blir hentet inn hver 6. time (Bergeland, 2019).



**Figur 20: Visualisering av husholdningsforbruket i Hjelmeland kommune.**

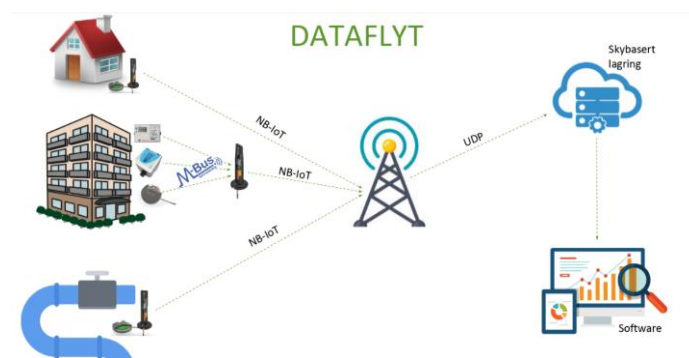
**Husholdningsvannmålere i Hjelmeland kommune har blitt digitaliserte med mulighet for kontinuerlig logging av data ved hjelp av Westcontrols løsning (Bergeland, 2019).**

Løsningen til Westcontrol er universell, og kan monteres på alle typer vannmålere på markedet uavhengig av leverandør. Dersom man ønsker automatisk avlesning av vannmålere i dag er man ofte nødt til å kjøpe inn alle vannmålere fra samme leverandør, og benytte deres infrastruktur og

programvare. Westcontrols løsning er mer fleksibel fordi den gir mulighet til å velge mellom alle typer vannmålere, og benytte de vannmålerne som allerede er installert(Bergeland, 2019).

Løsningen til Westcontrols er batteridrevet og kan monteres på både forbruksvannmålere og vannmålere på ledningsnett (sonevannmålere). Westcontrol utførte et forsøk der de plasserte avsenderen 1 m ned i en kum. Dette fungerte fint (Bergeland, 2019).

Westcontrols enhet kan kommunisere data direkte til basestasjonen eller via gateway som samler data fra husholdninger og sender dem til basestasjonen. Vannmålerdataen lagres i en skybasert tjeneste, og analyseres i driftssentralen. Figur 22 visualiserer hvordan vannmålerdataen samles inn ved bruk av Westcontrols system. Hvor ofte data skal samles inn kan varieres ut ifra kommunens ønske (Bergeland, 2019).



**Figur 21: Hvordan data fra vannmålere hentes inn ved hjelp av Westcontrols system (Bergeland, 2019).**

Kostnaden per enhet vil variere ut ifra hvor stort volum som kjøpes. Ved bestilling av ca. 200 enheter vil hver enhet koste ca. 2000 kr. Arbeidet med montering av enheten til vannmåleren tar mellom 10 og 30 minutter. Dersom målerdataen skal sendes direkte til basestasjonen vil dataabonnementet koste 6-8 kr i måneden per enhet (ved hjelp av NB-IoT). Abonnementet vil bli lavere dersom dataen kan sendes via en felles gateway (Bergeland, 2019).

Batteriet i hver enhet vil optimalt sett være på over 8 år. Levetiden varierer med signalstyrke, temperatur og hvor hyppig enheten sender data. Kostnaden knyttet til utskifting av batteri er ukjent, men arbeidet vil ta mellom 10 og 30 minutter (Bergeland, 2019).

Ved implementering av Westcontrols løsning følger det også med en drift/serviceavtale. Med en slik avtale vil Westcontrol sørge for at systemet fungerer slik det skal og at det utføres service på enheter som sender feilmeldinger (Bergeland, 2019).

## Innsamling av vannmålerdata

Sonevannmålere på distribusjonsnettet er som oftest koblet opp mot et nettverk, og registrerer sanntidsmålinger som sendes til vanddistributørens driftssentral. Dette er ikke vanlig for husholdningsvannmålere.

Vannmålere i husholdninger blir som oftest lest av manuelt kun en gang i året. Huseieren må selv lese av tallet på vannmåleren og sende dette inn til kommunen (Ramsdal, 2017). Med ny teknologi vil det være mulig å lese av forbruksdataen automatisk, noe som blir mer og mer vanlig. (Hansen, 2011)

## Manuell avlesning

En vannmåler med manuell avlesning vil bidra til at en kommune vil få bedre datagrunnlag på husholdningsforbruket. Datagrunnlaget kan benyttes til å fakturere abonnentene på en mer rettferdig måte og vil sørge for en mer nøyaktig lekkasjeberegning.

Vannmåler-leverandøren AxFlow leverer en mekanisk vingehjulsmåler som koster 1300 kr og har en levetid på mellom 7 og 10 år. Det koster ca. 1500 kr for montering av måleren. Denne mekaniske vingehjulsmåleren er den vannmåleren AxFlow selger mest av. Det mest vanlige er at vannmåleren leses av manuelt, men Axflow leverer også en modul som kan festes til måleren slik at den kan leses av automatisk (Økland, 2019).

Innsamling av data fra vannmålere med manuell avlesning er ressurs- og tidkrevende prosess. Kommunene må sende ut pålegg om at alle husholdningsvannmålere skal leses av, og at avlesningen skal sendes inn. Dette gjøres som oftest en gang i året. En person i hver husstand må deretter lese av vannmåleren og sende inn forbrukstallet til kommunen. Det krever mye ressurser fra kommunens side å samle inn data på denne måten. I tillegg medfører denne metoden fare for avlesningsfeil.

## Automatisk avlesning

Ved installering av vannmålere med automatisk avlesning (AMR eller AMS) trenger ikke forbrukerne og involveres når vannmålerdataen skal samles inn. Vannmåleren sender ut et radiosignal som kan hentes inn automatisk ved hjelp av en mottaker.

Kamstrup er et firma som leverer ultralydmålere med automatisk avlesning. Måleren koster 750 kr, og har en levetid på ca. 16 år. Måleren går på batteri. Når levetiden har utgått byttes hele måleren ut. Det koster ca. 1000 kr å installere/bytte ut måleren (Lillejord, 2019).

Mottakeren som henter inn data fra de automatisk avlesbare vannmålerne kan være både mobil og stasjonær. Innhenting av data ved hjelp av en mobil mottaker foregår som oftest ved at en bil med en mottaker kjører rundt i kommunens gater og henter inn vannmålerdataene. Metoden kalles gjerne for drive-by-metoden. Innhenting av data ved hjelp av en stasjonær mottaker krever ikke noe manuelt arbeid og man har muligheten til å hente inn data kontinuerlig (for eksempel en gang per dag eller en gang i timen).

Innhenting av data ved hjelp av en mobil mottaker vil være billigere enn ved innsamling til en stasjonær mottaker. Grunnen til dette er at man slipper å betale for dataabonnement til målerne.

Innsamling ved hjelp av en mobil mottaker er likevel mer resurskrevende enn ved stasjonær mottaker.

Ved innsamling av data ved hjelp av en stasjonær mottaker vil det også være mulig bruke dataen til å overvåke lekkasjesituasjonen på det kommunale distribusjonsnettet. Ved kontinuerlig innhenting av data vil man få oversikt over variasjonene i forbruket. Ved bruk av vannbalansemetoden over korte tidsintervaller (for eksempel en gang i døgnet) vil man kunne se hvordan lekkasjetallet varierer, og når det eventuelt oppstår en lekkasje. Tabell 7 viser hva man vil oppnå ved automatisk innsamling av data med mobil og stasjonær mottaker, og ved manuell avlesning av vannmålere.

**Tabell 7: Fordelene ved implementering av husholdningsvannmålere med manuell avlesning og automatisk avlesning ved hjelp av mobil og stasjonær mottaker.**

	Innsamling av data ved hjelp av mobil mottaker (drive-by)	Innsamling av data ved hjelp av stasjonær mottaker (kontinuerlig innsamling av data)	Innsamling av data fra vannmålere med manuell avlesning
Bedre datagrunnlag som kan benyttes til å fakturere forbrukere og gjør gode lekkasjeberegninger.	Ja	Ja	Ja, men innsamling av data er mer resurskrevende og har større feilkilder.
Kontinuerlig lekkasjeovervåkning	Nei	Ja	Nei

Ny teknologi muliggjør kommunikasjon av sensordata ved hjelp av mobilnettet (4G-nettet).

Fordelene ved dette er raskere kommunikasjon med lavt energiforbruk. For sensorer som går på batteri er dette spesielt gunstig. NarrowBand-Internet of Things (NB-IoT) er et eksempel på en ny kommunikasjonsteknologi som kommuniserer via det eksisterende 4G-nettet. Kommunikasjon av vannmålerdata via NB-IoT vil koste ca. 100 kr per måler per år (Lorentzen, 2018; Telenor, 2019).

Automatic Meter Reading (AMR) (også omtalt som Automatisk MålerAvlesning (AMA)) og Advanced Metering Infrastructure (AMI) (også omtalt som avansert måle- og styringssystem (AMS)) er to ulike teknologier som benyttes til automatisk avlesning av vannmålere. Vannmålere som brukes i AMI kalles ofte «smarte vannmålere». Hovedforskjellen mellom AMR og AMI er at AMR baserer seg på enveis kommunikasjon mellom vannmåler og mottaker, mens AMI baserer seg på toveis kommunikasjon (Godwin, 2011).

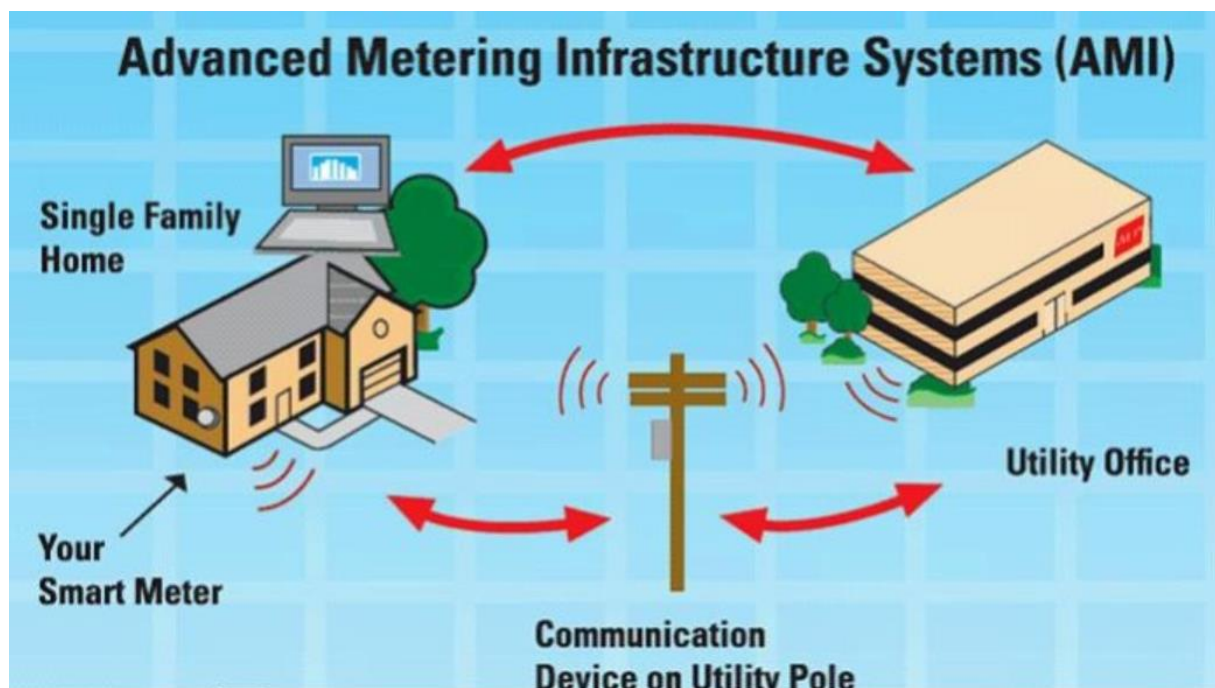
## Automatic Meter Reading (AMR)

Vannmålere som baserer seg på AMR har kun mulighet til å sende data en vei. Vannmålerdataen sendes ut fra vannmåleren og tas imot enten av en mobil eller stasjonær mottaker. Dersom mottakeren er stasjonær vil det være mulig å lese av forbruksdata kontinuerlig med så korte tidsintervaller man måtte ønske (Godwin, 2011; Hawkins & Berthold, 2015).

AMR er på vei til å bli en moden teknologi, og tas i bruk i flere norske kommuner. AMR-systemer fungerer godt til å hente inn vannmålerdata raskt og effektivt. Kommuner som benytter seg av AMR kan oppleve driftsmessige problemer som i mange tilfeller kunne vært løst i et AMI-system (Godwin, 2011; Hansen, 2011).

## Advanced Metering Infrastructure (AMI)

I motsetning til AMR er AMI en toveis kommunikasjon. Vannmålerne i et AMI-system kan sende og motta informasjon fra og til andre sensorer (for eksempel andre vannmålere) og vanddistributørens analyseprogram. Avlesning av vannmålere ved hjelp av AMI kalles ofte «Smart Water Metering», og man kaller vannmålerne for «Smarte vannmålere» (Hansen, 2011; Leonetti, 2017).



**Figur 22: Prinsippskisse for hvordan kommunikasjon ved hjelp av AMI foregår (Leonetti, 2017).**

Halden kommune er i gang med å teste ut smarte vannmålere. Måleren som kommunen ønsker å innføre hos sine husholdninger inneholder en dynamo som genererer strøm når vann renner gjennom måleren. Måleren vil være tilknyttet internett via Telenors nettverk, Nb-IoT. Innbyggerne vil få en kontinuerlig oversikt over sitt vannforbruk, samt muligheten til å skru av vannforsyningen uansett hvor de måtte befinne seg (Engebretsen, 2019).

AMI for strømmålere er allerede tatt i bruk i Norge. Innen 2019 skal alle norske husholdninger ha installert en strømmåler knyttet til et AMI-system (ENOVA).



Hvaler kommune har allerede kommet langt når det gjelder utplassering av smarte vannmålere. Implementeringen fører til store økonomiske besparelser og kommunen får god kontroll på vannforsyningen. Husholdningene slipper å lese av vannmåleren manuelt, og eventuell lekkasje i husstanden oppdages umiddelbart. Data fra vannmåleren rapporteres gjennom AMI-strømmåleren (Tharaldsen, 2017).

## Eksempler på ulike vanddistributørers lekkasjesituasjon

Informasjon om Kroksjøen Vannverk (Kristiansson, 2019), Asker kommune (Aune, 2019) og Horten kommune (Lerdal, 2019) og Vestfold Vann (Bjørndahl, 2019) er hentet inn via møter og mailutveksling med de ulike virksomhetene.

### Seoul Metropolitan Government

Sør-Koreas hovedstad, Seoul, er i dag en av byene i verden med minst lekkasjer på distribusjonsnettet. Slik har det ikke alltid vært. Tidligere forsvant 62 % av det produserte vannet i form av lekkasjer. I 1989 ble «Office of Waterworks of the Seoul Metropolitan Government» etablert, og det ble lagt stor innsats i å redusere lekkasjetap og å danne et bedre faktureringsgrunnlag for forbrukerne. Et viktig tiltak som ble gjort var å plassere ut vannmålere, både på strategiske plasser på ledningsnettet og hos forbrukerne (Choi et al., 2014; Seoul Metropolitan Government, 2016).

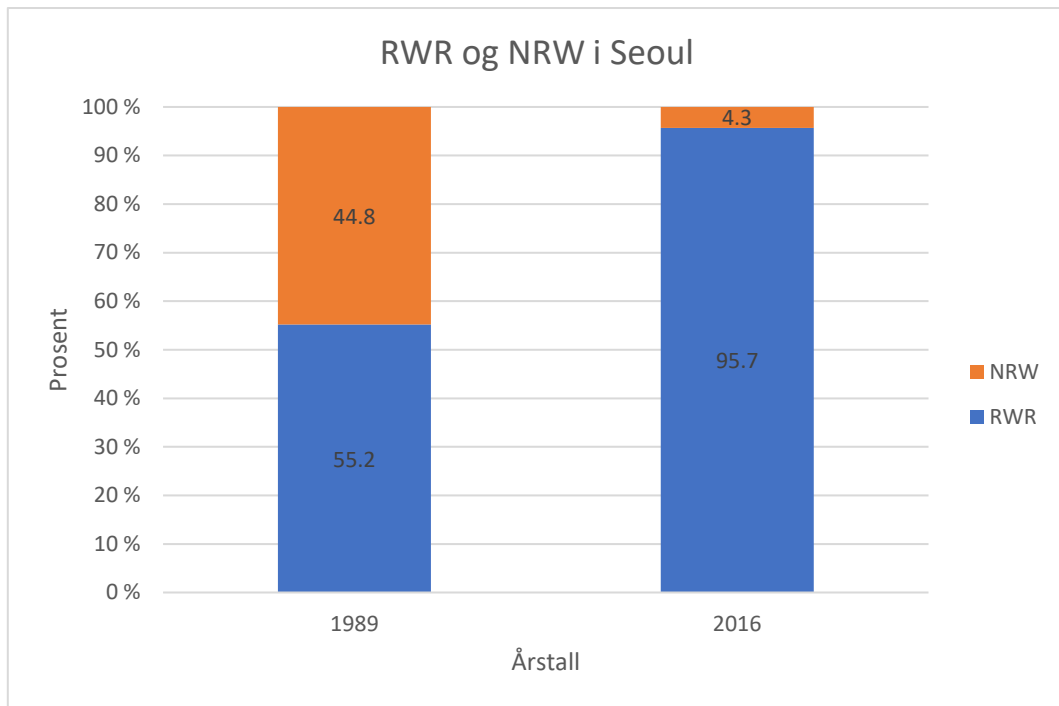
Seoul Metropolitan Government bruker «Revenue Water Ratio» (RWR) som mål på hvor stort vanntapet på distribusjonsnettet er. Dette er prosentandelen av den produserte vannmengden som blir fakturert. Her inngår altså kun vannet som forbrukerne faktisk betaler for. Ikke-fakturert vann (både lekkasjevann og ikke-fakturert forbruk) blir sett på som et tap, dette omtales som Non-Revenue Water (NRW). Det var nødvendig både å redusere vannmengden til lekkasjer og å sørge for at forbruksvannet ble fakturert for å øke RWR (Choi et al., 2014).

Seoul har sin egen vannbalansemodell, men denne er svært lik vannbalansemodellen til IWA. Den fakturerte og ikke-fakturerte vannmengden tilsvarer det samme i begge modellene. Tabell 8 gir en oversikt over fakturert og ikke-fakturert forbruk i IWA's vannbalansemodell (Choi et al., 2014).

**Tabell 8: IWAs vannbalansemodell. Seoul Metropolitan Government setter mål til andelen fakturert forbruk (RWR).**

Levert vannvolum til vann-nett. (Vann fra eget vannverk, og importert vannvolum)	Legalt forbruk	Fakturert legalt forbruk	Fakturert målt forbruk	Fakturert vann, RWR
			Fakturert ikke-målt forbruk	
		Ikke-fakturert legalt forbruk	Ikke-fakturert målt forbruk	Ikke-fakturert vann, NRW
		Ikke-fakturert ikke-målt forbruk		
	Vanntap (Lekkasje)	Tilsynelatende tap	Illegalt forbruk	
		Virkelig vanntap	Vanntap på kommunale vannledninger	
Vanntap på private stikkledninger				

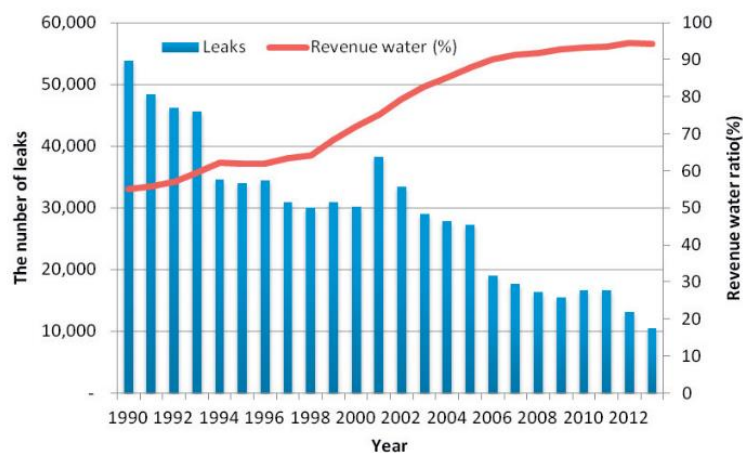
Da «Office of Waterworks» ble etablert i 1989 hadde Seoul en RWR på 55,2 %. I 2016 hadde Seoul kommet opp på en RWR på 95,7 %. Dette vil si at kun 4,3 % av vannet som ble sendt ut fra vannverkene forsvant i form av lekkasjer eller ikke-fakturert forbruk. Altså er lekkasjeandelen under 4,3 %. Utviklingen i fakturert og ikke-fakturert vannmengde visualiseres i Figur 25 (Choi, 2016; Seoul Metropolitan Government, 2016).



**Figur 23: Utviklingen i RWR og NRW i Seoul fra 1989 til 2016.**

Mellom 1990 og 2013 sparte Seoul Metropolitan Government 7,5 billioner tonn med vann. Det besparte vannet ville vært nok til å forsyne 10 millioner innbyggere i Seoul med vann i 6-7 år.

Det ble iverksatt flere tiltak for å redusere lekkasjetapet. Antall lekkasjer ble redusert med 82,5 % fra 1990 til 2013. Figur 26 viser reduksjonen i antall lekkasjer sammen med økningen av RWR fra 1990 til 2013. Målet er å oppnå en RWR på 97 % innen 2022 (Choi et al., 2014; Seoul Metropolitan Government, 2016).



**Figur 24: Sammenheng mellom reduksjon av antall lekkasjer og økning av RWR i Seoul (Choi et al., 2014).**

Som følge av mindre vanntap har behovet for vannproduksjon blitt redusert. I 1989 var det 10 vannverk som forsynte Seoul, med en kapasitet på 7 300 000 m<sup>3</sup>/d. I dag driftes kun 6 av anleggene med en kapasitet på 4 350 000 m<sup>3</sup>/d (Seoul Metropolitan Government, 2016).

## Bruk av vannmålere

For å få oversikt over vannforbruk og lekkasjetap på distribusjonsnettene i Seoul ble vannmålere plassert både i utløpet fra vannverkene, på distribusjonsnettene og hos forbrukerne.

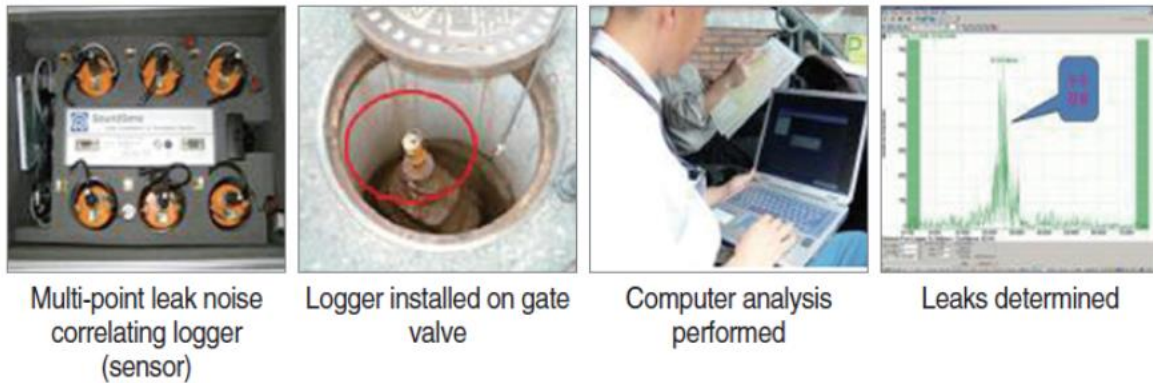
Inndeling av målesoner brukes for å skaffe informasjon om hvilke deler av ledningsnettene som er utsatt for vanntap. Ved utgangen av 2014 var Seoul delt inn i 29 store målesoner som igjen var delt inn i 100 mellomstore med totalt 2037 små soner. De mellomstore målesonene er adskilt med vannmålere og stengte ventiler, slik at man har kontroll på vannforbruket i sonen. Vannforbruket i alle de 100 mellomstore sonene overvåkes i sanntid. Dersom RWR er høy i en mellomstor sone undersøkes RWR også i de små målesonene (som ligger inne i den aktuelle mellomstore sonen) (Choi, 2016).

For å få oversikt over hvor mye vann som gikk til forbruk ble det plassert vannmålere på innløp til alle abonnenter. En kilde til NRW er vannmålere som måler feil. En årsak til feilmåling kan være at vannstrømmen er for liten til at vannmåleren registrerer den. I Seoul ble det gjort arbeid med å sørge for at alle husholdninger hadde vannmåler, og at denne fungerte (Choi et al., 2014).

Måling av minimum nattforbruk brukes til å bestemme hvilke områder på distribusjonsnettene man skal iverksette aktiv lekkasjekontroll. I dag måler man bare minimum nattforbruk i de små sonene som ligger i en mellomstor sone med lav RWR. Dette gjøres ved å stenge ventiler slik at den lille sonen isoleres fra omkringliggende rørnett. Ved hjelp av vannmålere finner man minimum nattforbruk i sonen (Choi, 2016).

## Lekkasjedeteksjon

I tillegg til vannmålere har Seoul også plassert lydlogger på strategiske steder på ledningsnettene. Disse fanger opp lyd, og brukes til å indikere hvor og når en lekkasje oppstår. Lydbildet som registreres i lydloggerne sendes kontinuerlig til driftssentralen. Figur 27 viser hvordan lydloggerne og avlesningen i driftssentralen ser ut (Seoul Metropolitan Government, 2016).



**Figur 25: Lydloggerne i Seoul Metropolitan Government er plassert ut i kummer, og dataen fra lydloggerne presenteres i driftssentralen (Seoul Metropolitan Government, 2016).**

Når minimum nattforbruk og lydloggerne indikerer at en lekkasje har oppstått benyttes akustisk korrelasjon for å finne lekkasjens posisjon. Deretter utføres tiltak for å reparere lekkasjen (Seoul Metropolitan Government, 2016).

Seoul Metropolitan Government har 4-5 arbeidere som utfører lekkasjedeteksjon hver dag. Lekkasjedeteksjonen foregår mellom kl. 0100 og 0400. En person går rundt og måler minimum nattforbruk i målesonene, mens tre til fire personer utfører finlokalisering av lekkasjer (Seoul Metropolitan Government, 2016).

## Kroksjøen Vannverk

Kroksjøen vannverk distribuerer vann i et område med spredt bebyggelse. På grunn av store områder med lange ledningsstrek og begrenset antall ansatte, har ikke vannverket kapasitet til å drive aktivt lekkasjesøk til enhver tid. Vannverket har også tilgang på nærmest ubegrensede vannkilder som er billig å distribuere. Disse faktorene har ført til et høyt lekkasjetap.

For å redusere lekkasjetapet skal vannverket investere i et nytt driftskontrollsystem. De vurderer også å utføre tiltak for å senke driftstrykket på ledningsnett. Det blir også gjort lekkasjesøk dersom vannproduksjonen øker betraktelig.

Kroksjøen vannverk ligger nederst i Hedmark fylke på grensen til Sverige. Vannverket forsyner 4 500 av litt over 6000 innbyggere i Eidskog kommune med drikkevann. Vannverket henter i dag vann fra to grunnvannskilder. Disse har god kapasitet. Det ble heller ikke registrert noen nedgang i vannstanden under tørkeperioden i 2018. Vannverket har også muligheten til å ta i bruk en tredje grunnvannskilde dersom det skulle være behov for dette. Denne har større kapasitet enn de to grunnvannskildene som brukes i dag til sammen.

## Økonomi

I dag er produksjonskostnadene til vannverket ca. 10 kr per m<sup>3</sup> distribuert vann. Kostnaden inkluderer både rensing og transport (pumping) av vannet. I dag blir vannet kun behandlet for å

unngå korrosjon i rørene, før det sendes ut på distribusjonsnett. Vannverket har klor tilgjengelig, for desinfisering av vannet, dersom det skulle påvises patogene mikroorganismer i råvannet.

I dag er det fast pris på husholdningsforbruket av vann. Prisen er altså ikke basert på vannmålere i husholdningen. Hver husholdning må betale 479 kr per år, pluss 479 kr per medlemmer av husstanden. Storforbrukerne faktureres på grunnlag av vannmåler. Prisen for storforbrukere er 13,15 kr per m<sup>3</sup> (Kroksjøen Vannverk, 2018).

## Lekkasjetall

Kroksjøen vannverk har liten oversikt over hvor stort lekkasjetallet er. Det de har oversikt over er minimum nattforbruk og den totale vannmengden som sendes ut på distribusjonsnett. Beregning av lekkasjetall baserer seg på minimum nattforbruk, totalt levert vannmengde og antatt forbrukstill.

Minimum nattforbruk varierer utover året. På vinteren ligger minimum nattforbruk generelt på 50 m<sup>3</sup>/t, mens den totale vannproduksjonen er 1850 m<sup>3</sup>/d. Gjennomsnittlig minimum nattforbruk over et år ligger på 40 m<sup>3</sup>/t. Det lavest målte nattforbruket i 2018 var 30 m<sup>3</sup>/t. Sommeren 2018 var man oppe i et minimum nattforbruk på 90 m<sup>3</sup>/d, og vannverket ble nødt til å innføre vanningsforbud. Årsaken til variasjonene i minimum nattforbruk skyldes i stor grad frosttapping på vinteren (forbrukerne lar vannet renne for å unngå at vannet i rørene fryser) og hagevanning på sommeren.

Kroksjøen vannverk har ikke oversikt over hvor mye av minimum nattforbruk som faktisk går til husholdningsforbruk. Tabell 9 viser utregning av lekkasjetallet med antakelsen om at lekkasjer utgjør henholdsvis 80 % og 50 % av minimum nattforbruk. Dette er en utregning Kroksjøen vannverk har gjort selv.

Utregningen er gjort med utgangspunkt i et minimum nattforbruk på 50 m<sup>3</sup>/t og en total vannproduksjon på 1850 m<sup>3</sup>/d, altså slik tilstanden er om vinteren. I tillegg antas det at 7,5 m<sup>3</sup>/t går til frosttapping. Frosttappingen trekkes fra minimum nattforbruk før lekkasjeandelen beregnes. Utregningen tar ikke hensyn til trykkvariasjonen over døgnet.

**Tabell 9: Kroksjøen Vannverks utregning av mulige lekkasjetall. Vannverket har oversikt over «Nattforbruk» og «Totalt vannforbruk døgn». De andre variablene er basert på antakelser. Venstre side av tabellen tar utgangspunkt i at 80 % av minimum nattforbruk går til lekkasje, og høyre side av tabellen tar utgangspunkt i at 50 % går til lekkasje. Vannverket antar at 10 abonnenter har frosttapping på 0,2 l/s, noe som vil utgjøre 7,2 m<sup>3</sup>/t. Den antatte frosttappingen trekkes ifra minimum nattforbruk før videre utregninger gjennomføres. Utregningen antar at lekkasjemengden er lik hele døgnet (tar altså ikke hensyn til trykkvariasjoner).**

Nattforbruk	50m <sup>3</sup> /t	Nattforbruk	50m <sup>3</sup> /t
Frosttapping 10 abonnenter 0,2l/s	7,2m <sup>3</sup> /t	Frosttapping	7,2m <sup>3</sup> /t
Lekkasje /v antatt 80% av nattforbruk	34,24m <sup>3</sup> /t	Lekkasje /v antatt 50%	21,4m <sup>3</sup> /t
Lekkasje pr. døgn	821,76m <sup>3</sup>	Lekkasje pr. døgn	513,6m <sup>3</sup>
Totalt vannforbruk døgn	1850 m <sup>3</sup>	Totalt vannforbruk døgn	1850m <sup>3</sup>
Lekkasjetall for døgn X	$821,76m^3/1850m^3*100 = 44,4\%$	Lekkasjetall for døgn X	$513,6m^3/1850m^3*100 = 27,76\%$

Ifølge denne utregningen vil man totalt sett ha 44,4 % lekkasje dersom man antar at 80 % av minimum nattforbruk går til lekkasjer. Dersom man antar at 50 % av minimum nattforbruk går til lekkasjer vil den totale lekkasjemengden utgjøre 27,76 %.

Kroksjøen Vannverk må i likhet med andre vanddistributører melde inn tall lekkasjetall og forbrukstall til MAST hvert år. Ifølge SSBs database hadde Eidskog kommune et lekkasjetall på 33,4 % og et husholdningsforbruk på 260 l/pe/d i 2018. Til sammen leverte Kroksjøen Vannverk 37 044 m<sup>3</sup> vann ut fra sine vannverk i 2018 (Statistisk sentralbyrå, 2019).

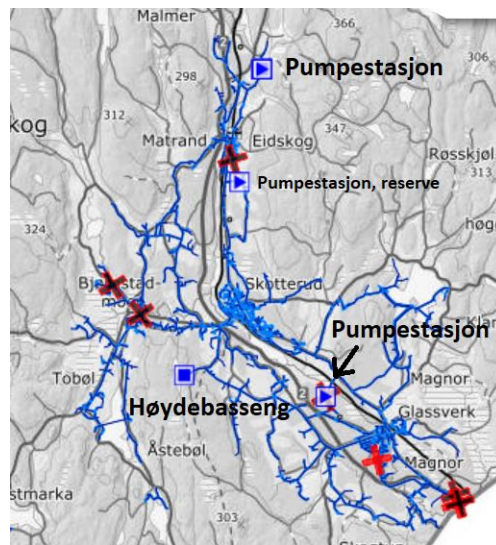
**Tabell 10: En oversikt over Lekkasjetall og husholdningsforbruket i Eidskog kommune i 2018, Hentet fra statistikkbanken til SSB (Statistisk sentralbyrå, 2019).**

	Andel av total kommunal vannleveranse til lekkasje	Estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per tilknyttet innbygger per døgn
Eidskog kommune	33,4 %	260 l/pe/d

## Distribusjonsnett

Distribusjonsnett til Kroksjøen vannverk består i dag av to pumpestasjoner, et høydebasseng og ledningsnett. Pumpestasjonene er tilknyttet hvert sitt vannverk som henter vann fra hvert sitt grunnvannsreservoar. Pumpestasjonene pumper vannet opp til et høydebasseng. Fra høydebassenget renner vannet på selvføll ned til forbrukerne. Det er spredt bebyggelse, noe som

fører til lange ledningstrekk uten anboringer. Figur 28 viser et kart over distribusjonsnettet til Kroksjøen Vannverk.



**Figur 26: Distribusjonsnettet til Kroksjøen Vannverk. Pumpestasjoner er markert som trekant, og høydebasseng er markert som firkant. Pumpestasjonene som ligger øverst og nederst på bildet driftes i dag. Disse pumpestasjonene er tilknyttet hvert sitt vannverk som henter vann ut fra to forskjellige grunnvannsreservoarer. Pumpestasjonen i midten av bildet er kun en reserve. De to pumpestasjonene som driftes i dag pumper vann opp til høydebassenget. Vannet renner på selvføll fra høydebassenget og ned til forbrukerne.**

I dag består ledningsnettet til Kroksjøen vannverk i stor grad av gamle vannledninger. Hovednettet er eldst. Deler av nettet ble bygget i etterkrigstiden og er av dårlig kvalitet. De eldste rørstrekene har torv i skjøtene. I dag jobber vannverket med å skifte ut de eldste rørene.

## Lekkasjesøk

Lekkasjesøk iverksettes dersom:

- Forbrukere melder ifra om at de har mistet vannet.
- Vannverket oppdager at vannleveransen øker unormalt mye.

Når dette skjer kjører ansatte i vannverket ut for å se etter lekkasjevann som pipler opp fra bakken. Vannverket benytter seg også av ventilstengning for å bestemme hvor lekkasjen befinner seg.

Dersom man ikke finner noe vann som pipler opp på markoverflaten graver man seg ned til røret for å finne lekkasjen. Dette er mulig fordi store deler av rørstrekene befinner seg i skogsområder (koster lite å grave i skog). Kroksjøen Vannverk bruker ikke noe utstyr for å lokalisere lekkasjer, som for eksempel lytteutstyr. Dersom røret er av metall hender det at de bruker metalldetektor til å finne selve røret.

Kroksjøen vannverk estimerer at de bruker 150 timer i året på lekkasjelokalisering og tetting av lekkasjer (Kristiansson, 2019).



## Vannmålere

I dag har Kroksjøen vannverk kun tilgang på data fra to vannmålere på distribusjonsnettet. Ved hver pumpe-stasjon er det montert en vannmåler som registrerer hvor mye vann som sendes til høydebassenget. Disse vannmålerne er koblet til et nettverk, og sender data kontinuerlig til driftssentralen.

De fleste husholdningene Kroksjøen vannverk leverer vann til har vannmåler, men vannverket har ikke tilgang på forbruksdata fra disse. Vannmålerne er installert for å danne et faktureringsgrunnlag for avløpshåndteringen. Dette er det selskapet GIVAS (Glåmdal interkommunale vann og avløpsselskap IKS) som tar seg av. Det er ikke noe samarbeid mellom Kroksjøen vannverk og GIVAS.

## Interesse for utplassering av flere vannmålere

I dag er interessen for implementering av flere vannmålere lav. Dette har med å gjøre at driftskostnadene er lave og at vannressursene er store. Kroksjøen Vannverk ser ikke stor nytteverdi i å installere flere vannmålere på distribusjonsnettet.

En implementering av vannmålere måtte i så fall ha vært svært billig. Dersom man kunne investert mellom 300 000 og 400 000 kr og fått en god oversikt over ledningsnettet kunne dette være aktuelt.

Det kunne vært interessant med en vannmåler på knutepunktet opp til høydebassenget. Denne måtte kunne bestemme vannets strømningsretning, slik at man kan si noe om høydebassenget fikk tilført eller ble tappet for vann.

## Asker kommune

Asker kommune ligger vest i Akershus fylke, og er en forstad til Oslo. Kommunen har jobbet målrettet for å redusere lekkasjetallet de siste 5 årene. Som følge av dette har lekkasjeandelen gått fra 40 % til 22 %. I 2018 ble 1 million kubikkmeter med vann spart på grunn av lekkasjereduksjonen. En mer finmasket soneinndeling er et av tiltakene som har blitt gjort for å redusere lekkasjetallet.

Andre faktorer som har ført til lekkasjereduksjon er at Asker jobber godt med saken. Totalt sett bruker Asker kommune 3 årsverk på lekkasjesøk. De har også et godt samarbeid med byggesaksavdelingen, som sender ut pålegg til husholdninger dersom lekkasje blir detektert på stikkledning. Kommunen mener at det er 3-4 ganger så mye lekkasjer på stikkledninger som på kommunale ledningsnettet.

Asker kommune forsynes av vann fra Holsfjorden (som er en del av Tyrifjorden). Til sammen distribuerer Asker kommune vann til ca. 60 000 personer. Holsfjorden er en god vannkilde med god kapasitet. Vannkilden ble ikke påvirket under tørkeperioden i 2018, og kommunen innførte heller ingen restriksjoner på hagevanning. Til sammen leverte Asker kommune 6 162 892 m<sup>3</sup> vann i 2018 (Statistisk sentralbyrå, 2019).

## Beregning av lekkasjetall

Asker kommune bruker vannbalansemetoden for utregning av lekkasjetallet (Lekkasje = total vannleveranse – forbruk). Forbruket beregnes ut ifra data fra vannmålerne. Kommunen prøver å registrere alt annet forbruk, og trekke dette fra beregningen. Dette kan være f.eks. spyling av avløpskummer, frostvann eller vanning av kommunale idrettsanlegg.

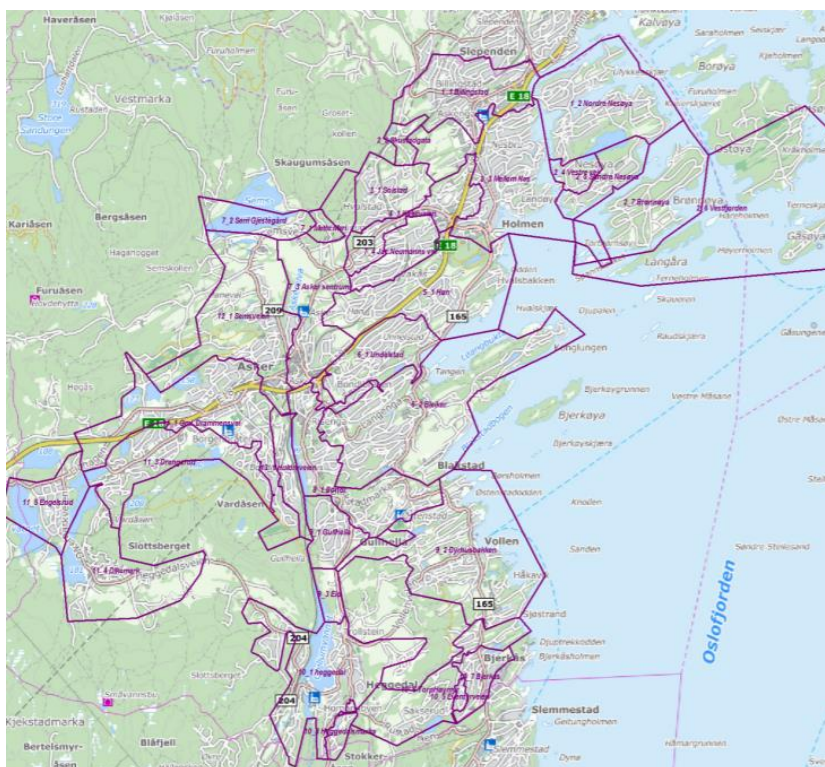
Store deler av husholdningene og alle storforbrukere (jordbruk og industri) har vannmålere. For husholdningene som ikke har vannmåler må man gjøre antakelser. På innrapporteringen for 2018 var forbruket i 70 % av husholdningene basert på vannmålerdata, mens et spesifikt husholdningsforbruk på 160 l/pe/d ble brukt for de resterende.

## Sonevannmåling

Asker kommune har 33 vannmålesoner. Figur 29 viser en oversikt over alle vannmålesonene. For å få bedre oversikt over vannforsyningen og effektivisere lekkasjesøket har Asker kommune jobbet for å få en mer finmasket soneinndeling. Før arbeidet startet hadde Asker kommune 13 vannmålesoner.

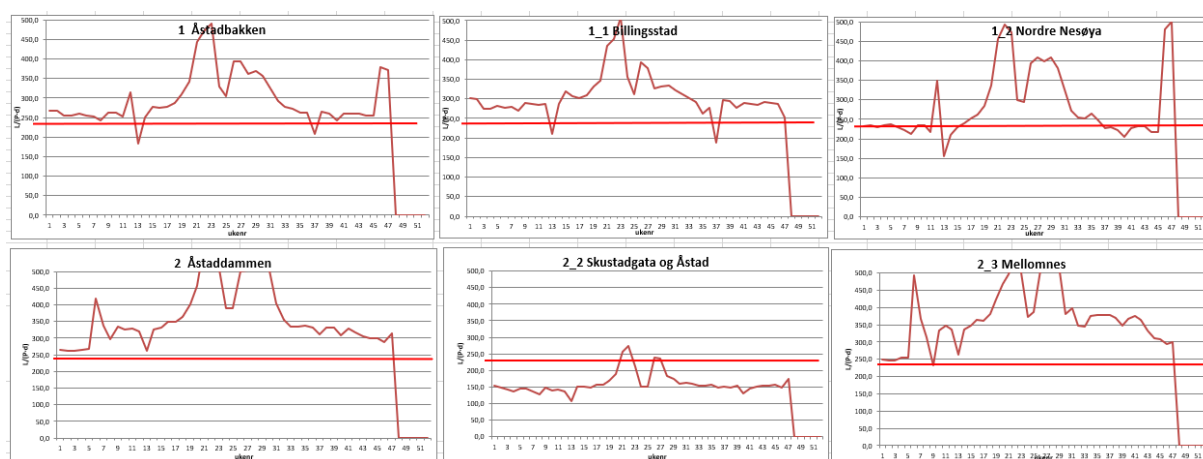
Alle vannmålesonene er adskilt med vannmålere og stengte ventiler. På denne måten har man oversikt over vannforbruket i hver sone. Forbruksdata fra alle målesonene logges kontinuerlig til driftssentralen.

Sonevannmålerne trenger strøm og nettilgang. De fleste målerne er tilknyttet 4G-nettet, men der det er mulig har man lagt inn fiber. De fleste målerne får strøm gjennom kabel, men noen er også tilkoblet batteri. Kommunene foretrekker å tilføre strøm via kabel framfor batterier, fordi batterier krever at driften går ut og bytter batterier i målerne ved jevne mellomrom.



**Figur 27: Vannmålesoner i Asker kommune.**

Gjennomsnittlig ukesforbruk beregnes for hver av sonene og fordeles på antall innbyggere i sonen. Her inkluderes både forbruk og lekkasjer. Sammenlikning av det totale forbruket delt på innbyggere i de ulike sonene bestemmer hvor videre lekkasjesøk skal utføres. Figur 30 viser et eksempel på et skjermsnitt fra overvåkningssystemet. Frosttapping, hagevanning og minimum nattforbruk blir også tatt med i totalvurderingen.



**Figur 28: Skjermsnitt fra overvåkningssystemet til Asker kommune. Hver trendlinje representerer en målesone. X-aksen representerer ukenummer, mens y-aksen representerer det totale forbruket i sonen delt på antall innbyggere (l/pe/d) (Her inngår både forbruk og lekkasjer). Den røde linjen representerer det gjennomsnittlige ukesforbruk i hele kommunen.**

Totalt sett har Asker kommune 37 vannmålere på distribusjonsnettet som brukes til å overvåke vannmålesonene. Kommunen har totalt 340 374 meter med kommunale vannledninger. Dette betyr at kommunen har 0,11 sonevannmålere per kilometer kommunalt ledningsstrek.

Asker kommune jobber med å få en enda mer finmasket soneinndeling. Det er planlagt å plassere 9 nye vannmålere på ledningsnettet, som vil resultere i 20 nye målesoner. Kommunen har vannmåler på sine pumpestasjoner, men disse er ikke tilknyttet driftssentralen. Kommunene ønsker å koble disse vannmålerne til et nettverk slik at man kan motta sanntidsmålinger.

## Vannmålere i husholdning

I dag har 60 % av husholdningene i Asker kommune husholdningsvannmåler. Huseier leser av målingen fra vannmåleren manuelt, og sender inn forbruket til kommunen en gang i året. Kommunen jobber for at 100 % av husholdningene skal ha vannmåler. Kommunen ønsker også å gå over til husholdningsvannmålere med fjernavlesning.

Forbrukerne med vannmåler betaler 19,04 kr (inkludert merverdiavgift) per m<sup>3</sup> med vann (pluss 28,64 kr til avløp). I tillegg må de betale en årlig vannmålerleie på 281,00. Husholdningene som ikke har vannmåler betaler på grunnlag av boligens areal.

## Husholdningsforbruk

Selv om Asker kommune har relativt høy vannmålerdekning hos husholdningene, er det usikkerhet i beregning av husholdningsforbruk. Basert på forbruksdata fra husholdningene som har vannmåler har kommunen beregnet at husholdningsforbruket lå på 165 l/pe/d i 2018.

Usikkerheten i dette tallet ligger i at man ikke har god nok oversikt over hvor mange innbyggere som er tilknyttet hver vannmåler. Det hender at flere boenheter er tilknyttet samme vannmåler uten at kommunen vet dette. Dersom det er flere boenheter (for eksempel i form av sokkelleilighet) tilknyttet hver vannmåler er dette med på å trekke opp det gjennomsnittlige husholdningsforbruket. Husholdninger med store hager som trenger mye vanning trekker også husholdningsforbruket opp.

I 2017 utførte Asplan Viak en beregning av husholdningsforbruket i Asker kommune i forbindelse et oppdrag fra kommunen (Kløve, 2017). Beregningen ble gjort basert på målerdata fra 2015. Asplan Viak kom fram til at gjennomsnittlig husholdningsforbruk i Asker kommune var 128,4 l/pe/d i 2015. Det samme året kom Asker kommune fram til at det gjennomsnittlige husholdningsforbruket var 159 l/pe/d (Dette er det tallet som ble meldt inn til MATS, og er det SSB baserer seg på).

**Tabell 11: To utregnede verdier av husholdningsforbruket i Asker kommune i 2015. Begge verdiene bruker samme rådata, men kommer fram til ulike svar. Dette underbygger påstanden om at det er stor usikkerhet i beregning av husholdningsforbruk.**

	Asker kommunes utregning	Asplan Viaks utregning
Gjennomsnittlig husholdningsforbruk i Asker kommune, 2015	159 l/pe/d	128,4 l/pe/d

## Lekkasjesøk

Forbruksdata fra hver målesone bestemmer hvilke målesoner det blir gjort lekkasjesøk i.

Grovlokaliseringen gjennomføres ved hjelp av ventilstengninger. Dette arbeidet gjennomføres på natten fordi man er nødt til å stenge vannet til forbrukerne. På grunn av kostnadene knyttet til ventilstengninger ønsker Asker kommune å ha maks 20 nattsøk i 2019. En finere soneinndeling vil gjøre grovlokaliseringen mindre arbeidskrevende.

Etter at grovlokaliseringen er gjennomført, og man vet hvilket rørstrekk lekkasjen befinner seg på, utføres finlokaliseringen. Asker kommune benytter stort sett akustisk korrelasjon til å finlokalisere lekkasjen. Finlokaliseringen kan utføres på dagtid.

## Ultralydmåler

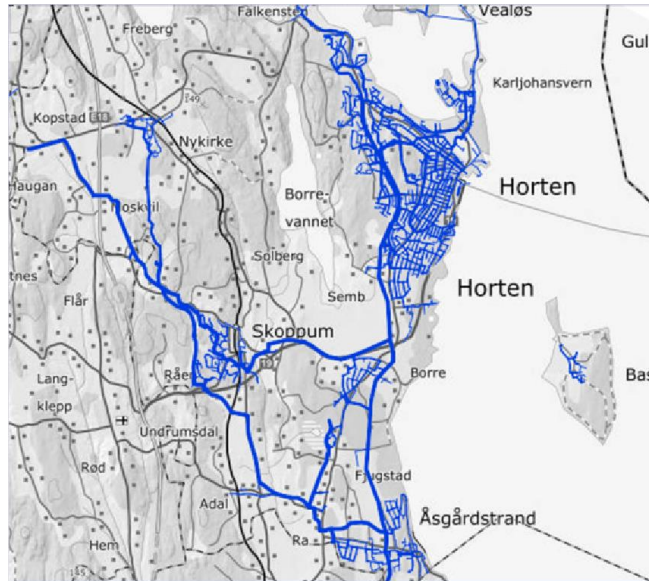
Kommunen har i dag en clamp on ultralydmåler de kan feste til et rørstrekk ved behov. Dette kan være nyttig for å lokalisere hvor en lekkasje befinner seg. Kommunen er imidlertid lite fornøyd med denne måleren.

Ultralydmåleren har stor målerunøyaktighet. Årsaken til dette er blant annet at utsiden av røret ofte har høy ruhet, noe som gjør at måleren får dårlig kontakt med røret. I tillegg spises sementforingen til røret opp over tid, slik at tykkelsen på rørveggen øker. Nøyaktigheten til måleren er også avhengig av at rørmaterialet leder lyd.

## Horten kommune, Vestfold Vann IKS

Horten kommune får levert vann fra det interkommunale selskapet Vestfold Vann. Vestfold Vann eies av kommunene Horten, Sandefjord, Tønsberg, Færder, Re og Holmestrand. Selskapets oppgave er å rense drikkevann, transportere det ut til sine eierkommuner og drive lekkasjekontroll. Det er ca. 30 000 innbyggere i Horten kommune som får levert vann fra Vestfold Vann.

Figur 31 viser et kart over distribusjonsnettet i Horten kommune. De blå linjene framstiller kommunalt og interkommunalt ledningsnett (private stikkledninger er utelatt fra figuren). Horten kommune forsynes nordfra og fra sørvest gjennom interkommunale vannledninger eid av Vestfold Vann. Rørene som er koblet på de interkommunale vannledningene er kommunalt eid.



**Figur 29: Vanddistribusjonsnett til Horten kommune. Private stikkledninger vises ikke på denne figuren.**

Vestfold vann har et mål om at deres eierkommuner skal ned til en lekkasjeprosent på 20 %. Denne beregningen ble gjort for noen år siden, ved hjelp av den samme beregningsmetoden som Norsk Vann anbefaler i sin rapport om beregning av bærekraftig lekkasjenivå (Malm et al., 2018). Det vurderes å gjøre en ny beregning for å oppdatere lekkasjemålet. I Horten kommune er man svært nære å nå dagens mål. I 2018 ble det beregnet at Horten kommune hadde en lekkasjeprosent på 21 % (Statistisk sentralbyrå, 2019).

Vestfold vann henter vann fra både Farrisvannet og Eikerenvassdraget. Horten kommune får hovedsakelig levert vann fra Eikeren, men kan tilføres vann fra Farris ved behov. På sommeren, når forbruket er høyt, blir Horten kommune også forsynt av vann fra Farrisvassdraget.

I 2018 ble det totalt sett sendt 2 670 943 m<sup>3</sup> vann ut på distribusjonsnett i Horten kommune (Statistisk sentralbyrå, 2019).

Ingen av Vestfolds Vanns vannkilder ble påvirket av tørkesommeren i 2018. I Horten blir det hver sommer innført vanningsforbud, men dette skyldes ikke at vannressursene minker.

Vanningsforbudet innføres fordi ledningsnett i Horten ikke er dimensjonert for at store deler av innbyggerne skal vanne hagene sine samtidig.

## Økonomi

Vanngebyret for en husstand i Horten kommune bestemmes ut ifra boligens bruksareal. Gebyret er uavhengig av beboere i husstanden. Tabell 12 viser en oversikt over gebyret for husstander med ulikt bruksareal. De fleste boliger i Horten kommune er mellom 61 og 300 m<sup>2</sup>, og husstanden må da betale et vanngebyr på 2 269 (+mva) i året.

**Tabell 12: Årlig vanngebyr for husholdninger i Horten kommune. Vanngebyret avhenger av boligens bruksareal (Horten kommune, 2019).**

Årsgebyr uten måling (fast forbruksgebyr)

	Abonnementsgebyr	Forbruksgebyr	Årsgebyr*
Kategori I (0-60 m <sup>2</sup> )	761	525	1 286
Kategori II (61-300 m <sup>2</sup> )	1 142	1 127	2 269
Kategori III (>300 m <sup>2</sup> )	1 522	1 502	3 024

\*gebyret tillegges mva.

Forbrukere med vannmåler faktureres med 7,51 kr per m<sup>3</sup> vann.

## Lekkasjer på stikkledning

Mesteparten av lekkasjene i Horten kommune befinner seg på stikkledninger. I en spørreundersøkelse fra 2013 svarte Horten kommune at de hadde kommet fram til at 73 % av lekkasjene var relatert til private stikkledninger. Gjennomsnittet for Vestfold Vanns eierkommuner var 55 % (Folkedal & Ordning, 2014).

Kommunen tror at det meste av lekkasjevannet går tapt fra lekkasjer på stikkledninger. Dette skyldes at det tar lang tid å reparere disse lekkasjene. Fra lekkasjen oppdages til det blir sendt ut pålegg og til lekkasjen faktisk repareres går det tapt store mengder vann. Lekkasjer på det kommunale nettet repareres med en gang den oppdages. Dette betyr at selv om lekkasjen på det kommunale nettet var større vil mindre vann gå tapt.

I dag har Horten kommune få stikkledningskummer. Dette gjør det vanskelig å plassere vannmålere på stikkledninger.

## Vannmålere

Vannmålere benyttes i hovedsak kun til å separere målesoner (sonevannmålere) og hos næringsforbrukere (jordbruk og industri). Sonevannmålerne er koblet mot et nettverk, og sender inn data til Vestfold Vanns driftssentral kontinuerlig. I tillegg er det utplassert noen vannmålere på ledningsnettet som ikke er tilkoblet driftssentralen. Næringsforbrukere har vannmålere for å danne et bedre faktureringsgrunnlag. Næringsvannmålere leses av manuelt en gang i året og sendes inn til kommunen.

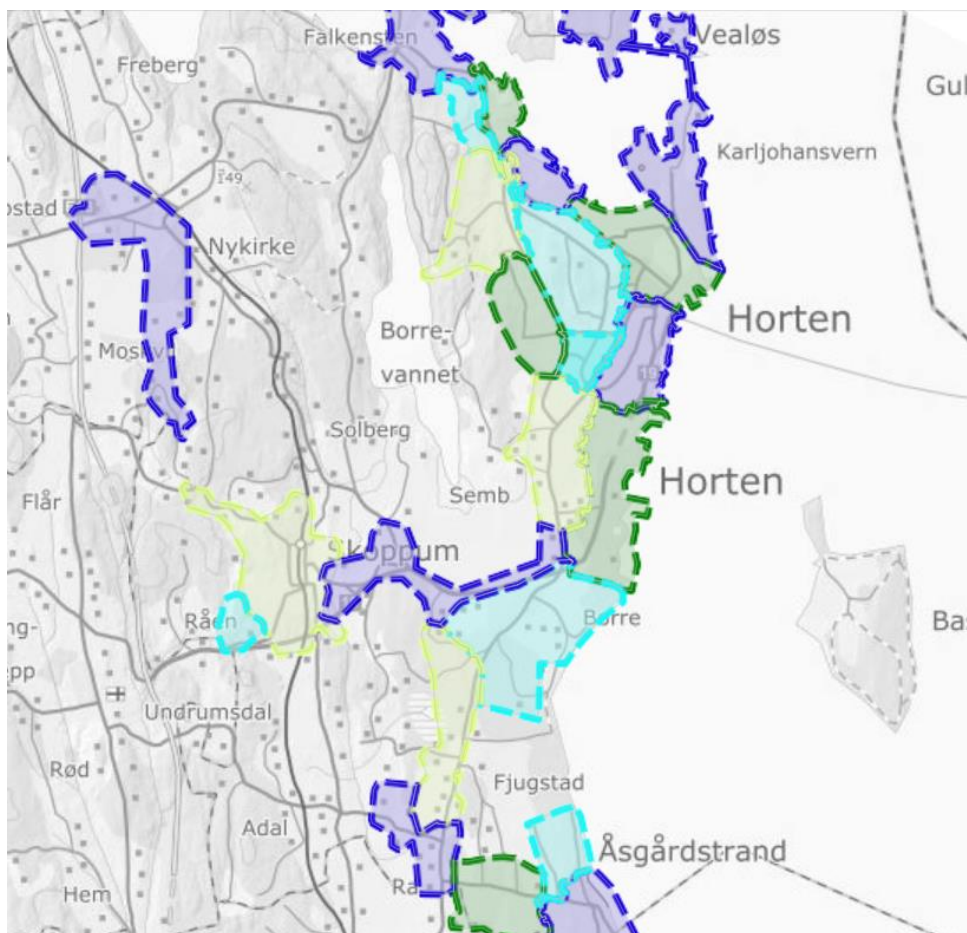
Få husholdninger i Horten kommune har installert vannmåler. Kun husholdninger med badebasseng pålegges å installere vannmåler. Noen få husholdninger har installert vannmåler etter eget ønske. Dette for å bli fakturert på vannmengde istedenfor fast avgift. De forbrukerne som velger å installere vannmåler er gjerne de som bruker mindre vann enn det det faste gebyret tilsier. Til sammen har 7 % av husholdningene i Horten kommune vannmåler (Statistisk sentralbyrå, 2019).

På det ledningsnett er utplassert til sammen 13 sonevannmålere på det kommunale distribusjonsnettet med kommunikasjon til Vestfold Vanns driftssentral. I tillegg er det 12 vannmålere som måler uttaket fra Vestfold Vanns forsyningsledning. Disse brukes også til å overvåke vannforbruket i sonene. I tillegg er det utplassert 4-5 vannmålere som må leses av manuelt.

Totalt sett har Horten kommune 157 440 m kommunale vannledninger. Totalt sett er det utplassert 25 sonevannmålere på det kommunale distribusjonsnettet. Dette betyr at kommunen har 0,16 sonevannmålere per kilometer ledningsstrek.

## Soneinndeling

Ledningsnett til Horten kommune er delt inn i 22 målesoner. Figur 32 viser en oversikt over målesonene i Horten kommune. Sonene er avgrenset med sonevannmålere og stengte ventiler, slik at man har oversikt over hvor mye vann som går inn og ut av sonen. Vannmålerne sender inn timesverdier til driftssentralen.

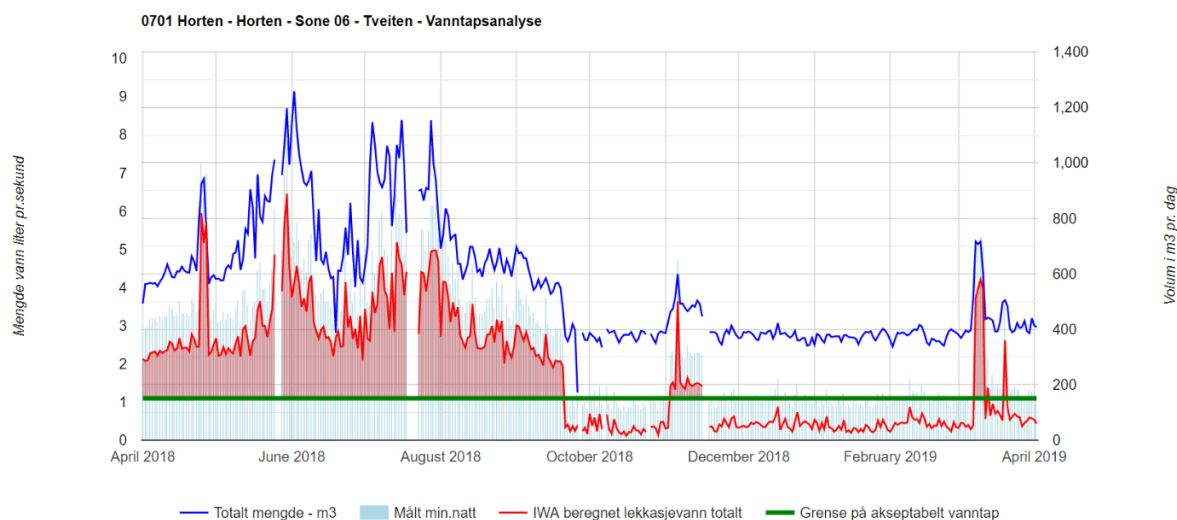


**Figur 30: Målesoner i Horten kommune.**

Vestfold Vann bruker minimum nattforbruk i hver målesone til å bestemme hvor lekkasjesøk skal prioriteres. Figur 33 viser en graf over forbruket i en målesone i Horten kommune. Figuren viser døgnverdier for det totale forbruket, minimum nattforbruk og beregnet lekkasjetap beregnet ut ifra IWAs nattforbruksmetode. Beregnet lekkasjenivå ses i forhold til minimum nattforbruk.



Lekkasjenivået beregnes hver dag. Endringer i lekkasjenivået indikerer at en lekkasje har oppstått. Nattforbruksmetoden fungerer godt til å se hvordan lekkasjenivået endrer seg over tid.



**Figur 31: Døgnverdier for forbruket i en av Horten kommunes målesoner. Figuren viser totalt døgnforbruk, minimum nattforbruk og beregnet lekkasjetap ved hjelp av IWAs nattforbruksmetode. Grensen for akseptabelt lekkasjenivå (satt av Vestfold Vann) inngår også i figuren.**

Vestfold Vann ønsker å innføre kontinuerlig logging av næringsforbruket inn til driftssentralen. Dette skyldes at nattforbruk fra jordbruk og industri forstyrrer lekkasjeberegningene.

### Beregning av lekkasjenivå

Nattforbruksmetoden benyttes kun for å se variasjoner fra dag til dag, og for å indikere når lekkasjer oppstår. For beregning av årlig lekkasjetap benyttes vannbalansemetoden. Vannbalansemetoden tar utgangspunkt i den totale vannmengden som sendes ut på distribusjonsnettet og trekker fra forbruket.

Vestfold Vann vet hvor mye vann som sendes inn på kommunens distribusjonsnett, men forbruket er i stor grad basert på antakelser. Horten kommune har oversikt over forbruket til de få abonnentene som har vannmåler (Næringsvirksomheter og enkelte husstander), men det er usikkerhet knyttet til forbruket til de resterende forbrukerne. Horten kommune prøver også å registrere vann som blir brukt i den kommunale driften (for eksempel spyling og feiing), slik at dette også trekkes ifra når lekkasjetallet skal beregnes.

## Husholdningsforbruk

Horten kommune sender inn forbrukstall både til Vestfold Vann og til MATS en gang i året. Tallene som rapporteres inn til MATS brukes som grunnlag i SSBs statistikk. For 2018 rapporterte Horten kommune om et husholdningsforbruk på:

- 150 l/pe/d til MATS
- 140 l/pe/d til Vestfold Vann

Mattilsynet har tidligere anbefalt å benytte et husholdningsforbruk på 150 l/pe/d ved innrapportering til MATS, dersom forbruket ikke var målbart. Dette er grunnen til at Horten kommune brukte denne verdien ved innrapportering til MATS.

Norsk vanns anbefaling er å basere seg på et husholdningsforbruk på 140 l/pe/d dersom man ikke har husholdningsvannmålere. Derfor ble denne verdien brukt ved rapportering til Vestfold Vann. Alle Vestfold Vanns eierkommuner rapporterer om et forbruk på 140 l/pe/d til Vestfold Vann.

## Lekkasjesøk

I tillegg til sonevannmålere er det også plassert ut lydloggerne på ledningsnettets til Horten kommune. Lydloggerne er permanent plassert og registrerer endringer i lydbildet som kontinuerlig sendes til driftssentralen. Til sammen er det utplassert ca. 60 lydloggerne i Horten kommune. Figur 34 viser en oversikt over lydloggerne i kommunen, og hvordan en lekkasje framvises i driftssentralen. I likhet med data fra sonevannmålerne vurderes data fra lydloggerne daglig for å bestemme prioriterte områder for lekkasjesøk.



**Figur 32: Lydloggere i Horten kommune. Symbol og farge indikerer om lydloggeren registrerer lekkasjer eller ikke. Liten blå runding indikerer at det ikke registreres noen lekkasje, mens stor rød runding indikerer at det registreres en lekkasje. Gul runding indikerer at lydloggeren mangler kommunikasjon, mens gul trekant indikerer at loggeren er ute av drift.**

Lydloggerne fungerer godt supplement til soneinndelingen. Ulempen med lydloggere er at de ikke gir noen indikasjon på lekkasjens størrelse. Vestfold vann ønsker å redusere antall lydloggere, og heller få en mer finmasket soneinndeling.

Ventillytting benyttes hovedsakelig til søk på rør med lydledende materiale. Ventillyttingen fungerer ved at kumlokket åpnes, og man setter en stavmikrofon ned på ventilene i kummen. Stavmikrofonen fanger opp sus som skapes av lekkasjen. Lekkasjelyden kan spre seg flere hundre meter.

Til finlokalisering av lekkasjen benytter Vestfold Vann korrelerende loggere og marklytting. Først brukes korrelerende loggere for å finne lekkasjens posisjon på ledningsstrekket. Deretter benyttes marklytting for å bekrefte posisjonen.

## Interesse for installering av flere vannmålere

### Husholdningsvannmålere

Både kommunen og Vestfold Vann har et ønske om å få vannmålere i alle kommunens husholdninger. Dette vil gi et bedre og mer rettferdig faktureringsgrunnlag. I tillegg vil det gi et sikrere tall på husholdningsforbruket i kommunen, og bedre grunnlag for beregning av lekkasjetall.

Vannmålerne må være utstyrt med automatisk avlesning og rapportering av data. Manuell avlesning, slik det er i dag, har kommunen dårlig erfaring med. Den manuelle avlesningen krever mye arbeid for kommunen (og abonnentene). I tillegg medfører dette fare for avlesningsfeil.

Registrering av forbruksdata en gang i året hadde hjulpet mye, men aller best hadde det vært å få daglig registrering av forbruket. For næringsforbrukere som opererer om natten er det et ønske om å få timesverdier på forbruket (slik at næringsforbruket ikke skal forstyrrer nattforbruksberegningene). En kontinuerlig registrering av forbruket ville gitt et bedre grunnlag for å redusere lekkasjer.

### Sonevanmålere

Vestfold Vann ønsker en mer finmasket soneinndeling. En mer finmasket soneinndeling ville gjort det enklere å bestemme hvor lekkasjesøk skal prioriteres. I enkelte soner har man liten oversikt, og bruker mye tid på å vurdere tilstanden. En mer finmasket soneinndeling ville gitt bedre oversikt.

## Sammenlikning av vandistributører

**Tabell 13: Sammenlikning av Seoul Metropolitan Government, Kroksjøen Vannverk, Asker kommune og Horten kommune.**

	Seoul Metropolitan Government	Kroksjøen Vannverk	Asker kommune	Horten kommune, Vestfold Vann
Beregnet lekkasjetall	< 4,3 %	34,4 %	21 %	21 %
Husholdningsforbruk		206 l/pe/d	165 l/pe/d	159 l/pe/d
Metode for beregning av lekkasjetall	Vannbalansemetoden (topp-ned)	Egen beregning basert på minimum nattforbruk.	Vannbalansemetoden (topp-ned)	Vannbalansemetoden (topp-ned)
Usikkerhet i beregning av lekkasjetall	Liten usikkerhet	Usikkerhet knyttet til husholdningsforbruket	Usikkerhet knyttet til husholdningsforbruket	Usikkerhet knyttet til husholdningsforbruket
Bruk av vannmålere	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vannmåler hos alle forbrukere</li> <li>- Finmasket soneinndeling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vannmålere hos storforbrukere.</li> <li>- Har ikke tilgang på vannmålerdata fra husholdninger.</li> <li>- Ingen soneinndeling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vannmålere hos storforbrukere</li> <li>- Vannmåler hos 60 % av husholdningene</li> <li>- Soneinndeling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vannmåler hos storforbrukere</li> <li>- Få vannmålere i husholdninger (7%)</li> <li>- Soneinndeling</li> </ul>
Registrering av vannmålerdata	Sanntidsovervåkning.	Sanntidsovervåkning av vannproduksjonen. Forbruksmålerne leses av manuelt en gang i året.	Sanntidsovervåkning av sonevannmålere. Forbruksmålerne leses av manuelt en gang i året.	Sanntidsovervåkning av sonevannmålerne. Forbruksmålerne leses av manuelt en gang i året.
Sonevannmåler per kilometer kommunalt ledningsstrek			0,11	0,16
PE per vannmålesone		Ca. 4 500 (anser hele distribusjonsnettet som en målesone)	Ca. 1 818	Ca. 1 363
Meter kommunalt ledningsstrek per vannmålesone			9 199 m	7 156 m

# Diskusjon

Oppgaven har fram til nå beskrevet:

- Hvordan bruk av vannmålere kan bidra til mer effektivt lekkasjesøk og bedre oversikt over vannforbruket (hos for eksempel husholdninger)
- Behovet for husholdningsvannmålere og sonevannmålere på det norske distribusjonsnettet.
- Ulike metoder for innsamling av data fra husholdningsvannmålere, og hvordan metoden man velger påvirker vannmålerens funksjon.
- Hvordan ulike vandndistributører jobber for å beregne og redusere lekkasjetapet.

Denne informasjonen tas i betraktning når problemstillingen skal besvares:

*«Hva vil Horten kommune oppnå med økt utplassering av vannmålere i husholdninger og på det kommunale distribusjonsnettet?»*

Det vil også diskuteres hvordan man kan få mer realistiske tall på husholdningsforbruket i Norge, slik at usikkerheten i lekkasjeberegningen kan reduseres.

## Husholdningsvannmålere i Horten kommune

Horten kommune har ikke vannmålere plassert i sine husholdninger i dag. Dette fører til at husholdningsforbruket må baseres på antakelser, noe som fører til usikkerhet i lekkasjeberegningen. Ved implementering av husholdningsvannmålere vil Horten kommune få et bedre datagrunnlag som kan benyttes både til å fakturere abonnentene på en mer rettferdig måte, motivere forbrukere til å svare vann, samt gjøre sikrere beregninger av lekkasjetallet. Med kontinuerlig registrering av husholdningsforbruket kan man også oppnå en bedre lekkasjeovervåkning.

Dersom Horten kommune kun ønsker et mer rettferdig faktureringsgrunnlag og mindre usikkerhet i lekkasjeberegningene kan det være et alternativ å implementere vannmålere med manuell avlesning i husholdningene. Dette medfører ressurskrevende arbeid med å hente inn data, samt fare for avlesningsfeil.

Ved installering av vannmålere med automatisk avlesning vil man kunne hente inn vannmålerdataen på en mye mer effektiv måte. Vannmåleren sender ut et signal som fanges opp av en mottaker. Med automatisk avlesning av vannmåleren trenger ikke huseier å involveres i innhenting av data, noe som fører til bedre kundeservice og man unngår fare for avlesningsfeil.

Den eneste positive siden ved manuell avlesning framfor automatisk avlesning vil være sikret for datakriminalitet. Når vannmåleren sender ut et signal om forbruket er det tenkelig at dette kan hentes inn og misbrukes av utenforstående. For eksempel kan informasjon om vannforbruket brukes til å bestemme om det er noen hjemme i husholdningen eller ikke. Dette er informasjon som kan benyttes til å planlegge et innbrudd.

Sikkerhet for datakriminalitet er ikke en god nok grunn til å installere vannmålere med manuell avlesning framfor vannmålere med automatisk avlesning. Det er allerede bestemt at alle norske husstander skal ha smarte strømmålere innen 2019. Informasjon om strømforbruket kan misbrukes på samme måte som informasjon om vannforbruket. Når man har bestemt at det er greit med strømmålere med automatisk avlesning kan det ikke argumenteres for at vannmålere med automatisk avlesning skal utgjøre en risiko man ikke kan akseptere.

Dermed anses implementering av vannmålere med automatisk avlesning som mest fornuftig.

Når det skal bestemmes om vannmålerdataen skal hentes inn ved hjelp av en stasjonær eller mobil mottaker må det gjøres en evaluering i forhold til hvilket behov kommunen har og hvor stor investeringsviljen er. Innsamling av data til en stasjonær mottaker muliggjør kontinuerlig innhenting av data som kan brukes til å overvåke variasjonen i forbruk og lekkasjetall. Innsamling av data ved hjelp av en mobil mottaker (drive-by) vil ikke gi denne muligheten.

Innsamling av data ved hjelp av en stasjonær mottaker vil ikke kreve manuelt arbeid med innsamling av data, men vil være mer kostbar. Metoden er mer kostbar fordi den krever at alle vannmålere kobles opp mot en internettbasert tjeneste, og dermed betaling av et nettabonnement.

Innsamling av vannmålerdata ved hjelp av en mobil mottaker vil kreve at noen kjører rundt i kommunens gater og henter inn data. Innhenting av data vil dermed kreve noe manuelt arbeid, men her trengs det ikke å tegne noe nettabonnement. Denne metoden vil likevel være mye mer effektiv enn innsamling av data fra vannmålere som kun kan leses av manuelt.

I første omgang vil Horten kommune kunne oppnå mye ved å få en god oversikt over årlig forbruk. Med oversikt over årlig forbruk vil faktureringsgrunnlaget bli mer rettferdig og beregningen av lekkasjetall mer nøyaktig. For å oppnå dette er det tilstrekkelig med innsamling av forbruksdata ved hjelp av en mobil mottaker.

Det vil være mulig å hente inn data ved hjelp av en mobil mottaker til å begynne med, for så å gå over til innhenting ved hjelp av stasjonær mottaker dersom behovet for dette skulle oppstå. Med denne muligheten kan Horten kommune i første omgang hente inn data ved hjelp av mobil mottaker og gjøre seg erfaringer basert på dette. På et senere tidspunkt kan kommunen evaluere behovet og investeringsviljen til stasjonær mottaker og kontinuerlig innhenting av data.

I dag har Vestfold Vann allerede god oversikt over hvordan lekkasjemengden i hver sone varierer over tid. Dette ved hjelp av nattforbruksmetoden. Ved kontinuerlig (f.eks. daglig) registrering av forbruket i alle husholdninger ville denne oversikten kunne bli noe mer nøyaktig, fordi man kunne benyttet vannbalansemetoden for beregning av lekkasjetallet. Likevel ville kontinuerlig registrering av husholdningsforbruk trolig ikke ført til noen vesentlig driftseffektivisering.

I dag forstyrres nattforbruksmetoden av næringsvirksomheter som forbruker vann om natten. Dette gjør det vanskelig å bestemme lekkasjetallet, og å se variasjonene fra dag til dag. En måte å løse dette

problemet på vil være kontinuerlig registrering av forbruket til næringsvirksomheter som drifter om natten.

## Sonevannmålere i Horten kommune

Ved å utplassere av flere sonevannmålere på det kommunale ledningsnettet vil man få en mer finmasket soneinndeling. Flere og mindre målesoner vil føre til mer effektivt lekkasjesøk og enklere lekkasjereduksjon. Lekkasjeovervåkingen vil da bli bedre fordi man får oversikt over lekkasjesituasjonen i mer spesifikke områder. Når ansatte i Vestfold Vann sendes ut for å søke etter en lekkasje i en sone vil dette arbeidet bli mer effektivt når sonen er mindre.

Det er også behov for flere vannmålere på grensen mellom hver målesone. Dette for å unngå stengte ventiler mellom målesonene. (Ventilene stenges for å holde kontroll på vannforbruket i sonen). Stengte ventiler vil føre til økt behov for spyling, og begrenset vannkapasitet i sonen. Med flere vannmålere på grensen mellom sonene vil man redusere problemet med stengte ventiler. Med en finere soneinndeling vil det være flere rør som krysser grensen mellom to soner, og behovet for flere vannmålere per sone vil øke.

Sammenliknet med Kroksjøen Vannverk og Asker kommune kommer Horten kommune godt ut når det kommer til inndeling av vannmålesoner. Av de tre kommunene som er undersøkt her, er det Horten kommune er den kommunen som har den mest finmaskede soneinndelingen. Dette viser seg både når man ser på antall personer i hver målesone, antall meter kommunalt ledningsstrek i hver sone og totalt antall vannmålere per kilometer kommunalt rørstrek (Viser til tabell 13). Vestfold vann har også gode rutiner når det kommer til lekkasjesøk.

Slik tilstanden er i dag anses ikke utplassering av sonevannmålere i Horten kommune som et like stort behov som utplassering av husholdningsvannmålere.

## Lekkasjereduksjon i Horten kommune

Utplassering av vannmålere i Horten kommune vil gi bedre oversikt over lekkasjetallet, samt en mer effektiv lekkasjereduksjon. Dersom Horten kommune reduserer sitt lekkasjetall på samme måte som Seoul Metropolitan Government vil man kunne spare over 400 000 m<sup>3</sup> vann per år. Denne beregningen er basert på at Horten kommune reduserer sitt lekkasjetall fra 21 % til 5 %.



**Tabell 14: Beregning av hvor mye vann Horten kommune vil svare årlig ved å redusere lekkasjetallet fra 21 % til 5 %.**

Total vannleveranse på kommunalt distribusjonsnett	2 670 943 m <sup>3</sup>
Andel av total kommunal vannleveranse til lekkasje med et lekkasjetall på 21 %	560 898 m <sup>3</sup>
Andel av total kommunal vannleveranse til lekkasje med et lekkasjetall på 5 %	133 547 m <sup>3</sup>
Årlig vannbesparelse ved reduksjon av lekkasjetall fra 21 % til 5 %	427 351 m <sup>3</sup>

Den årlige vannbesparelsen vil utgjøre en verdi på over 3,2 millioner kr (basert på at kostnaden per m<sup>3</sup> vann er 7,51 kr).

## Lekkasjeberegning i Norge

I dag finnes det ingen standard norske kommuner er pålagt å følge ved innrapportering av husholdningsforbruk og beregning av lekkasjetall. Dette fører til at innrapporteringene fra norske kommuner i stor grad baseres på antakelser. Valg av husholdningsbruk har spesielt mye å si for lekkasjeberegningen. Det er grunn til å tro at husholdningsforbruket i realiteten er lavere enn hva som framkommer i SSBs statistikk. Dette gir grunn til å tro at det reelle lekkasjetallet er vesentlig høyere enn 30 %.

### Usikkerhet i husholdningsforbruk

Det er problematisk at norske kommuner i så stor grad kan gjøre egne antakelser. Ut ifra dataen fra SSBs statistikkbank ser man urealistisk store forskjeller i det spesifikke husholdningsforbruket i norske kommuner. Det spesifikke husholdningsforbruket varierer fra 45 l/pe/d til hele 492 l/pe/d.

Det er også en sammenheng mellom Det spesifikke husholdningsforbruket og lekkasjetallet som rapporteres inn til MATS. De 20 kommunene med lavest lekkasjetall har et gjennomsnittlig lekkasjetall på 4,3 % og et spesifikt husholdningsforbruk på 280 l/pe/d, mens det 20 kommunene med høyest lekkasjetall har et gjennomsnittlig lekkasjetall på 55,5 % og et spesifikt husholdningsforbruk på 183 l/pe/d. Dette betyr at kommuner som rapporterer om et høyt husholdningsforbruk også rapporterer om et lavt lekkasjetall og motsatt. Det er ikke realistisk at husholdningsforbruk og lekkasjetall skal ha en slik sammenheng. Denne sammenhengen kan tyde på at noen kommuner velger å rapportere om et høyere husholdningsforbruk for å få lekkasjetallet til å se lavere ut.

Kommuner med høy dekning av husholdningsvannmålere rapporterer om et lavere husholdningsforbruk enn kommuner med lav dekning. Gjennomsnittlig spesifikt

husholdningsforbruk for kommuner med minst 80 % dekning av husholdningsvannmålere er 177 l/pe/d, mens gjennomsnittet for kommuner med under 80 % dekning er 241 l/pe/d. Dette viser at de kommunene som har mer kunnskap om husholdningsforbruket (høy vannmålerdekning) velger et lavere husholdningsforbruk enn de kommunene som i større grad må basere seg på antakelser. Dette underbygger påstanden om at det innrapporterte husholdningsforbruket er høyere enn hva som er reelt.

### **Anbefalinger til valg av husholdningsforbruk**

Mattilsynet anbefaler at kommuner som ikke har god nok data benytter seg av 200 l/pe/d ved innrapportering av forbrukstall. Norsk Vann anbefaler at man benytter et husholdningsforbruk på 140 L/pe/d, mens SSB tar utgangspunkt i tallene som rapporteres inn fra kommunene og regner ut at gjennomsnittlig husholdningsforbruk er 180 L/pe/d i 2018.

Norsk Vann anbefaling er blant annet basert på data fra kommuner med høy vannmålerdekning. Beregningen og datagrunnlaget er godt beskrevet i Norge Vanns rapport. Ut ifra informasjonen som finnes om spesifikt husholdningsforbruk anses Norsk Vanns anbefaling som den mest fornuftige anbefalingen.

Mattilsynets anbefaling kommer av et krav i drikkevannsforskriften. Kravet kommer av EU-regelverket Norge er pålagt å følge på grunn av EØS-avtalen. 200 l/pe/d er et urealistisk høyt husholdningsforbruk, og bør ikke benyttes når lekkasjetallet skal beregnes.

Det at SSB baserer seg på et husholdningsforbruk som er såpass mye høyere enn anbefalingen fra Norsk Vann tyder på at det reelle lekkasjetallet i Norge er høyere enn 29,9 % (som er det nasjonale lekkasjetallet i 2018 ifølge SSB). Det er altså grunn til å tro at store mengder av det vannet som i dag blir sett på som forbruk i realiteten er lekkasjevann.

### **Behov for standard for beregning av lekkasjetall**

Usikkerhet i lekkasjeberegningene kommer også av at kommunene velger å benytte ulike metoder for beregning av lekkasjetall. For eksempel har Kroksjøen Vannverk en metode å beregne lekkasjetallet på som ikke sammenfaller med IWAs metoder for å beregne lekkasjetall. Kroksjøen Vannverk benytter seg av nattforbruksmetoden for å beregne lekkasjetallet, men med en egen «vri».

Kroksjøen Vannverk har et minimum nattforbruk på 50 m<sup>3</sup>/t og antar at mellom 50 og 80 % av dette går til lekkasje for å finne lekkasjetallet på 34,4 %. Kroksjøen vannverk trekker også fra antatt vannmengde til frosttapping før lekkasjeberegningen utføres, og tar ikke hensyn til trykkvariasjonene over døgnet.

Ifølge IWAs nattforbruksmetode skal man anta at forbruket er 0,6 l/pe/t. Kroksjøen kommune forsyner 4 500 personer, noe som betyr at 5,4 % av minimum nattforbruk skulle gått til forbruk i henhold til IWAs metode. Dersom man trekker fra det den antatte frosttappingen (7,2 m<sup>3</sup>/t = 14,4 % av minimum nattforbruk) vil lekkasjetapet utgjøre 80,2 % av minimum nattforbruk. Kroksjøen

Vannverks beregning i tabell 9 tar utgangspunkt i et lekkasjetap på 80 % av minimumnattforbruk og beregner det totale lekkasjetallet til å være 44,4 %.

Kroksjøen Vannverks beregning tar ikke hensyn til trykkvariasjonene gjennom døgnet. Dersom det er riktig at 80 % av minimum nattforbruk går til lekkasje, ville det totale lekkasjetallet blitt mindre enn 44,4 % dersom man tok hensyn til trykkvariasjonene. Dette skyldes at trykket (som har en direkte sammenheng med lekkasjetapet) synker ved økt forbruk. I løpet av et døgn er trykket høyest under minimum nattforbruk.

Fordi det ikke finnes noen standard for å beregne lekkasjetall åpner dette for at norske vanddistributører kan gjøre antakelser og utvikle egne beregningsmetoder. Kroksjøen vannverk er et eksempel på en vanddistributør som bruker sin egen beregningsmetode og egne antakelser for å beregne lekkasjetallet. Det blir problematisk å gjøre sammenlikninger av lekkasjetallet hos ulike vanddistributører, når lekkasjetallet er basert på ulike beregningsmetoder og antakelser.

### **Usikkerhet i husholdningsforbruk, også der dekningen av husholdningsvannmålere er høy**

Selv kommuner som har høy vannmålerdekning i husholdningene sliter med å finne gode tall på husholdningsforbruk og lekkasjemengde. Det er behov for bedre informasjon om hvor mange abonnenter som er koblet til hver vannmåler, og metoder for innsamling av data som reduserer feilkilder. Det er også et behov for en standardisert metode for å beregne det spesifikke husholdningsforbruket ut ifra vannmålerdataene som hentes inn.

Asker kommune er et eksempel på en kommune som har behov for en standardisert metode for å bestemme det spesifikke husholdningsforbruket basert på vannmålerdata. Basert på kommunens vannmålerdata ble det gjort to ulike beregninger av det spesifikke husholdningsforbruket. Asplan Viak beregnet det spesifikke husholdningsforbruket i kommunen til å være 128,4 l/pe/d, mens kommunen selv regnet seg fram til et spesifikt husholdningsforbruk på 159 l/pe/d. Kommunen valgte å benytte det spesifikke husholdningsforbruket på 159 l/pe/d ved innrapportering til MATS.

Etter samtale med Asker kommune uttaler de at det innrapporterte husholdningsforbruket kan være høyere enn det reelle. Dette skyldes ifølge kommunen for eksempel at husholdninger med stor hage (hagevanning) og sokkelleilighet trekker det spesifikke husholdningsforbruket opp. Dersom det stemmer at kommunen rapporterer om et høyere husholdningsforbruk enn hva som er reelt vil dette føre til at det beregnede lekkasjetallet er lavere enn det reelle.

De fleste husholdningsvannmålere må i dag leses av manuelt. Dette medfører risiko for avlesningsfeil, i tillegg krever det mye tid og ressurser fra kommunene å hente inn denne dataen. På grunn av fare for feilavlesning og en ressurskrevende innhenting av data bør det ikke investeres i implementering av nye vannmålere med manuell avlesning i en kommune.

## **Standard for valg av husholdningsforbruk**

For å redusere usikkerheten i lekkasjetallet bør det utvikles bedre retningslinjer for valg av husholdningsforbruk. Det er behov for retningslinjer for valg av husholdningsforbruk både i kommuner som har høy og lav dekning av husholdningsvannmålere.

I kommuner med høy vannmålerdekning bør det etableres en standard for hvordan dataen skal hentes inn, og hvordan den skal behandles for å kunne overføres til delene av kommunen som ikke har husholdningsvannmålere.

En standard for valg av husholdningsforbruk i kommuner uten vannmålerdata bør utvikles. Denne standarden bør være basert på data fra kommuner som har jobbet for å få gode tall på husholdningsforbruket og som har høy vannmålerdekning. Før en slik standard etableres bør kommuner uten egne vannmålerdata basere seg på Norsk Vanns anbefaling om å benytte et spesifikt husholdningsforbruk på 140 l/pe/d.

En standard for valg av spesifikt husholdningsforbruk i kommuner uten egne vannmålerdata bør ta hensyn til ulike forutsetninger i kommunene. For eksempel vil en kommune med en stor andel eneboliger med hage trolig ha et høyere spesifikt vannforbruk enn en kommune med en stor andel blokkleiligheter.

Det anbefales også at flest mulig kommuner installerer vannmålere i sine husholdninger, og jobber for å finne gode tall på husholdningsforbruket. Dette anbefales både for at man skal finne gode tall på husholdningsforbruk og lekkasjetall i hver enkelt kommune, men også for å forbedre den nasjonale statistikken. Dersom flere kommuner installerer vannmålere og oppnår gode tall på husholdningsforbruket vil det også bli enklere å fastslå en standard for valg av husholdningsforbruk.

På samme måte som det er behov for en standard for valg av husholdningsforbruk er det også behov for en standard for beregning av lekkasjetall. På denne måten vil det bli enklere å sammenlikne tilstanden i ulike norske kommuner, og få oversikt over den nasjonale tilstanden når det kommer til husholdningsforbruk og lekkasjetall.

# Konklusjon

Med økt utplassering av vannmålere i Horten kommune vil man kunne oppnå:

- Informasjon om hvor mye vann som går til husholdningsforbruk
- Mer effektivt lekkasjesøk

I første omgang anses det som viktigst å installere vannmålere i husholdninger (sammenliknet med sonevannmålere) for å oversikt om hvor mye vann som går til husholdningsforbruk. Med automatisk innsamling av data ved hjelp av en mobil mottaker (drive-by-metoden) vil man få god oversikt over det årlige forbruket. Med oversikt over årlig forbruk vil Horten kommune dekke det viktigste behovet: Informasjon om husholdningsforbruket.

Informasjon om årlig husholdningsforbruk vil kunne benyttes til å:

- gjøre gode beregninger av lekkasjetallet.
- danne et mer rettferdig faktureringsgrunnlag for kommunens innbyggere.
- være med på å utarbeide en nasjonal standard for valg av husholdningsforbruk.

Ved kontinuerlig innsamling av data fra husholdningsvannmålerne ved hjelp av en stasjonær mottaker vil man i tillegg til kunne få en bedre oversikt over variasjonen i lekkasjetallet. Innsamling av data ved hjelp av stasjonær mottaker er dyrere enn innsamling ved hjelp av mobil mottaker. Kommunen kan på et senere tidspunkt vurdere om de ønsker å gå over til kontinuerlig innsamling av data ved hjelp av en stasjonær mottaker. I dag fungerer nattforbruksmetoden godt til å overvåke variasjonene i lekkasjetallet, og behovet for kontinuerlig innsamling av data fra husholdningsvannmålere anses ikke som stort nok i forhold til kostnaden det vil innebære.

Utplassering av flere sonevannmålere på distribusjonsnettet og etablering av en mer finmasket soneinndeling i Horten kommune vil føre til et mer effektivt lekkasjesøk. Sammenliknet med Asker kommune og Kroksjøen vannverk har Horten kommune i dag en soneinndeling som gir god oversikt over lekkasjesituasjonen på kommunens distribusjonsnett. Vestfold Vann har også gode rutiner for søke etter lekkasjer. Utplassering av flere sonevannmålere på distribusjonsnettet i Horten kommune anses derfor ikke som et like stort behov som utplassering av husholdningsvannmålere.

## **Nasjonal anbefaling for lekkasjeberegninger**

I dag er det stor usikkerhet i beregning av lekkasjetall, og grunn til å tro at lekkasjetallet er vesentlig høyere enn 30 %. Dette skyldes at det i Norge er liten dekning av husholdningsvannmålere og at husholdningsforbruket i stor grad baseres på antakelser. Det er heller ingen standard for beregning av lekkasjetallet i hver kommune. Dette gjør det problematisk å sammenlikne husholdningsforbruk og lekkasjetall i kommunene og å gjøre nasjonale beregninger.

Det bør utarbeides en standard for valg av husholdningsforbruk. Standarden bør ta hensyn til ulike forutsetninger i hver kommune (for eksempel hvor stor andel av befolkningen som bor i eneboliger

med hage eller i blokkleiligheter). Standarden bør baseres på data fra kommuner som ved hjelp av husholdningsvannmålere har kommet fram til gode tall på husholdningsforbruket.

Det anbefales også at det etableres en standard for beregning av lekkasjetall i hver kommune.

Fram til det etableres en ny standard for valg av spesifikt husholdningsforbruk anbefales kommuner uten vannmålerdata å basere seg på Norsk Vanns anbefaling; 140 l/pe/d.

## Kilder

- Aadland, C. & Ahamath, C. (2012, 27. mai). Under denne fartsdumpen røk vannledningen. Nå må huseierne ut med 180.000 hver. *Aftenposten*. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/norge/i/aw04A/Under-denne-fartsdumpen-rok-vannledningen-Na-ma-huseierne-ut-med-180000-hver> (lest 28.02.2019).
- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera Jr, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W. & Parena, R. (2016). *Performance indicators for water supply services*: IWA publishing.
- Aune, A. (2019). *Møter og e-postutveksling med Arild Aune, ansatt i Asker kommune*. Asker.
- AxFlow. *Sensus type WPD*. Tilgjengelig fra: <http://www.axflow.com/no/site/produkter/kategori/instrumentering/flow--og-mengdemalere/woltmannmalere/standardmalere/#overview> (lest 01.05.2019).
- Bergeland, I. (2019). *Informasjon om westcontrol og utplassering av vannmålere i Hjelmeland kommune* (e-post fra Westcontrol 10.04.2019).
- Bjørndahl, B. (2019). *Møter og e-postutveksling med Børge Bjørndahl, ansatt i Vestfold Vann*. Horten.
- Bomo, A.-M. & Schade, M. (2015). *Vannforbruk i husholdninger*. Rapport fra VANN 02/2015.
- Bosnjakovic, M. (2017). *Lekkasjereduksjon på vandrdistribusjonsnett-Strategi for Oslo kommune*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2464225>.
- Choi, Y., Ahn, J., Im, H. & Koo, A. (2014). Best management practices for water loss control in Seoul. *Procedia Engineering*, 89: 1585-1593.
- Choi, Y. J. (2016). *Efficient Drinking Water Supply System: Revenue Water Ratio(RWR) Improvement Project*. Tilgjengelig fra: [http://susa.or.kr/sites/default/files/resources/환경\\_5\\_Efficient%20Drinking%20Water%20Supply%20System.pdf](http://susa.or.kr/sites/default/files/resources/환경_5_Efficient%20Drinking%20Water%20Supply%20System.pdf).
- DANVA. (2016). *Vand i tal* Tilgjengelig fra: <https://www.danva.dk/media/4631/vand-i-tal-2016-final.pdf>.
- Devold, A. J. (2012). *Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken*. Rapport fra Norsk Vann 192/2012. Hamar: Norsk Vann.
- Drikkevannsforskriften. (2017). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868> (lest 29.04.2019).
- Endo, A., Tsurita, I., Burnett, K. & Orenco, P. M. (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11: 20-30.
- Engebreetsen, K. (2019). *Smart Vann*. Tilgjengelig fra: <https://www.halden.kommune.no/smartcity/prosjekter/Sider/Smart-Vann.aspx> (lest 02.04.2019).
- Engineering ToolBox. (2003). *Ultrasonic Doppler and Time of Flight Flow Meters*. Tilgjengelig fra: [https://www.engineeringtoolbox.com/ultrasonic-doppler-flow-meter-d\\_495.html](https://www.engineeringtoolbox.com/ultrasonic-doppler-flow-meter-d_495.html).
- ENOVA. *Smarte strømmålere (AMS)*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/smar-te-strommalere-ams/> (lest 29.03.2019).
- EPA. (2013). *WATER AUDITS AND WATER LOSS CONTROL FOR PUBLIC WATER SYSTEMS*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf>.
- Eureau. (2017). *Europe's water in figures*. Brussel.
- Ferguson, K. (2015, 22. oktober). Mange huseiere sitter på utgiftsbomber under bakken. *Bergensavisen*. Tilgjengelig fra: <https://www.ba.no/bolig-og-eiendom/byutvikling/nyheter/mange-huseiere-sitter-pa-utgiftsbomber-under-bakken/s/5-8-181276> (lest 28.02.2019).
- Ferrari, G., Savic, D. & Becciu, G. (2013). Graph-theoretic approach and sound engineering principles for design of district metered areas. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140 (12): 04014036.

- Flatin, A. (2009). *Erfaringer med lekkasjekontroll*. Rapport fra Norsk Vann 171/2009. Hamar: Norsk Vann.
- Folkedal, B. T. & Ording, F. B. (2014). *Stikkledninger - ansvar og teknisk utforming*. Rapport fra Norsk Vann 207/2014. Hamar: Norsk Vann.
- Folkehelseinstituttet. (2017). *Folkehelse rapporten*. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/hin/smitte/drikkevann/> (lest 08.02.2019).
- Fox, S., Collins, R. & Boxall, J. (2015). Traditional leakage models for leakage modelling: effective or not? *Procedia Engineering*, 119: 35-42.
- Godwin, A. (2011, 1. august). ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE: DRIVERS AND BENEFITS IN THE WATER INDUSTRY. *WaterWorld*. Tilgjengelig fra: <https://www.waterworld.com/articles/print/volume-27/issue-8/editorial-features/special-section-advanced-metering-infrastructure/advanced-metering-infrastructure-drivers-and-benefits-in-the-water-industry.html> (lest 28.03.2019).
- Gupta, A. & Kulat, K. D. (2018). A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System. *Water resources management*, 32 (10): 3247-3269.
- Guzman-Herrador, B., Carlander, A., Ethelberg, S., de Blasio, B. F., Kuusi, M., Lund, V., Löfdahl, M., MacDonald, E., Nichols, G. & Schönning, C. (2015). Waterborne outbreaks in the Nordic countries, 1998 to 2012. *Eurosurveillance*, 20 (24): 21160.
- Guzman-Herrador, B., Blasio, B. F. d., Lund, V., MacDonald, E., Vold, L., Wahl, E. & Nygård, K. (2016). *Vannbårne utbrudd i Norge i perioden 2003–12*: Den Norske Lægeforening. Tilgjengelig fra: [https://www.researchgate.net/profile/Vidar\\_Lund/publication/301569112\\_Vannbarne\\_utbrudd\\_i\\_Norge\\_i\\_perioden\\_2003\\_-\\_12/links/57aae86708ae42ba52ae6488/Vannbarne-utbrudd-i-Norge-i-perioden-2003-12.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vidar_Lund/publication/301569112_Vannbarne_utbrudd_i_Norge_i_perioden_2003_-_12/links/57aae86708ae42ba52ae6488/Vannbarne-utbrudd-i-Norge-i-perioden-2003-12.pdf).
- Hansen, S. (2011). *Fjernavlesing av vannmålere*. Rapport fra Norsk Vann 180/2011. Hamar: Norsk Vann.
- Hawkins, C. & Berthold, A. (2015). *Considerations for adopting AMI and AMR*. Texas: Texas Water Resources Institute.
- Holm, P. A. (2017, 24. november). Stor vannlekkasje i Oslo. *Aftenposten*. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/osloby/i/m6gA31/Stor-vannlekkasje-i-Oslo> (lest 08.02.2019).
- Horten kommune. (2019). *Betalingssatsdokumentet 2019*. Tilgjengelig fra: <https://www.horten.kommune.no/kommunalomrader/administrasjon/gebyrer/>.
- Jacobsen, B. Z., Berteig, F., Johannesen, A., Trovik, T., Wermskog, L. A. & Andersen, T. (2014). *Sluttrapport fra Norsk Vanns arbeidsgruppe for ledningsnettfornyelse* Norsk Vann. Tilgjengelig fra: [https://www.norskvann.no/images/pdf/Sluttrapport\\_ledningsnett.pdf](https://www.norskvann.no/images/pdf/Sluttrapport_ledningsnett.pdf).
- Kløve, M. (2017). *LEKKASJEBEREGNINGER OG VANNBUDSJETT*: Asker kommune. Upublisert manuskript.
- Kristiansson, M. (2019). *Møter og e-postutveksling med Mattias Kristiansson, daglig leder i Kroksjøen Vannverk*. Eidskog.
- Kroksjøen Vannverk. (2018). *Priser*. Tilgjengelig fra: <https://www.kvsa.no/priser> (lest 05.04.2019).
- Leonetti, A. (2017, 26. september). Advanced Metering Infrastructure Market 2015–2021: Top Key players Cisco Systems, Inc., General Electric Corporation, IBM Corporation & Others. *Industry Today*. Tilgjengelig fra: [https://industrytoday.co.uk/pr\\_and\\_marketing/advanced-metering-infrastructure-market-2015-2021--top-key-players-cisco-systems--inc--general-electric-corporation--ibm-corporation---others](https://industrytoday.co.uk/pr_and_marketing/advanced-metering-infrastructure-market-2015-2021--top-key-players-cisco-systems--inc--general-electric-corporation--ibm-corporation---others) (lest 29.03.2019).
- Lerdal, M. (2019). *Møter og e-postutveksling med Marte Lerdal, ansatt i Horten kommune*. Horten.
- Lillejord, E. (2019). (Telefonsamtale med Kamstrup 23.04.2019).
- Lillerud, A. (2018, 4. april). Vannlekkasje fikk veien til å «forsvinne». *Halden Arbeiderblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.ha-halden.no/nyheter/vannlekkasje/roy-prang/vannlekkasje-fikk-veien-til-a-forsvinne/s/5-20-487508> (lest 05.04.2019).
- Lorentzen, M. (2018, 25. januar). – Vi tror 2018 er året det skjer. *e24*. Tilgjengelig fra: <https://e24.no/digital/telenor/tingenes-internett-inntar-norge-men-det-er-usikkert-hvorfort-det-bli-penger-av-det/24241248> (lest 10.04.2019).



- Malm, A., Svensson, G. & Røstum, J. (2018). *Beregning av bærekraftig lekkasjenivå*. Rapport fra Norsk Vann 239/2018. Hamar: Norsk Vann.
- Mattilsynet. (2019). *MATTILSYNETS SKJEMATJENESTE FOR DRIKKEVANN*. Tilgjengelig fra: [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/vann/vannforsyningsssystem/veiledning\\_skjemateneste\\_drikkevann.7215/binary/Veiledning%20skjemateneste%20drikkevann](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/vann/vannforsyningsssystem/veiledning_skjemateneste_drikkevann.7215/binary/Veiledning%20skjemateneste%20drikkevann) (lest 05.04.2019).
- Norsk Vann. (2008). *Helsemessig sikkert vannledningsnett*. Rapport fra Norsk Vann 161/2008. Hamar: Norsk Vann.
- Norsk Vann. (2017). *Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen*. Vedtatt på årsmøtet 2017. Tilgjengelig fra: [https://www.norskvann.no/files/docs/Protokoll2017\\_Vedlegg1.pdf](https://www.norskvann.no/files/docs/Protokoll2017_Vedlegg1.pdf).
- Nygård, K., Wahl, E., Krogh, T., Tveit, O. A., Bøhleng, E., Tverdal, A. & Aavitsland, P. (2007). Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort study. *International journal of epidemiology*, 36 (4): 873-880.
- Ramsdal, R. (2017, 31. august). Nå kommer norsk teknologi som viser hvor mye vann hvert hus bruker - i sanntid. *Teknisk Ukeblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/na-kommer-norsk-teknologi-som-kobler-vannmalerne-pa-nett/404792> (lest 28.03.2019).
- Robins, S. (2019). 'Day Zero', Hydraulic Citizenship and the Defence of the Commons in Cape Town: A Case Study of the Politics of Water and its Infrastructures (2017–2018). *Journal of Southern African Studies*: 1-25.
- Rostad, M. (2017). *Finansieringsbehov i vannbransjen 2016-2040*. Rapport fra Norsk Vann 223/2017. Hamar: Norsk Vann.
- Ræstad, C., Evjemo, J. I., Skaret, J. & Dupont, R. A. (2010). Sørums kommune har 0,7 % lekkasjetap! *Norsk Vann*, bulletin 4.
- SCC Prosjektering. (2008a). *Lekkasjesøking Finlokalisering*. VA/Miljø-blad 21/2008.
- SCC Prosjektering. (2008b). *Lekkasjesøking Grovlokalisering*. VA/Miljø-blad 20/2008.
- Seoul Metropolitan Government. (2016). *Water Distribution : Revenue Water Ratio & Leak Management*. Tilgjengelig fra: <https://seoulsolution.kr/en/content/water-distribution-revenue-water-ratio-leak-management> (lest 13.03.2019).
- Sivertsen, E. & Bomo, A.-M. (2016). *Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk*. Rapport fra Norsk Vann B20/2016. Hamar: Norsk Vann.
- Skaland, R. G., Colleuille, H., Andersen, A. S. H., Mamen, J., Grinde, L., Tajet, H. T. T., Lundstad, E., Sidselrud, L. F., Tunheim, K., Hanssen-Bauer, I., et al. (2019). *Tørkesommeren 2018*. Rapport fra Metreologisk institutt 14/2019. Oslo: Metreologisk institutt.
- Statistisk sentralbyrå. (2019). *Kommunal vannforsyning*. Tilgjengelig fra: [https://www.ssb.no/statbank/list/vann\\_kostr/](https://www.ssb.no/statbank/list/vann_kostr/) (lest 25.03.2019).
- Stockmarr, J. & Thomsen, R. (2009). *Water supply in Denmark*. Tilgjengelig fra: [https://eng.ecoinnovation.dk/media/mst/8051461/Vandforsyning\\_artikel.pdf](https://eng.ecoinnovation.dk/media/mst/8051461/Vandforsyning_artikel.pdf) (lest 06.02.2019).
- Säve-Söderbergh, M., Bylund, J., Malm, A., Simonsson, M. & Toljander, J. (2017). Gastrointestinal illness linked to incidents in drinking water distribution networks in Sweden. *Water research*, 122: 503-511.
- Telenor. (2019). *IoT på 4G*. Tilgjengelig fra: <https://www.telenor.no//bedrift/iot/4g/> (lest 10.04.2019).
- Tharaldsen, O. P. (2017, 6. november). Hvaler viser Norge vannveien. *VVSaktuelt*. Tilgjengelig fra: <https://www.vvsaktuelt.no/hvaler-viser-norge-vannveien-117267/nyhet.html> (lest 01.05.2019).
- UN Water. (2018). *2018 UN World Water Development Report, Nature-based Solutions for Water*: UNESCO.
- UNITED NATIONS. *Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all*. Tilgjengelig fra: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/> (lest 10.04.2019).
- Wahl, E. (2005). *Kartlegging av mulig helseisiko for abonnenter berørt av trykkløs vannledning ved arbeid på ledningsnettet*. Rapport fra NORVAR 143/2005. Hamar: NORVAR.

- Winarni, W. (2009). Infrastructure leakage index (ILI) as water losses indicator. *Civil Engineering Dimension*, 11 (2): 126-134.
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2 utg. Oslo: Norsk Vann.
- Økland, M. (2019). *Spørsmål til masteroppgave*. (e-post fra AxFlow 02.05.2019).

## Vedlegg

Oversikt over lekkasjetall, gjennomsnittlig spesifikt husholdningsforbruk og dekning av husholdningsvannmålere i alle norske kommuner. Denne statistikken danner grunnlaget for beregnede verdier i oppgaven. Tallene er hentet fra SSBs statistikkbank.

.. = Oppgave mangler

	<b>Andel av total kommunal vannleveranse til lekkasje i 2018 (prosent)</b>	<b>Estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per tilknyttet innbygger per døgn i 2018 (l/pers/døgn) (liter)</b>	<b>Andel av husholdningsabonentene som har installert vannmåler i 2018 (gjelder rapporteringsåret+1) (prosent)</b>
<b>Halden</b>	34,9	191	17,0
<b>Moss</b>	22,9	170	100,0
<b>Sarpsborg</b>	38,7	143	27,0
<b>Fredrikstad</b>	33,0	157	30,0
<b>Hvaler</b>	2,0	206	100,0
<b>Aremark</b>	18,0	221	1,0
<b>Marker</b>	8,5	196	98,0
<b>Rømskog</b>	..	..	0,0
<b>Trøgstad</b>	15,0	171	99,0
<b>Spydeberg</b>	14,0	158	90,0
<b>Askim</b>	23,0	259	10,0
<b>Eidsberg</b>	25,0	182	99,0
<b>Skiptvet</b>	30,0	200	100,0
<b>Rakkestad</b>	8,0	204	99,0
<b>Råde</b>	10,2	146	97,0
<b>Rygge</b>	20,0	183	98,0
<b>Våler</b>	..	..	99,0
<b>Hobøl</b>	14,6	139	99,0
<b>Vestby</b>	36,0	187	95,0
<b>Ski</b>	..	..	97,0
<b>Ås</b>	22,0	148	100,0

Frogn	15,0	191	95,0
Nesodden	13,8	91	99,0
Oppegård	49,1	178	89,0
Bærum	25,0	153	6,0
Asker	21,0	165	71,0
Aurskog-Høland	28,8	186	6,0
Sørums	16,0	127	43,0
Fet	24,0	161	17,0
Rælingen	27,9	156	18,0
Enebakk	..	..	..
Lørenskog	9,0	186	17,0
Skedsmo	28,0	169	80,0
Nittedal	39,0	154	99,0
Gjerdrum	38,0	45	99,0
Ullensaker	20,0	153	10,0
Nes	33,0	141	39,0
Eidsvoll	45,2	207	100,0
Nannestad	41,8	177	94,0
Hurdal	45,0	93	97,0
Oslo	32,0	158	2,0
Kongsvinger	22,2	191	97,0
Hamar	40,0	142	100,0
Ringsaker	41,8	152	100,0
Løten	44,0	121	99,0
Stange	44,0	82	100,0
Nord-Odal	3,0	203	39,0
Sør-Odal	37,0	176	21,0
Eidskog	33,4	260	85,0
Grue	33,9	215	100,0
Åsnes	21,0	150	98,0
Våler	34,0	160	95,0
Elverum	19,0	167	26,0
Trysil	29,9	231	99,0
Åmot	26,7	246	98,0
Stor-Elvdal	42,5	158	52,0

Rendalen	26,1	216	19,0
Engerdal	19,6	371	70,0
Tolga	..	..	20,0
Tynset	36,5	215	60,0
Alvdal	23,0	179	68,0
Folldal	42,3	244	50,0
Os	21,0	193	15,0
Lillehammer	35,0	183	7,0
Gjøvik	39,0	162	10,0
Dovre	28,1	210	29,0
Lesja	15,0	321	20,0
Skjåk	35,0	255	1,0
Lom	22,1	276	2,0
Vågå	19,0	257	30,0
Nord-Fron	34,5	232	62,0
Sel	49,4	73	56,0
Sør-Fron	30,2	122	42,0
Ringebu	36,5	125	99,0
Øyer	31,2	249	36,0
Gausdal	14,9	198	54,0
Østre Toten	46,0	153	100,0
Vestre Toten	41,0	212	98,0
Jevnaker	42,0	110	95,0
Lunner	..	..	16,0
Gran	39,8	137	27,0
Søndre Land	57,9	123	100,0
Nordre Land	45,9	164	100,0
Sør-Aurdal	27,9	216	30,0
Etnedal	9,4	109	96,0
Nord-Aurdal	35,1	331	100,0
Vestre Slidre	..	..	53,0
Øystre Slidre	..	..	95,0
Vang	..	..	100,0
Drammen	41,0	131	99,0
Kongsberg	25,2	253	74,0

Ringerike	41,7	147	100,0
Hole	21,9	189	80,0
Flå	11,9	216	100,0
Nes	57,0	102	100,0
Gol	36,0	212	100,0
Hemsedal	38,6	172	72,0
Ål	30,4	252	11,0
Hol	..	..	54,0
Sigdal	..	..	99,0
Krødsherad	10,0	317	10,0
Modum	47,1	150	100,0
Øvre Eiker	31,0	137	99,0
Nedre Eiker	35,0	153	100,0
Lier	19,0	161	99,0
Røyken	51,0	156	90,0
Hurum	62,6	163	98,0
Flesberg	22,8	209	85,0
Røllag	8,1	239	16,0
Nore og Uvdal	23,3	484	26,0
Horten	21,0	159	7,0
Tønsberg	16,0	204	6,0
Sandefjord	33,9	150	12,0
Svelvik	..	..	97,0
Larvik	34,9	227	3,0
Sande	33,0	85	37,0
Holmestrand	..	..	..
Re	..	..	7,0
Færder	33,0	152	5,0
Porsgrunn	36,0	167	10,0
Skien	40,0	182	22,0
Notodden	22,8	202	9,0
Siljan	8,0	169	40,0
Bamble	25,0	227	5,0
Kragerø	50,0	172	9,0
Drangedal	27,8	201	5,0

<b>Nome</b>	34,8	228	7,0
<b>Bø</b>	20,0	215	39,0
<b>Sauherad</b>	43,7	282	35,0
<b>Tinn</b>	..	..	35,0
<b>Hjartdal</b>	40,0	232	10,0
<b>Seljord</b>	29,6	324	8,0
<b>Kviteseid</b>	44,9	168	18,0
<b>Nissedal</b>	6,4	161	14,0
<b>Fyresdal</b>	15,0	114	0,0
<b>Tokke</b>	36,3	193	0,0
<b>Vinje</b>	..	..	3,0
<b>Risør</b>	39,3	186	18,0
<b>Grimstad</b>	25,0	200	10,0
<b>Arendal</b>	42,0	177	40,0
<b>Gjerstad</b>	..	..	33,0
<b>Vegårshei</b>	14,9	396	36,0
<b>Tvedestrand</b>	22,0	196	8,0
<b>Froland</b>	15,0	178	25,0
<b>Lillesand</b>	18,0	392	40,0
<b>Birkenes</b>	28,2	292	40,0
<b>Åmli</b>	27,1	377	33,0
<b>Iveland</b>	13,0	211	0,0
<b>Evje og Hornnes</b>	30,0	140	100,0
<b>Bygland</b>	17,9	467	82,0
<b>Valle</b>	..	..	75,0
<b>Bykle</b>	..	..	0,0
<b>Kristiansand</b>	35,8	150	13,0
<b>Mandal</b>	10,0	188	90,0
<b>Farsund</b>	15,0	240	99,0
<b>Flekkefjord</b>	32,6	368	55,0
<b>Vennesla</b>	49,3	132	99,0
<b>Songdalen</b>	..	..	99,0
<b>Søgne</b>	34,0	218	95,0
<b>Marnardal</b>	14,8	390	90,0
<b>Åseral</b>	13,3	288	97,0

Audnedal	8,7	239	100,0
Lindesnes	34,0	159	98,0
Lyngdal	40,2	221	96,0
Hægebostad	14,9	174	100,0
Kvinesdal	27,8	231	99,0
Sirdal	10,0	351	0,0
Eigersund	25,0	194	10,0
Sandnes	8,0	252	7,0
Stavanger	18,0	203	8,0
Haugesund	33,3	152	100,0
Sokndal	18,8	308	55,0
Lund	14,8	473	13,0
Bjerkreim	15,0	423	5,0
Hå	21,5	123	99,0
Klepp	12,0	103	98,0
Time	35,0	164	91,0
Gjesdal	18,9	143	33,0
Sola	16,0	144	8,0
Randaberg	30,0	206	7,0
Forsand	14,4	294	1,0
Strand	37,5	260	5,0
Hjelmeland	32,2	201	25,0
Suldal	37,4	193	15,0
Sauda	35,0	260	20,0
Finnøy	..	..	99,0
Rennesøy	16,0	135	97,0
Kvitsøy	12,0	201	30,0
Bokn	8,0	236	6,0
Tysvær	24,6	190	1,0
Karmøy	38,0	163	1,0
Utsira	10,0	224	9,0
Vindafjord	41,2	192	1,0
Bergen	28,0	169	0,0
Etne	44,5	215	40,0
Sveio	30,0	145	1,0



<b>Bømlo</b>	..	..	2,0
<b>Stord</b>	..	..	2,0
<b>Fitjar</b>	30,0	247	0,0
<b>Tysnes</b>	..	..	0,0
<b>Kvinnherad</b>	24,0	291	34,0
<b>Jondal</b>	10,0	256	2,0
<b>Odda</b>	65,1	180	25,0
<b>Ullensvang</b>	13,6	255	1,0
<b>Eidfjord</b>	..	..	0,0
<b>Ulvik</b>	19,0	320	4,0
<b>Granvin</b>	10,0	338	8,0
<b>Voss</b>	30,7	161	53,0
<b>Kvam</b>	32,2	221	46,0
<b>Fusa</b>	31,1	272	18,0
<b>Samnanger</b>	14,9	251	10,0
<b>Os</b>	45,9	153	2,0
<b>Austevoll</b>	..	..	0,0
<b>Sund</b>	..	..	6,0
<b>Fjell</b>	..	..	20,0
<b>Askøy</b>	25,0	329	4,0
<b>Vaksdal</b>	24,4	429	2,0
<b>Modalen</b>	20,8	372	0,0
<b>Osterøy</b>	18,5	168	9,0
<b>Meland</b>	5,2	274	1,0
<b>Øygarden</b>	..	..	1,0
<b>Radøy</b>	45,0	180	0,0
<b>Lindås</b>	14,2	119	2,0
<b>Austrheim</b>	50,0	151	1,0
<b>Fedje</b>	42,0	215	0,0
<b>Masfjorden</b>	10,0	456	5,0
<b>Flora</b>	29,6	217	15,0
<b>Gulen</b>	27,0	207	2,0
<b>Solund</b>	10,0	208	0,0
<b>Hyllestad</b>	3,3	328	11,0
<b>Høyanger</b>	16,5	367	2,0

Vik	8,9	349	8,0
Balestrand	20,0	177	0,0
Leikanger	25,0	425	5,0
Sogndal	..	..	2,0
Aurland	19,0	289	1,0
Lærdal	5,8	438	3,0
Årdal	14,8	203	20,0
Luster	..	..	26,0
Askvoll	33,0	428	50,0
Fjaler	21,0	205	5,0
Gaular	16,3	404	1,0
Jølster	21,7	252	20,0
Førde	30,0	209	4,0
Naustdal	50,0	165	1,0
Bremanger	20,4	418	2,0
Vågsøy	20,9	304	10,0
Selje	17,7	200	1,0
Eid	48,4	183	0,0
Hornindal	20,7	246	0,0
Gloppen	37,2	296	10,0
Stryn	20,0	261	43,0
Molde	20,9	184	1,0
Ålesund	42,0	173	33,0
Kristiansund	42,0	164	28,0
Vanylven	20,0	447	0,0
Sande	..	..	0,0
Herøy	..	..	0,0
Ulstein	9,5	414	5,0
Hareid	12,0	149	12,0
Volda	54,1	169	5,0
Ørsta	62,3	254	1,0
Ørskog	15,0	462	12,0
Norddal	15,0	138	25,0
Stranda	28,7	277	2,0
Stordal	30,0	264	5,0

Sykkylven	..	..	70,0
Skodje	30,0	205	8,0
Sula	36,0	175	40,0
Giske	33,6	175	26,0
Haram	..	..	15,0
Vestnes	..	..	2,0
Rauma	24,5	207	2,0
Neset	22,7	177	10,0
Midsund	16,6	457	16,0
Sandøy	15,0	166	45,0
Aukra	20,0	253	1,0
Fræna	37,0	78	11,0
Eide	..	..	0,0
Averøy	20,0	149	6,0
Gjemnes	22,4	243	1,0
Tingvoll	20,0	340	1,0
Sunnadal	23,0	272	5,0
Surnadal	5,2	314	1,0
Rindal	36,0	266	17,0
Halsa	35,0	133	0,0
Smøla	25,0	281	30,0
Aure	14,9	256	0,0
Bodø	21,7	200	5,0
Narvik	30,5	158	2,0
Bindal	27,7	223	6,0
Sømna	18,9	217	1,0
Brønnøy	24,2	299	27,0
Vega	18,0	166	89,0
Vevelstad	6,0	322	1,0
Herøy	40,0	160	0,0
Alstahaug	43,7	137	1,0
Leirfjord	24,4	356	0,0
Vefsn	29,9	199	33,0
Grane	15,0	251	..
Hattfjeldal	..	..	12,0

Dønna	40,0	244	0,0
Nesna	10,8	224	27,0
Hemnes	20,0	246	15,0
Rana	37,1	177	5,0
Lurøy	10,4	336	0,0
Træna	1,0	292	1,0
Rødøy	24,7	323	0,0
Meløy	29,7	304	9,0
Gildeskål	14,0	211	1,0
Beiarn	18,3	365	0,0
Saltdal	25,1	189	1,0
Fauske - Fuosko	40,8	200	11,0
Sørfold	17,9	183	3,0
Steigen	21,3	386	19,0
Hamarøy - Hábmer	..	..	1,0
Divtasvuodna - Tysfjord	..	..	7,0
Lødingen	34,9	212	10,0
Tjeldsund	..	..	15,0
Evenes	20,4	479	20,0
Ballangen	5,0	492	1,0
Røst	30,0	235	5,0
Værøy	36,2	173	0,0
Flakstad	..	..	1,0
Vestvågøy	..	..	20,0
Vågan	13,1	236	20,0
Hadsel	22,0	238	12,0
Bø	63,2	335	..
Øksnes	22,0	136	30,0
Sortland - Suortá	25,5	270	10,0
Andøy	38,7	178	0,0
Moskenes	..	..	0,0
Tromsø	39,1	168	1,0
Harstad - Hárstták	35,7	255	4,0
Kvæfjord	25,0	260	12,0
Skånland	19,7	426	0,0

Ibestad	14,3	250	0,0
Gratangen	2,5	306	35,0
Loabák - Lavangen	10,0	323	3,0
Bardu	..	..	5,0
Salangen	5,0	241	15,0
Målselv	32,1	448	4,0
Sørreisa	17,6	403	1,0
Dyrøy	60,0	323	0,0
Tranøy	34,4	272	10,0
Torsken	..	..	40,0
Berg	1,0	..	20,0
Lenvik	34,0	170	50,0
Balsfjord	..	..	15,0
Karlsøy	21,3	262	1,0
Lyngen	41,8	226	2,0
Storfjord - Omasvuotna - Omasvuono	62,5	84	6,0
Gáivuotna - Kåfjord - Kaivuono	51,5	198	3,0
Skjervøy	5,5	333	3,0
Nordreisa	29,8	272	8,0
Kvænangen	43,4	339	1,0
Vardø	20,0	393	0,0
Vadsø	53,1	243	12,0
Hammerfest	25,9	203	0,0
Guovdageaidnu - Kautokeino	25,0	199	5,0
Alta	48,6	128	2,0
Loppa	23,5	335	20,0
Hasvik	12,4	381	0,0
Kvalsund	4,3	239	5,0
Måsøy	9,8	327	0,0
Nordkapp	..	..	10,0
Porsanger - Porsángu - Porsanki	9,9	339	0,0

Karášjohka - Karasjok	32,0	190	25,0
Lebesby	51,7	345	0,0
Gamvik	19,9	243	0,0
Berlevåg	40,0	..	5,0
Deatnu Tana	22,8	332	15,0
Unjárga - Nesseby	..	..	15,0
Båtsfjord	..	..	5,0
Sør-Varanger	16,4	193	5,0
Trondheim	27,0	156	85,0
Steinkjer	24,9	154	..
Namsos	5,0	172	25,0
Hemne	57,5	165	20,0
Snillfjord	27,6	214	4,0
Hitra	14,7	335	20,0
Frøya	18,0	202	0,0
Ørland	..	..	2,0
Agdenes	9,7	134	1,0
Bjugn	21,9	237	..
Åfjord	5,0	333	22,0
Roan	27,0	312	2,0
Osen	19,7	135	2,0
Oppdal	37,0	178	96,0
Rennebu	5,0	199	15,0
Meldal	20,0	307	22,0
Orkdal	8,0	349	5,0
Røros	20,8	229	36,0
Holtålen	40,0	183	50,0
Midtre Gauldal	21,2	298	12,0
Melhus	51,0	132	..
Skaun	34,7	168	25,0
Klæbu	45,0	188	22,0
Malvik	36,4	155	..
Selbu	9,3	216	..
Tydal	12,1	171	7,0
Meråker	10,0	222	..

<b>Stjørdal</b>	11,0	281	37,0
<b>Frosta</b>	..	..	..
<b>Levanger</b>	36,7	156	83,0
<b>Verdal</b>	..	..	53,0
<b>Verran</b>	24,7	259	72,0
<b>Namdalseid</b>	14,5	180	30,0
<b>Snåase - Snåsa</b>	10,0	184	75,0
<b>Lierne</b>	4,8	92	15,0
<b>Raarvihke - Røyrvik</b>	10,0	428	..
<b>Namsskogan</b>	..	..	15,0
<b>Grong</b>	10,0	341	3,0
<b>Høylandet</b>	5,8	252	..
<b>Overhalla</b>	10,0	289	23,0
<b>Fosnes</b>	13,6	240	..
<b>Flatanger</b>	..	..	..
<b>Vikna</b>	39,3	215	..
<b>Nærøy</b>	18,3	222	14,0
<b>Leka</b>	..	..	..
<b>Inderøy</b>	22,0	177	65,0
<b>Indre Fosen</b>	5,0	275	..



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway