



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2023 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

## **Er norske vannverk forberedt på nye bestemmelser om lekkasjerapportering i drikkevannsforskriften?**

Are Norwegian water utilities prepared for new regulations on leakage reporting in the drinking water regulations?

**Tawfik Asaad Alalaya**  
Vann- og miljøteknikk



*«Til mine foreldre»*

*«Til min kone og mine børn»*

# Forord

Dette dokumentet markerer sluttarbeidet av mitt femårige mastergradsstudium ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet på studieretning vann- og miljøteknikk. Jeg vil takke alle enkeltpersoner og organisasjoner som har bidratt til å gjennomføre dette arbeidet. Oppgaven er en fullføring av fire år med hardt arbeid og er utarbeidet og skrevet ved Fakultet for realfag og teknologi ved NMBU da jeg fullfører utdanningen ett år under normert tid. Avhandlingen ble utført våren 2023 og utgjør 30 studiepoeng. Jeg er takknemlig for muligheten jeg har fått i Norge for å tilegne meg nye kunnskap og nye ferdigheter.

Jeg ønsker å uttrykke min takknemlighet overfor personalet ved Tomb videregående skole for det lærerike året jeg tilbrakte der, som dannet grunnlaget for mitt opptak til Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Videre vil jeg takke min mentor, Ola Rusaanes, for hans uvurderlige hjelp og støtte fra begynnelsen av min akademiske reise. Jeg ønsker også å benytte anledningen til å uttrykke min takknemlighet overfor Marta Djupang, min tidligere NAV-veileder, for å ha utarbeidet en veldig god plan som ledet til min oppnåelse av en mastergrad ved et av Norges ledende universiteter

Fra NMBU vil jeg takke mine veiledere Vegard Nilsen, Nils Otto Kitterød og Ulf Rydningen for mange gode forslag og innspill i tillegg til deres faglige støtte og råd under arbeidet og ikke minst god oppfølging. Fra Oslo kommune vil jeg takke: Eigil Nikolaisen, Øivind Ryenbakken og Jo Alexander Gjerpe for deres hjelp og faglige råd. Fra Ås kommune ønsker jeg å takke Robin Lia for gode råd i ArcGis. Fra Norsk Vann vil jeg takke Ingun Tryland og Tone Bakstad. Jeg vil takke i tillegg Thomas Pettersson og Frida Moberg og Pia Svårdiner fra Svensk Vatten.

Sist men ikke minst, vil jeg rette en stor takk til min kone Alia for å ha hjulpet meg med gode oppmuntringer samt mine kjære barn Nour Mohammed og Eleonora Swantje for koselig avbrekk med mye latter, dette arbeidet hadde vært utrolig mye vanskeligere å gjennomføre uten deres støtte. Til slutt vil jeg si at det føles trist og bedrøvelig å forlate NMBU etter noen år med mange fine minner og vennskap som ble skapt både til lærere og medstudenter.



Tawfik Asaad Alalaya  
Ås 22.05.2023

# Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler nye bestemmelser om vanntap i drikkevannsforskriften som følge av et nytt drikkevannsdirektiv. Det nye direktivet øker krav til rapportering av lekkasjeomfang (utover % vanntap) men det er ennå ikke helt avklart hvordan. EU-direktivet omtaler at rapporteringen om lekkasjer skal gjennomføres ved bruk av Infrastruktur lekkasje indeks (ILI) eller annen egnet metode. (ILI) er et forhold mellom nåværende virkelige vanntap og uunngåelige virkelige vanntap. Det er et mål som beskriver effektiviteten til vanntransportsystemer og som omfatter flere størrelser enn andre indikatorer. Den nye rapporteringen krever uansett mer informasjon om visse aspekter ved drikkevanns-nettet enn det som rapporteres inn til Mattilsynet per i dag. På denne bakgrunnen har Mattilsynet foreslått en endring av den gjeldende drikkevannsforskriften. Det nye kravet har konsekvenser for lekkasjesituasjonen ettersom Norge, som andre europeiske land, har utfordringer med vannlekkasje der store deler av drikkevannet forsvinner før det når abonnenter.

Målet med oppgaven er å vurdere hvorvidt vannverkseiere er forberedt på et skjerpet krav om lekkasjerapportering samt hvilket lekkasjemål som kan anbefales på nasjonalt nivå. Det er gjort en spørreundersøkelse blant norske kommuner for å undersøke i hvilken grad norske vannverk sitter på denne informasjonen. Resultatene fra spørreundersøkelsen viser at det er en betydelig variasjon mellom norske kommuner når det gjelder data tilgjengelighet. Selv om spørreundersøkelsen viser at det er stor usikkerhet rundt tallgrunnlaget, er det i denne oppgaven likevel gjort et forsøk på å beregne de ulike lekkasjeindikatorene ved hjelp av data innrapportert til Mattilsynet og egne estimater på ukjente inputdata. Disse beregningene viser at mange norske kommuner har en ILI-verdi på over 2,5, altså høyere enn det som er klassifisert som «OK». Det har i tillegg blitt beregnet en prosentandel lekkasje ved å bruke et korrigert spesifikt vannforbruk på 140 l/pe/døgn etter Norsk Vann sin anbefaling.

Denne oppgaven har vist at de fleste av norske vannverkene ikke er forberedt på å innføre nye krav. Oppgaven viser i tillegg at det er umulig å gjøre fornuftige beregninger med dagens innrapporterte data. På denne bakgrunnen bør vanntap beregnes ved bruk av ( $m^3/km/døgn$ ) i drikkevannsforskriften. Denne indikatoren anses som egnet metode basert på dagens datatilgjengelighet hos Mattilsynet.

# Abstract

This master's thesis concerns new regulations on water loss in the drinking water regulations as a result of a new drinking water directive. The new directive increases requirements for reporting the extent of leakage (beyond % water loss), but it is not yet fully clarified how. The EU directive mentions that reporting on leaks should be carried out using the Infrastructure Leakage Index (ILI) or other suitable methods. ILI is a ratio between current real losses and unavoidable real losses. It is a measure that describes the efficiency of water transport systems and includes more variables than other indicators. The new reporting requirements demand more information about certain aspects of the drinking water network than what is currently reported to the Norwegian Food Safety Authority. Based on this, the Food Safety Authority has proposed a revision to the existing drinking water regulations. The new requirement has implications for the leakage situation as Norway, like other European countries, faces challenges with water leakage where significant amounts of drinking water are lost before reaching consumers.

The objective of this thesis is to assess whether water utility owners are prepared for a tightened requirement on leakage reporting and to recommend a national leakage measure. A survey was conducted among Norwegian municipalities to investigate the extent to which Norwegian water utilities possess this information. The survey results show significant variation among Norwegian municipalities regarding data availability. Although the survey reveals substantial uncertainty regarding the data foundation, this thesis attempts to calculate various leakage indicators using data reported to the Norwegian Food Safety Authority and estimations based on unknown input data. These calculations show that many Norwegian municipalities have an ILI value exceeding 2.5, that is to say higher than what is classified as "Ok". Additionally, a percentage of leakage has been calculated using a corrected specific water consumption of 140 l/pe/day, following the recommendation of the Norwegian Water organization.

This thesis demonstrates that most Norwegian water utilities are not prepared to implement new requirements. Furthermore, it highlights that meaningful calculations can not be performed with the current reported data. Consequently, water loss should be calculated using  $\text{m}^3/\text{km}/\text{day}$  in the drinking water regulations. This indicator is considered a suitable method based on the current data availability at the Norwegian Food Safety Authority

# Terminologi

<b>ANN</b>	Artificial neural network
<b>AWWA</b>	American water works association
<b>CARL</b>	Current annual real losses
<b>CSA</b>	Community structure algorithm
<b>DMA</b>	District metered are
<b>ELL</b>	Economic Leakage Level
<b>EUREAU</b>	European Federation of National Associations of Water Services
<b>GA</b>	Genetic algorithm
<b>IWA</b>	International Waterworks Association
<b>MCDA</b>	Multiple-criteria decision analysis
<b>ML</b>	Machine learning
<b>NRW</b>	Non-Revenue Water
<b>SELL</b>	Sustainable Economic Leakage Level
<b>SOM</b>	Selv organised map
<b>UARL</b>	Unavoidable annual real losses
<b>WDN</b>	Water distribution network
<b>WHO</b>	Water Health Organization
<b>WLTF</b>	Water loss task force
<b>WNP</b>	Water network partitioning



# Tabell Oversikt

TABELL 1: INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) VANNBALANSE MODELL DER VANNMENGDER MÅLES I M <sup>3</sup> PÅ ÅRLIG BASIS (ALEGRE, 2016).....	16
TABELL 2: ILI KATEGORIER SLIK DE ER KLASSIFISERT AV VERDENS HELSEORGANISASJON (WHO) (MALM ET AL., 2018). ....	22
TABELL 3: RESULTATER PÅ BEREGNINGER AV ULIKE LEKKASJEINDIKATORER FRA 3 KOMMUNER MED KORRIGERTE BEREGNINGER BASERT PÅ VANNFORBRUK PÅ 140 L/PE/DØGN.....	46
TABELL 4: DETALJERT OVERSIKT OVER HVORDAN RESPONDENTENE HAR BESVART SPØRSMÅL 4 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM HVILKE MÅL FOR LEKKASJEFANG KOMMUNENE BRUKER. ....	54
TABELL 5: BEREGNINGSEKSEMPLER PÅ (ILI) FRA INFORMANTEN I OSLO KOMMUNE FOR ÅRET 2022. ....	63
TABELL 6: INFORMANTERS BEREGNINGSEKSEMPEL FOR SVERIGES (ILI) FOR ÅRET 2019. ....	65

# Figur Oversikt

FIGUR 1: TRERØR SOM BLE GRAVD OPP I TROMSØ SENTRUM I 2016 (BENJAMINSEN, 2016). ....	5
FIGUR 2: OVERSIKT OVER 3-ÅRIG GJENNOMSNTLIG FORNYELSE AV KOMMUNAL DRIKKEVANNSNETTET PÅ FYLKESNIVÅ (NORSKVANN, 2022). ....	6
FIGUR 3: LEDNINGSFORNYELSE RATE FOR DRIKKEVANNSNETTET I EU LAND I PERIODEN 2012-2015 (EURÉAU, 2017). ....	6
FIGUR 4: OVERSIKT OVER ULIKE LEKKASJE TYPER MED AKTUELLE HÅNTERINGSTILTAK (CAMPBELL, 2017). ....	7
FIGUR 5: ILLUSTRASJON AV SELV ORGANISERENDE KART- METODE FOR LEKKASJESØK (SOM), (A) ER 2-LAG SOM, (B) ER FASTSLÅTTE 3 «DISTRICT METERED AREA» DMA-OMRÅDER (BUI ET AL., 2021). ....	9
FIGUR 6: LEKKASJESØK VED BRUK AV EN LOGGER SOM ER Plassert PÅ ET RØR (REETAJ TECHNOLOGIES, 2008). ....	10
FIGUR 7: LEKKASJEDETEKSJON VED BRUK AV DEN AKUSTISKE METODEN (SUBSURFACE LEAK DETECTION INC., 2016). ....	10
FIGUR 8: INFRARED TERMOGRAFI (IR) BILDE AV EN OVERFLATE SOM VISER FARGEVARIASJON OVER ET OMRÅDE.....	11
FIGUR 9: PLOTT SOM VISER HVORDAN BESTEMMES SELL «SUSTAINABLE ECONOMIC LEKAGE LEVEL» FOR VANNLEKKASJER FOR ET NORSK VANNVERK DER DEN OPTIMALE VERDIEN ER PÅ CA. 16 - 17 M <sup>3</sup> /KM/DØGN (MALM ET AL., 2018). ....	13
FIGUR 10: ILLUSTRASJON SOM VISER DAGENS VERDI AV SELL «SUSTAINABLE ECONOMIC LEKAGE LEVEL» MOT SELL-VERDI MED BRUK AV NY LEKKASJETEKNOLOGI (MALM ET AL., 2018).....	13
FIGUR 11: SAMMENHENG MELLOM GJENNOMSNTLIG ÅRSGEBYR FOR NORSKE KOMMUNER MOT ET FORBRUK PÅ 150 M <sup>3</sup> /ÅR OG ..	14
FIGUR 12: ÅRLIGE DRIFTSKOSTNADER I DRIKKEVANNsledninger I EU LAND (EURÉAU, 2017). ....	14
FIGUR 13: FORHOLDET MELLOM LEKKASJER OVER BAKGRUNNSLEKKASJER OG SELL-VERDIER «SUSTAINABLE ECONOMIC LEKAGE LEVEL» (IRISH WATER, 2021).....	15
FIGUR 14: EKSEMPEL PÅ VARIASJONEN I VANNFORBRUK I M <sup>3</sup> OVER ET DØGN DER Y-AKSEN ER FORBRUKET SOM MÅLES I L/PE/DØGN	18
FIGUR 15: ILLUSTRASJON OVER ET OMRÅDE SOM ER DELT INN I TRE SONER I FORBINDELSE MED BUNN-OPP METODE FOR LEKKASJESØK DER DE GRÅ LINJENE SKILLER MELLOM DE ULIKE SONENE (FERRARI ET AL., 2014). ....	18
FIGUR 16: OVERSIKT OVER NOEN DATA FRA KOSTRA OPPDATERT 20. JUNI 2022 (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2022A).....	20
FIGUR 17: PLOTT FOR UUNNGÅELIGE VIRKELIGE VANNTAP UARL- VERDIER MOT TETTHET AV STIKKLEDNINGER, OG SOM OGSÅ VISER PÅVIRKNING OG FORHOLDET MELLOM DISSE (MCKENZIE & LAMBERT, 2008).....	24
FIGUR 18: FORHOLDET MELLOM ILI-VERDIER OG STIKKLEDNINGERS TETTHET I ET STUDIEOMRÅDET I ENGLAND (WINARNI, 2009)...	25
FIGUR 19: OVERSIKT OVER KOMPONENT-BASERT METODIKKEN FOR Å BEREGNE UUNNGÅELIG VIRKELIGE VANNTAP UTVIKLET AV IWA. ....	26
FIGUR 20: PROSENTANDEL AV VANN SOM LEKKET UT AV LEDNINGSNETTET I 2021, INNDELTE I MATTILSYNET-REGIONER (NORDHEIM, 2021). ....	30
FIGUR 21: GJENNOMSNTLIG VANNTAP I EU LAND MÅLT I PROSENT (EURÉAU, 2017).....	31
FIGUR 22: GJENNOMSNTLIG VANNTAP I EU LAND MÅLT I M <sup>3</sup> /KM/ÅR (EURÉAU, 2017).....	31

FIGUR 23: FLYTSKJEMA SOM VISER FREMGANGSMÅTEN I METODEBRUKEN.....	32
FIGUR 24: ILLUSTRASJON OVER PRIVATE STIKKLEDNINGER, TIL VENSTRE MED PRIVAT EIERSKAP FREM TIL HOVEDLEDNINGEN OG TIL HØYRE MED KOMMUNALT EIERSKAP UT AV OFFENTLIG VEI. DE GULE LINJENE ER PRIVATEIDE LEDNINGER OG DE STIPLETE LINJENE ER EIENDOMSGRENSER (VEIERØD, 2017). .....	35
FIGUR 25: OVERSIKT OVER ALLE NORSKE KOMMUNER MED VANNMÅLEDEKNING I PROSENT (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2021A). ....	36
FIGUR 26: UTSNITT AV SPØRSMÅL 1 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM ANTALL PERSONER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING. ...	39
FIGUR 27: UTSNITT AV SPØRSMÅL 2 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM VANNMÅLERDEKNING I PROSENT. ....	39
FIGUR 28: UTSNITT AV SPØRSMÅL 3 I SPØRREUNDERSØKELSEN SOM OMHANDLET SPESIFIKT VANNFORBRUK SOM LEGGES TIL GRUNN I LEKKASJEBEREGNINGER. ....	40
FIGUR 29: UTSNITT AV SPØRSMÅL 4 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM LEKKASJEMÅL SOM KOMMUNER BENYTTET SEG AV. ....	40
FIGUR 30: UTSNITT AV SPØRSMÅL 5 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM KOMMUNERS KJENNSKAP TIL (ILI).....	41
FIGUR 31: UTSNITT AV SPØRSMÅL 6 FRA SPØRREUNDERSØKELSEN OM TILGJENGELIGHETSGRAD AV DATA SOM DIREKTE INNGÅR I (ILI) BEREGNING. ....	42
FIGUR 32: UTSNITT AV SPØRSMÅL 7 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM ANDEL TAPT VANN SOM SKYLDES PRIVATE LEDNINGER. ....	43
FIGUR 33: UTSNITT AV SPØRSMÅL 8 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM RESPONDENTERS EGNE KOMMENTARER OG REFLEKSJONER. ....	43
FIGUR 34: ILI VERDIER FOR VANNVERK MED INNRAPPORTERT DATA TIL MATTILSYNET FOR 2022. ....	47
FIGUR 35: KORRIGERTE ILI VERDIER BASERT PÅ 140 L/PE/DØGN SOM SPESIFIKT VANNFORBRUK FOR VANNVERK MED INNRAPPORTERT DATA TIL MATTILSYNET. ....	47
FIGUR 36: NORSKE KOMMUNER MED SINE (ILI) VERDIER INKLUDERT KORRIGERTE VERDIER BASERT PÅ BEREGNET KORRIGERT LEKKASJETALL ANTATT SPESIFIKT VANNFORBRUK PÅ 140 L/PE/DØGN. KOMMUNENE SOM ER MARKERT MED HVIT ER DET INGEN DATA OM.....	48
FIGUR 37: BEREGNEDE VERDIER FOR TAP PER LENGDEENHET FOR UTVALGTE VANNVERK MED INNRAPPORTERT DATA FOR 2022 OG MED KORRIGERT VANNFORBRUK PÅ 140 L/PE/DØGN SOM SPESIFIKT VANNFORBRUK. ....	48
FIGUR 38: BEREGNEDE VERDIER FOR TAP PER STIKKLEDNING FOR UTVALGTE VANNVERK MED INNRAPPORTERT DATA FOR 2022 OG PÅ KORRIGERT VANNFORBRUK PÅ 140 L/PE/DØGN. ....	49
FIGUR 39: ILI VERDIER KOBLET TIL ULIKE VANNTAP MÅLT I % OG M <sup>3</sup> /KM/DØGN. DATA GJELDER 500 NORSKE VANNVERK MED HØYESTE ILI VERDIER SOM ER PÅ OPPTIL 44 BASERT PÅ DERES INNRAPPORTERT DATA TIL MATTILSYNET.....	49
FIGUR 40: SAMMENHENGEN MELLOM ILI-VERDIER, OG STØRRELSEN PÅ VANNVERK BASERT PÅ ANTALL TILKNYTTETE PERSONER. ....	50
FIGUR 41: SAMMENHENGEN MELLOM (L/STIKKLEDNING/DØGN)-VERDIER, OG STØRRELSEN PÅ VANNVERK BASERT PÅ ANTALL TILKNYTTETE PERSONER.....	50
FIGUR 42: SAMMENHENGEN MELLOM (M <sup>3</sup> /KM/DØGN)-VERDIER, OG STØRRELSEN PÅ VANNVERK BASERT PÅ ANTALL TILKNYTTETE PERSONER. ....	50
FIGUR 43: TIL VENSTRE, MINST PROSENT ANDEL BEFOLKNING SOM ER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING OG SOM ER OMFATTET AV SPØRREUNDERSØKELSEN. TIL HØYRE ER FORDELING AV RESPONDENTENE BASERT PÅ ANTALL PERSONER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING. ....	51
FIGUR 44: OVERSIKT OVER VANNMÅLERDEKNING BASERT PÅ SVAR FRA RESPONDENTENE I SPØRREUNDERSØKELSEN I STIGENDE REKKEFØLGE. HVER SØYLE REPRESENTERER EN NORSK KOMMUNE SOM HAR DELTATT I SPØRREUNDERSØKELSEN. ....	52
FIGUR 45: OVERSIKT OVER SPESIFIKT VANNFORBRUK SOM ER LAGT TIL GRUNN I VANNTAPSBEREGNINGER SOM RESPONDENTER HAR RAPPORTERT MED STIGENDE REKKEFØLGE. ....	53
FIGUR 46: RESPONDENTERS EGNE KOMMENTARER NÅR DE BESVARTE MED «ANNET» ELLER «ANNET» KOMBINERT MED ANDRE VALG I SPØRSMÅL 4 I SPØRREUNDERSØKELSEN SOM HANDLET OM LEKKASJEFANGSMÅL.....	55
FIGUR 47: ILLUSTRASJON AV KORRELASJON MELLOM KOMMUNENES KJENNSKAP TIL (ILI) OG TILHØRENDE ANTALL INNBYGGERE TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING BASERT PÅ RESPONDENTERS SVAR I SPØRSMÅL 5 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM KOMMUNENS KJENNSKAP TIL (ILI). ....	56
FIGUR 48: RESULTATENE FRA ALLE RESPONDENTER FOR SPØRSMÅL 6 I SPØRREUNDERSØKELSEN OM TILGJENGELIGHETSGRAD AV DATA SOM DIREKTE INNGÅR I (ILI)- OG ANDRE INDIKATORS BEREGNINGER. ....	57
FIGUR 49: FORHOLD MELLOM DEMOGRAFISK FAKTOR OG TILGJENGELIGHETSGRAD AV DATA OVERSIKT FOR KOMMUNER MED 50 TUSEN INNBYGGERE ELLER FLERE OG SOM ER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING. ....	58

FIGUR 50: FORHOLD MELLOM DEMOGRAFISK FAKTOR OG TILGJENGELIGHETSGRAD AV DATA OVERSIKT FOR KOMMUNER MED 20 - 50 TUSEN INNBYGGERE SOM ER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING. ....	58
FIGUR 51: FORHOLD MELLOM DEMOGRAFISK FAKTOR OG TILGJENGELIGHETSGRAD AV DATA OVERSIKT FOR KOMMUNER MED 10 - 20 TUSEN INNBYGGERE SOM ER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING. ....	59
FIGUR 52: FORHOLD MELLOM DEMOGRAFISK FAKTOR OG TILGJENGELIGHETSGRAD AV DATA OVERSIKT FOR KOMMUNER MED 10 TUSEN INNBYGGERE ELLER FÆRRE OG SOM ER TILKNYTTET KOMMUNAL VANNFORSYNING. ....	59
FIGUR 53: RESPONDENTENES ESTIMAT PÅ PROSENTANDEL AV LEKKASJE SOM SKYLDES PRIVATE STIKKLEDNINGER. ....	60
FIGUR 54: ILLUSTRASJON PÅ STIKKLEDNINGSSTATUS SOM VISER KOMMUNALT EIESKAP AV .....	67
FIGUR 55: ILLUSTRASJON SOM VISER ESTIMERING AV DRIFTSTRYKK VED EN VILKÅRLIG NODE I DRIKKEVANNSETTET. ....	68
FIGUR 56: KOMMUNER MED ANTALL INNBYGGERE PÅ 50 TUSEN ELLER FLERE (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2023). ....	80
FIGUR 57: KOMMUNER MED ANTALL INNBYGGERE MELLOM 20 OG 50 TUSEN (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2023). ....	81
FIGUR 58: KOMMUNER MED ANTALL INNBYGGERE MELLOM 10 OG 20 TUSEN (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2023). ....	81
FIGUR 59: KOMMUNER MED ANTALL INNBYGGERE PÅ 10 TUSEN ELLER FÆRRE (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2023) .....	82
FIGUR 60: VANNMÅLERDEKNING BASERT PÅ RESPONDENTERS SVAR I SPØRREUNDERSØKELSEN-SPØRSMÅL 2 I SPØRREUNDERSØKELSEN FRA 1 TIL 70. ....	83
FIGUR 61: OVERSIKT OVER SPESIFIKT VANNFORBRUK SOM ER LAGT TIL GRUNN I VANNTAPSBEREGNINGER SOM RESPONDENTER BENYTTET OG SOM BESVARTE I SPØRSMÅL 3. ....	83
FIGUR 62: OVERSIKT OVER PROSENTANDEL FOR HVER AV LEKKASJEMÅLENE BASERT PÅ SVAR I SPØRREUNDERSØKELSEN. ....	84
FIGUR 63: ANTALL SVAR FOR HVERT LEKKASJEMÅL SOM BLE MOTTATT I FORBINDELSE MED SPØRSMÅL OM KJENNSKAP TIL (ILI) I SPØRREUNDERSØKELSEN.....	84
FIGUR 64: RESPONDENTERS ESTIMAT PÅ ANDEL LEKKASJE SOM SKYLDES PRIVAT INFRASTRUKTUR.....	85

# Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>TERMINOLOGI</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABELL OVERSIKT</b> .....	<b>V</b>
<b>FIGUR OVERSIKT</b> .....	<b>V</b>
<b>INNHOOLD</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUKSJON</b> .....	<b>1</b>
1.1 INNLEDNING.....	1
1.2 PROBLEMSTILLING.....	2
1.3 OPPBYGGING.....	3
1.4 AVGRENSNINGER.....	3
<b>2 LITTERATURSTUDIE</b> .....	<b>4</b>
2.1 LEKKASJER I DRIKKEVANNSNETT.....	4
2.1.1 Bakgrunn.....	4
2.1.2 Status og rehabiliteringsbehov.....	5
2.1.3 Lekkasjesøk.....	7
2.1.4 Lekkasjeøkonomi og SELL.....	12
2.2 BEREGNE VOLUMLEKKASJE ETTER IWA.....	16
2.2.1 Vannbalansemodell.....	16
2.2.2 Lekkasjenivå beregningsmetoder.....	17
2.3 YTELSE INDIKATORER.....	19
2.3.1 Generelt om PI.....	19
2.3.2 Nordisk samarbeid om PI.....	19
2.3.3 Benchmarking system og WLTF.....	19
2.3.4 KOSTRA – Kommunal vannforsyning.....	20
2.3.5 PI-Indikatorer for lekkasje beregning.....	21
2.4 NYTT DRIKKEVANNSDIREKTIV TIL EU OG DEN NYE DRIKKEVANNSFORSKRIFTEN.....	27
2.4.1 Nåværende drikkevannsforskrift.....	27
2.4.2 Det nye drikkevannsdirektivet.....	27
2.4.3 Endring av drikkevannsforskriften.....	29
2.5 LEKKASJESITUASJON I NORGE OG EN MULIG SAMMENHENG MED ANDRE LAND.....	30
<b>3 METODE</b> .....	<b>32</b>
3.1 VANNVERKSREGISTERET (VREG).....	33
3.2 BEREGNINGER BASERT PÅ VREG.....	33
3.2.1 Beregning av (ILI) og andre indikatorer.....	34
3.3 SPØRREUNDERSØKELSE.....	37
3.3.1 Innledning.....	37
3.3.2 Utvikling av spørreundersøkelsen.....	37
3.3.3 Spørreundersøkelsens struktur.....	39

3.4	PERSONLIGE INTERVJUER .....	44
<b>4</b>	<b>RESULTATER .....</b>	<b>45</b>
4.1	INDIKATORBEREGNINGER .....	45
4.2	RESULTATER FRA SPØRREUNDERSØKELSEN.....	51
4.3	PERSONLIGE INTERVJUER .....	62
4.3.1	<i>Oslo kommune</i> .....	62
4.3.2	<i>Mattilsynet og FHI</i> .....	64
4.3.3	<i>Svenskt Vatten</i> .....	64
4.3.4	<i>EurEau</i> .....	65
<b>5</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>66</b>
5.1	DISKUSJON RUNDT DE TRE INDIKATORENE.....	66
5.2	DISKUSJON RUNDT ILI .....	66
5.3	DISKUSJON RUNDT KOMMUNERS DATA .....	69
5.4	REFLEKSJONER RUNDT EGET ARBEID .....	70
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>REFERANSER.....</b>	<b>72</b>
<b>VEDLEGG A</b>	<b>.....</b>	<b>79</b>
	KART MED BEREGNEDE INDIKATORVERDIER PÅ KOMMUNENIVÅ.....	79
<b>VEDLEGG B</b>	<b>.....</b>	<b>80</b>
	UTVALGTE FIGURER .....	80

# 1 Introduksjon

## 1.1 Innledning

Mange land står overfor utfordringer som gjøre det utfordrende med å sikre at alle innbyggere har sikker tilgang til rent drikkevann. I tillegg til utfordringer som er knyttet til klimaendring, urbanisering eller dårlig utnyttelse av vannressurser, er det konkurranse om vannressursene noe som øker risikoen og setter fremtiden i fare for flere og større vannkonflikter. Til tross for det, er det store vannmengder som går tapt som følge av lekkasje på distribusjonsnettet. I EU er det rapportert en gjennomsnittlig lekkasje andel på 23 % med store variasjoner mellom de ulike statene (EurEau, 2017). I Norge går det anslagsvis 210 millioner m<sup>3</sup> drikkevann ut av distribusjonsnettet på vei til forbrukere hvert år, noe som tilsvarer 30 % av totalt produsert vann (Steinberg et al., 2020). Dette tallet har vært relativt stabil de siste tiårene (Statistisk sentralbyrå, 2022a). Sammenlignet med nabolandene har Norge høyest lekkasjegrاد i Norden. I Sverige ligger dette tallet på 15 % mens i Danmark er det bare 6 % (Heldahl & Pettersen, 2019).

Denne store lekkasjeandelen har negative økonomiske konsekvenser fordi det blir brukt energi og ressurser på å behandle og pumpe vann som går tapt. Skader på infrastruktur som følge av vannlekkasjer er kostbare og ressurskrevende. Større vannmengder som lekker ut, kan for eksempel medføre skader på veier som følge av erosjon. Drikkevannsnettet blir da dessuten utsatt for innsug av helseskadelige forurensninger hvor det er relativt lave eller trykkløse deler av nettet. I hovedsak har alle i Norge tilgang til rent drikkevann. Likevel er det utfordringer tilknyttet forurensninger som blant annet forårsakes av innlekking av avløpsvannet i drikkevannsnettet (FN-sambandet, 2022). I Norge har det vært god tilgang på råvann som er relativt rent samt er det relativt store kostnader tilknyttet vedlikehold. Det direkte økonomiske aspektet har altså vært overveiende. Dette gjorde det muligens billigere å la vannet lekke enn å reparere lekkasjer. Dersom de fastsatte målene skal oppnås, må det langsiktige økonomiske bildet hensyntas. De siste årene har søkelyset blitt skiftet og mer fokus samt høyere krav til drikkevannsnettet blitt stilt (Mattilsynet, 2014).

Prosentandel er den mest vanlige lekkasjeindikatoren som benyttes per i dag. Den er utsatt for stor usikkerhet og beskrevet som uegnet (EurEau, 2021). Det er en av hovedgrunnene til nye krav fra EU om beregning av lekkasjer ved bruk av ILI eller andre indikatorer. Det er i tillegg foreslått noen andre endringer som blant annet omhandler risikobaserte hendelser, opplysningsplikt til abonnenter, IT-sikkerhet. Det nye direktivet vurderte under utarbeidelsen å tallfeste en felles lekkasjeandel. Basert av variasjoner mellom EU medlemstatene både på klima og topografi, ble det satt generelle krav til det. Kravene går ut på å pålegge alle vann-verkseierne å søke samt å kartlegge lekkasjegraden i distribusjonsnettet og at tapt vann skal minimeres (Directive (EU) 2020/2184, 2020). Dette skal gjennomføres ved å benytte infrastruktur lekkasje indeks (ILI) eller annen egnet metode (Mattilsynet, 2022a). (ILI) som en lekkasjeindikator, inneholder noe omfattende inputdata som informasjon og drikkevannsledninger og driftstrykket i nettet i tillegg til virkelige vanntap (Winarni, 2009).

## 1.2 Problemstilling

Denne masteroppgaven har til hensikt å gi en oversikt over lekkasjeomfang på et nasjonalt nivå med hensyn til nye lekkasjekrav som følge av EUs sitt nye drikkevanndirektiv. De nye lekkasjekravene kommer på bakgrunn av at dagens mest vanlige metode ikke gir en god oversikt over lekkasjeomfanget i drikkevannsnettet. Norske kommuner rapporterer årlig en del informasjon om vannforsyningssystemer på fastlandet. Dette har til hensikt å følge med drikkevannleveransen samt bruke noe av disse dataene i internasjonale forpliktelser. Ettersom det har kommet nye krav fra EU som forårsaker en oppdatering av den gjeldende drikkevannsforskriften, er det behov for å kartlegge de nye endringene. EU sitt nye direktiv er et minimumskrav. Det innebærer at norsk regelverket må være like strengt. Det er i praksis lov å legge til flere eller strengere regler, men ikke færre eller mindre strenge regler (Mattilsynet, 2022a). Det er derfor nødvendig å få vurdert hvorvidt de tilgjengelige og rapporterte dataene er nok for en slik oppdatering. For å sjekke om det er mulig å nå målene fastsatt av de nye kravene, skal oppgaven vurdere om dataene som er tilgjengelige er tilfredsstillende for beregning av infrastruktur lekkasje indeks (ILI).

### **Hoved problemstillingen i denne oppgaven er:**

Er det mulig, ved bruk av tilgjengelige data, å lage nasjonal oversikt over lekkasjeomfang enten ved å bruke Infrastruktur Lekkasje Indeks (ILI) eller andre indikatorer? Hvilken indikator er anbefalt å bruke? Har norske kommuner tilstrekkelig informasjon til slike beregninger? Hvilke data mangler for å få til en slik oversikt på landbasis slik at målene med de nye EU kravene blir nådd?

## 1.3 Oppbygging

Først vil oppgaven presentere en teoretisk gjennomgang av lekkasjeutfordringen, herunder problemets bakgrunn og hvordan det har blitt håndtert. Videre vil det gis en bakgrunn for problemstillingen som omhandler den nye norske drikkevannsforskriften medfulgt nye og skjerpete krav om lekkasjenivå. I den påfølgende tekniske delen vil det bli vist ulike metoder for å beregne lekkasjeindikatorer.

I metoddelen vil det også bli presentert de arbeidsmetodene som oppgaven har benyttet for å besvare sitt forskningsspørsmål. Resultatdelen vil vise og analysere oppgavens kvantitative del, presentert gjennom en spørreundersøkelse, samt de kvalitative delene som omfatter personlige intervjuer i tillegg til resultater fra beregningene. Oppgaven vil avsluttes med en diskusjon og konklusjon som danner grunnlag for forslag til videre studier.

## 1.4 Avgrensninger

I forbindelse med beregninger, tar oppgaven i bunn og grunn de dataene som offentliggjøres hvert år på Mattilsynet sine nettsider og som kun gjelder vannverk på fastlandet. Det innebærer at offshore-forsyningssystemer ikke tas i betraktningen ettersom lekkasjeandels tall på disse ikke er rapportert. Ettersom de publiserte dataene ikke er nok for å beregne infrastruktur lekkasje indeks (ILI), er det likevel behov for noen estimeringer for noen av dataene. Hvordan disse estimeringene blir betraktet eller vurdert, blir det videre forklart i metode delkapittelet.

Oppgaven tar for seg tre indikatorer i beregninger:

Infrastruktur lekkasje indeks (ILI) som ble nevnt i EU sitt nye direktiv, reelle vanntap per lengdeenhet [ $l/km/døgn$ ] og reelle vanntap per stikkledning [ $l/forbindelse/døgn$ ] som ble omtalt av *The European Federation of National Associations of Water Services* (EurEau) som enkle og gode metoder (EurEau, 2021).



## 2 Litteraturstudie

### 2.1 Lekkasjer i drikkevannsnnett

#### 2.1.1 Bakgrunn

Vann- og avløpsledninger som er i bruk i dag, er ifølge Ødegård (2014) bygget etter 1850. Flere og nye krav ble stilt som følge av belastning fra biler eller trikker etter 1900. Fra året 1950, etter verdenskrigen ble det brukt gravemaskiner i forbindelse med innlegging av nye rør. Det ble samtidig utviklet enkle metoder og modeller for lastanalyse som var nødvendig med tanke på grøftedybde og type rør-materiale. Likevel var det utvilsomt lite kontroll samt lite kjennskap til forhold under bakken etter at rørene ble lagt inn. Ledningene ble altså sjelden kontrollert i forbindelse med anleggsarbeid. Ledningene som ble bygd i denne perioden har derfor svak motstand og er utsatt for brudd. Dette gjelder også avløpsledninger som i tillegg er utsatt for setningskader. Dette setter imidlertid drikkevannsledninger i separate systemer i fare for kontaminering.

I 1970 ble det innført innvendig TV-inspeksjon av ledninger (Ødegård, 2014). Senere har denne teknologien blitt et viktig middel for å få oversikt og bedre kjennskap til tilstanden på ledningene. På bakgrunn av dette har det blitt stilt krav til type gjenfyllingsmasse, samt komprimering med spesielt utstyr. Av hensyn til dagens situasjon med klimaendring og av miljømessige årsaker, blir det vurdert å gjenbruke stedlige fyllingsmasser (Ødegård, 2014).

## 2.1.2 Status og rehabiliteringsbehov

De siste hundreårene har det blitt brukt ulike rørmaterialer i vanntransportsystemer (Gjerland, 2021). De eldste rørene var som regel laget av tre og koblet sammen med smijern.

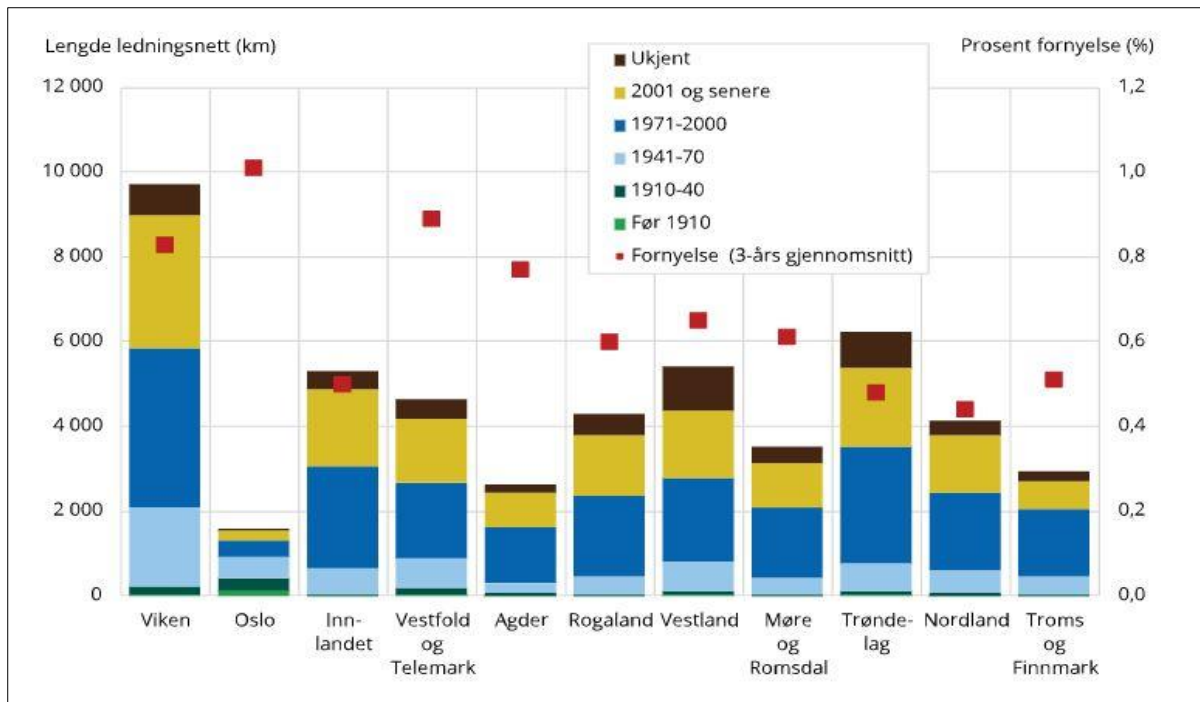
Vanntransportering var helt avhengig av tyngdekraft ettersom ledningene var trykløse (Gjerland, 2021).



Figur 1: Trerør som ble gravd opp i Tromsø sentrum i 2016 (Benjaminsen, 2016).

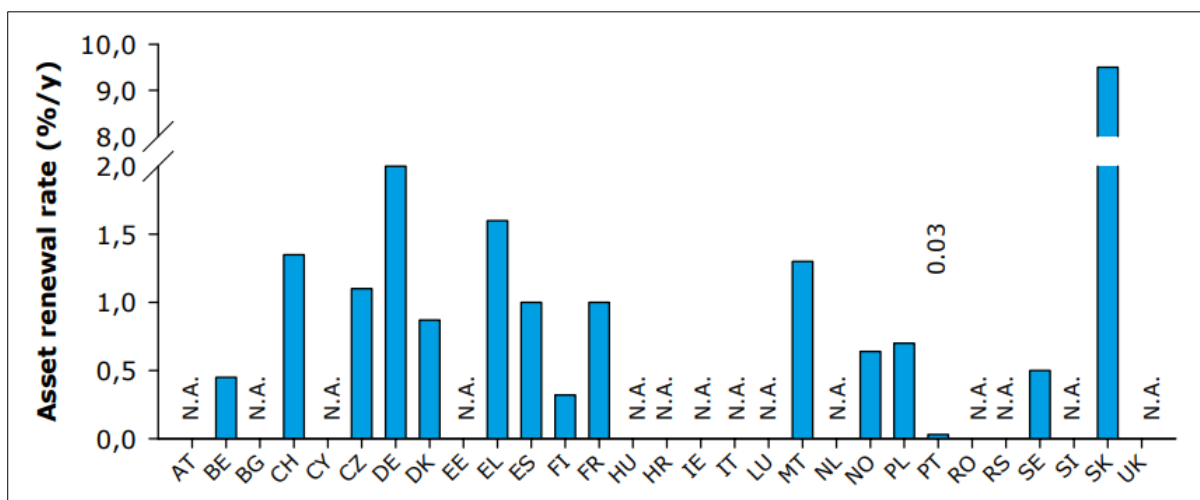
Senere ble ledningene laget av støpejern. Dette gav mer fleksibilitet og dermed fikk ledningene mindre veggtykkelse. Det dukket imidlertid opp nye problemer med disse rørene som korrosjon. Korrosjon førte til brudd på ledningsnettet og det oppstod store lekkasjeproblemer som følge av hull og sprekker. For å forsøke å bekjempe korrosjon på rørene, ble støpejernledningene dekket innvendig med sementsjikt og senere også utvendig (Ødegård, 2014). Tilstanden og historien til ledningene viser et stort behov for et omfattende arbeid med reparasjon og utskifting av eldre ledninger, for å minimere lekkasjer.

Norske kommuner har ansvar for over 50 000 km med vannledninger, som gir innbyggere tilgang til vann (NorskVann, 2022). Store deler av nettet er som omtalt av Statistisk sentralbyrå (2022b), relativt gammelt og har behov for fornyelse. 0,7 % av hele nettet ble fornyet i 2021. Basert på dette tempoet vil det ta omtrent 150 år for å fornye hele kommunale drikkevannsnettet (Statistisk sentralbyrå, 2022b). *Figur 2* nedenfor viser gjennomsnittlig fornyelse basert på 3 år, fordelt på norske Fylker.



Figur 2: Oversikt over 3-årig gjennomsnittlig fornyelse av kommunal drikkevannsnett på fylkesnivå (NorskVann, 2022).

Slik det fremgår av *Figur 2*, så går rehabiliteringsprosessen som gjelder fornyelse av vannledninger, relativt sakte. Dette innebærer at det er større sjanser for at lekkasjer oppstår og dermed at større vannmengder kan gå tapt. Det stilles dessuten krav om at vanntrykket i tettbygde områder skal være på minst 2,5 bar (Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, 2017). Dette kravet til vanntrykk kan medføre økt grad av lekkasje på de delene av nettet som allerede er utsatt for slitasje. Det er fordi lekkasje og trykk henger tett sammen og både lekkasjenivå og bruddfrekvens på rør øker med høyere trykk (Næs, 2017). Sammenlignet med andre EU land har Norge et relativt lavt nivå når det gjelder fornyelse av distribusjonssystemenes infrastruktur (EurEau, 2017). Tallene på fornyelsesrater varierer fra år til år mellom EU land og er vist i følgende *Figur 3* for perioden 2012-2015:

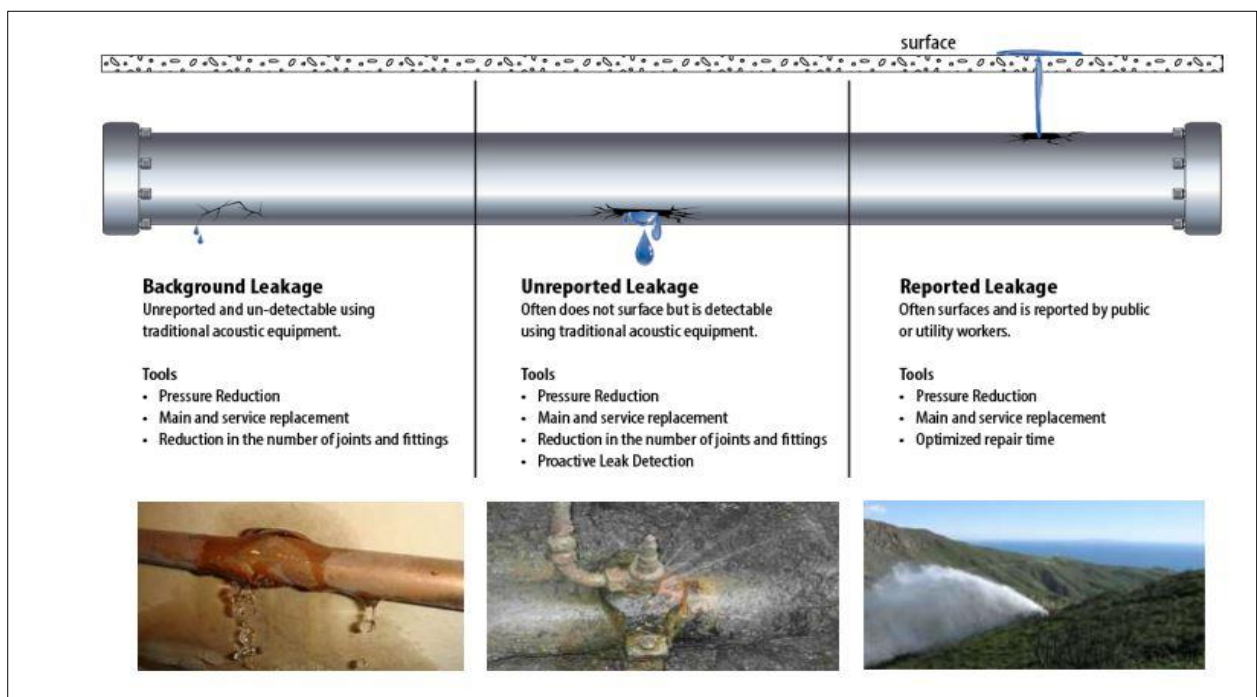


Figur 3: Ledningsfornyelses rate for drikkevannsnett i EU land i perioden 2012-2015 (EurEau, 2017).

I følge en studie utført av Nguyen (2020), er lekkasjer som følge av brudd på ledningsnett som regel enkle å oppdage. Unntaket er bakgrunnslekkasjer. Bakgrunnslekkasjer er definert som lekkasjer

under deteksjonsnivå. Disse lekkasjene forekommer i form av små vannmengder med for lave strømnings-hastigheter til å kunne lokaliseres. Denne type bakgrunnslekkasjer er uunngåelig og anses som det største bidraget til tapte vannmengder. Det er også slik at de øker jo eldre distribusjonsnettene blir (Nguyen, 2020). På bakgrunn av at disse lekkasjene ikke medfører umiddelbare eller påfallende trykkfall, mener Thornton and Lambert (2005) at det vanskelig å lokalisere dem. Bakgrunnslekkasjer blir derfor ikke rapportert og fører til at vannmengdene som forsvinner er større enn man tror.

Ikke-rapporterte lekkasjer er de som kan lokaliseres ved blant annet trykkfall eller andre tradisjonelle metoder. Vannet når som oftest ikke jordoverflaten og det fører til at slike tapte vannmengder ikke blir tatt med i beregningen (Thornton & Lambert, 2005). *Figur 4* viser de ulike lekkasjetypene.



Figur 4: Oversikt over ulike lekkasje typer med aktuelle håndteringstiltak (Campbell, 2017).

### 2.1.3 Lekkasjesøk

Rent og trygt drikkevann er en livsviktig ressurs og et grunnleggende behov for å opprettholde livsirkulasjon. Slik det fremkommer av en studie gjennomført av Chan et al. (2018), kan lekkasjeprosblemer av ulike årsaker, hvert år medføre tap av store vannmengder. Årsaker til lekkasjeprosblemer kan være interne faktorer som korrosjon eller forringelse av hensyn til ledningsnettets alder, eller eksterne som for stor last eller deformasjon. En effektiv lekkasjekontroll er først og fremst avhengig av en kraftig lekkasjedeteksjon. Det er verdt å ta med i betraktningen at slike lekkasjemengder som blir rapportert eller estimert har stor usikkerhet (Chan et al., 2018). Usikkerheten skyldes ifølge Chan et al. (2018) at det benyttes ulike måter under lekkasjedeteksjon, det kan være variasjon på vannforbruk blant abonnentene eller andre elementer. Lekkasjesøk har derfor blitt et viktig tema blant forskere og akademikere de siste årene.

En av hovedutfordringene med lekkasjesøk er plassbegrensningen og at det meste av drikkevannsnettet ligger under bakken. Dette gjør det særlig utfordrende i det svært begrensede rørmiljøet i forbindelse med små lekkasjer eller bakgrunnslekkasjer. Lekkasjesøk kan ifølge Olsbye (2019) deles opp i grov- og finlokalisering. Grovlokalisering innebærer å bestemme i hvilket område eller sone lekkasjen ligger. Finlokalisering går ut på å stedfeste akkurat hvor lekkasjen ligger. Begge metodene kan innebære å sjekke tilstand og forhold, enten på innsiden av rørene «*In-pipe methods*», eller på utsiden av rørene «*Out-of pipe method*» (Olsbye, 2019).

Videre i oppgaven beskrives noen utvalgte metoder for lokalisering og deteksjon av lekkasjer på drikkevannsnettet.

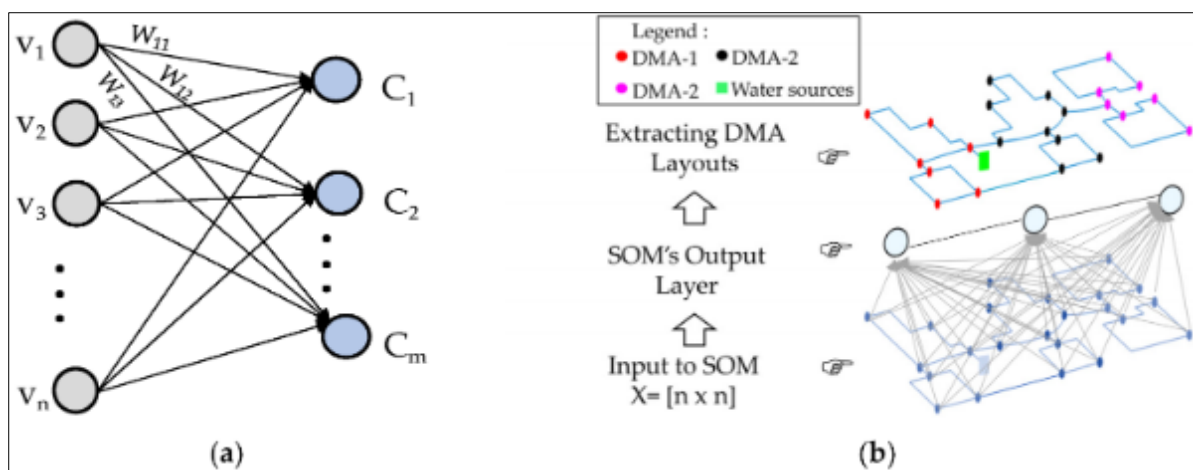
### PipeGuard-metoden

PipeGuard er ifølge Chatzigeorgiou et al. (2014) et selvkjørende robotdeteksjonskonsept. Roboten er designet som en motorisert enhet med flere støttehjul og er utstyrt med en sirkulær membran som holdes i nær kontakt med rørveggen under hele inspeksjonsprosessen. Når roboten nærmer seg en lekkasjeåpning, vil membranen bli sugd mot åpningen på grunn av trykkforskjellen mellom innsiden og utsiden av røret. Sensorer som er montert på robotens kropp, registrerer membranens bevegelse og vinkel før og etter åpningen (Chatzigeorgiou et al., 2014).

### Selvorganiserende kart (SOM) - metoden

Selvorganiserende kart (SOM) er en avansert lekkasjedeteksjonsmetode som prinsipielt samler og behandler data (Aksela et al., 2008). Dataene som er ment her kan være ledningslengde, diameter, antall stikkledninger, vannføring, vanntrykk, høyder etc. Metoden har blitt brukt på ulike områder, men også i forbindelse med lekkasjedeteksjon. Denne metoden tar for seg et spesifikt område og har evnen til å avdekke lekkasjer uavhengig av jordtype eller rørmaterialet. Eksplisitt er en SOM et avansert nevralt nettverk som organiserer og setter sammen innsamlet data som er like i form av homologe geometriske konstruksjoner (Aksela et al., 2008). Dataene danner geometriske grupper, og kan brukes til å identifisere ulike indikatorer som lekkasje. Metoden innebærer å gjøre distribusjonsnettet om til flere distrikt målte områder (DMA) og så studere hvert område for seg (vist i Figur 5). Forenklet sett går den gjennom tre faser (Bui et al., 2021):

- 1) Samle inn hydrologiske, topologiske og andre nødvendige data og dermed spesifisere området.
- 2) Gruppere homologe data fra det aktuelle området, særlig fra strømningsmålere og rør som er plassert nær områdets grense.
- 3) Behandle dataene som inngår i beregningen av de ulike indikatorene.



Figur 5: Illustrasjon av selv organiserende kart- metode for lekkasjesøk (SOM), (a) er 2-lag SOM, (b) er fastslåtte 3 «District Metered Area» DMA-områder (Bui et al., 2021).

### Maskinlæringsmetoder for lekkasje- deteksjon og analyse

Metodikken omfatter en rekke aspekter knyttet til bruken av maskinlæringsmodeller (Mashhadi et al., 2021). Ved hjelp av EPANET og informasjon om ledningsnett, er det mulig å definere forskjellige hydrologiske soner. Innenfor hver av disse sonene blir det installert sensorer som overvåker forskjellige parametere som vannføring og trykk. Disse dataene brukes så til å utvikle maskinlæringsmodeller som identifiserer potensielle lekkasjepunkter i ledningsnett. Metoden ble testet i et område ved Lille universitet som blir forsynt av tre forskjellige vannkilder (Mashhadi et al., 2021). Gjennomsnittlig vannforbruk med standardavvik ble beregnet til  $1200 \text{ m}^3$ .

For å analysere de ulike dataene ble det benyttet fem forskjellige læringsmetoder som samler og klassifiserer dataene (Mashhadi et al., 2021). Dette resulterte i et vannforbruksmønster med visse variasjoner. Det ble i tillegg observert enkelte tilfeller hvor vannforbruket oversteg  $1200 \text{ m}^3$  dette indikerte lekkasjested. Resultatene viste seg å være en god tilnærming noen steder, men hadde likevel svakheter når det gjaldt nøyaktig lokalisering av lekkasjer på grunn av begrenset tilgang på trykkdata.

### Lekkasjestøy loggere

Støylogger blir brukt som permanent eller midlertidig overvåkningsutstyr i drikkevannsnett (El-Zahab & Zayed, 2019). Loggerne har evnen til å avdekke lekkasjer ved å gjenkjenne ulike lyder som oppstår fra lednings-nettet. De blir plassert tilfeldig i kummer eller ved ledninger der det er ønskelig å overvåke. Måten de blir plassert på bidrar til en bedre kartlegging og enklere overvåking av lekkasjer. Det er derfor viktig å plassere dem riktig i forhold til hverandre. Når det planlegges å overvåke et område med tanke på lekkasje, blir loggerne i området tilkoblet en sentral stasjon for datasamling.



Det sentrale systemet blir forhånds-programmert for raskere behandling og analysering av data.

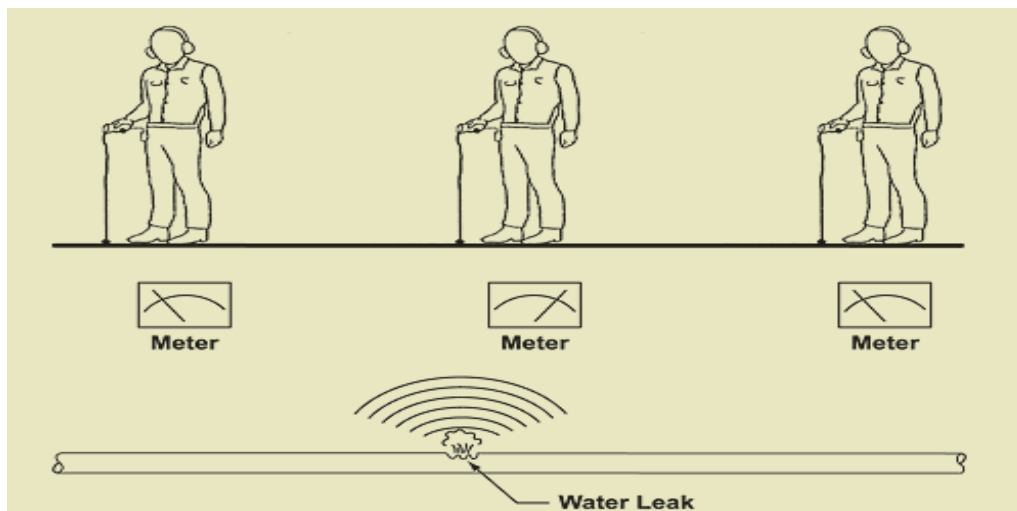


Dette gjør det mulig å bruke disse systemene ved ulike ledningsnett med ulike karakteristikk som trykk og vannføring. Loggerne har samtidig evnen til å bruke korrelatorer for bedre nøyaktighet ved hjelp av selvlærings algoritmer. Mer data og langvarig bruk av systemet, forbedrer resultatet (El-Zahab & Zayed, 2019).

Figur 6: Lekkasjeøk ved bruk av en logger som er plassert på et rør (Reetaj Technologies, 2008).

### Akustisk lekkasjedeteksjon

Slik det fremkommer i en studie gjennomført av Khulief et al. (2012), skapes det lydbølger gjennom rørveggen som følge av vannlekkasjer fra trykksatte rør. Bølgene forårsakes av turbulente trykkstigninger. Disse bølgene har blitt brukt for å lokalisere lekkasjer på ledninger. Vannhastigheten øker når det passerer lekkasjeåpninger i et trykksatt rør. Høye hastigheter ved lekkasjeåpninger kan medføre et trykkfall som muligens kan gå til under damptrykk. Det dannes dermed dampbobler som imploderer og danner lyd. På overflatenivå ligger det akselerometre. Dette er mikrofoner som måler vibrasjoner i rørveggen som følge av lekkasjer. Ved å måle vibrasjoner i flere steder på bakken, kan lekkasjested identifiseres (Khulief et al., 2012).

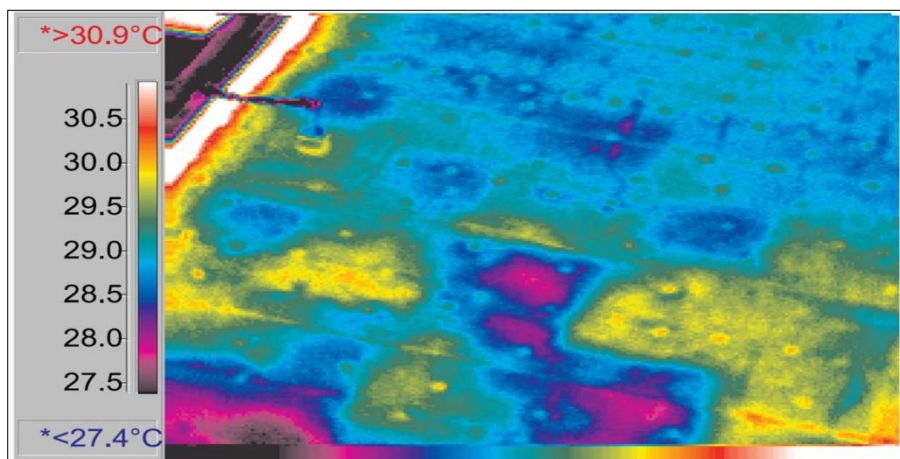


Figur 7: Lekkasedeteksjon ved bruk av den akustiske metoden (Subsurface leak detection Inc., 2016).

Den primære forskjellen mellom denne metoden og Lekkasjeøk loggere- metoden, er at lekkasjeøk loggere registrerer lyden av vann som lekker fra rørledningen, mens akustiske metoder bruker mikrofoner og geofoner til å oppdage lyder fra vann som lekker fra rørledningen.

## Infrared termografi

IRT er en bilde basert metode som kan gi oversikt over ulike egenskaper for objekter ved bruk av utsendte strålinger fra disse (Kumar et al., 2020). Denne teknikken kan hente og analysere ulike data som kan hjelpe til med å lokalisere blant annet lekkasje på drikkevannsnettet. Den kan derfor oppdage usynlige defekter og feil på systemer ved å analysere termiske kontraster. Denne teknologien har ifølge Kumars studie, gitt gode og nøyaktige resultater når den ble testet på ikke-



metallisk rør. Likevel var den mindre nøyaktig enn andre metoder som den akustiske, og gav feil i resultat når det gjaldt andre typer rør (El-Zahab & Zayed, 2019).

Figur 8: Infrarød termografi (IR) bilde av en overflate som viser fargevariasjon over et område basert på temperatur og som benyttes til å avdekke lekkasje i drikkevannsnettet (El-Zahab & Zayed, 2019).

## Gass sporingsmetode

Sporingsgasser er en lekkasjedeteksjonsmetode som bruker uløselige, ugiftige og følsomme gasser for å avdekke utettheter i vannledninger (El-Zahab & Zayed, 2019). Basert på at vekt av gass er lettere enn vekt av vann, siver disse gassene ut av hull og utettheter, og opp gjennom jorda. Denne metoden er effektiv og uavhengig av rørmaterialet, og brukes i rør med en diameter på mellom 75 mm til 1000 mm (El-Zahab & Zayed, 2019). Ifølge Næs (2017) er denne metoden egnet for stikkledninger med lekkasjer på opptil 1 l/s. Etter at vannet stenges av og rørene fylles med gass, kan man søke etter gass på jordoverflaten med en detektor. Til tross for effektiviteten i denne metoden, kan det være kostbart å bruke den i forbindelse med større nett med større ledningsdiameter. Derfor brukes den kun i søk av små lekkasjer. Det kan dessuten være vanskelig å spore lekkasjer når lekkasjer ligger under leir- eller asfaltdekket jord for da kommer gassene ut andre steder (El-Zahab & Zayed, 2019).

## Smartball

Smartball er ifølge El-Zahab and Zayed (2019) en lekkasjedeteksjonsteknologi som opprinnelig ble utviklet i forbindelse med vandndistribusjonsnett. Etter at metoden ble utviklet, ble den brukt i store rør i olje- og gass industrien. Ballen er satt sammen av en legering laget av aluminium. Legeringen er væsketett for å beskytte kjernen (El-Zahab & Zayed, 2019). Innsiden av ballen inneholder GPS-, akustisk- og temperatursensorer, i tillegg til energikilde og andre elektroniske komponenter. Ballen svømmer fritt og beveger seg gjennom vannledninger ved hjelp av strømmingen. Slik kan lekkasjer i trykksatte vannledninger oppdages (El-Zahab & Zayed, 2019). Ballen lager ingen lyd selv, men den kan registrere og analysere ulike lyder på innsiden av rør. Den har posisjonsnøyaktighet på inntil 3 m fra lekkasjestedet (Olsbye, 2019).



## 2.1.4 Lekkasjeøkonomi og SELL

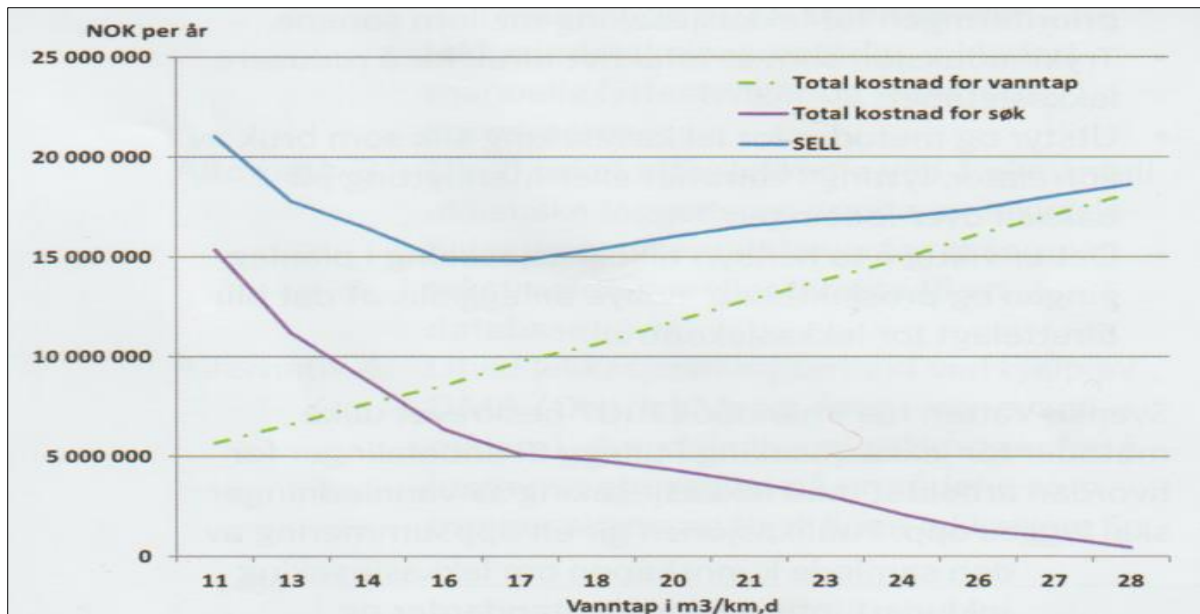
Reduksjon av lekkasjer har noen økonomiske sider som må vurderes opp mot gevinstene. Ettersom lekkasjeandelen i Norge er høy, kan lekkasjereduksjon erstatte utbygging eller utvidelse av vannverk ved behov for større leveringsmengder. Et vannverk hvor distribusjonsnettets har lave lekkasjetall, vil ha lavere driftskostnader for vannproduksjon. Samtidig er det spørsmål om hvor kostnadseffektivt det er å reparere lekkasje, fremfor å la vannet lekke.

Farley and Trow (2003) hevder at å skifte ut hovedvannledninger uten å gjøre det samme med stikkledninger, vil medføre større lekkasjeproblemer. Det er samtidig en vanskelig og tid- og ressurskrevende prosess å flytte alle stikkledninger fra de gamle rørene til det nye nettet. Malm et al. (2018) har definert et såkalt bærekraftig vann tapsnivå som er et forhold mellom vannmengde som går tapt, og kostnader tilknyttet lekkasjereduksjon. Begrepet omfatter det optimale lekkasjenivået som foreligger når både lekkasjereduksjons- og driftskostnader er i balanse. Det koster samtidig penger å installere nye trykkreduksjonssystemer, eller å bytte ut eldre drikkevannsinfrastruktur for å redusere lekkasjer.

Bruk av kjemikalier for vannbehandling og energi for å pumpe vannet inn og ut av behandlingsanlegget, er en kostbar prosess. Det vil derfor lønne seg å redusere vannproduksjonen ved å redusere lekkasjer på nettet (Malm et al., 2018). Ifølge Farley and Trow (2003) har hvert vannverk et lekkasjenivå som ikke er kostnadseffektivt med ytterligere søk. Dette innebærer til en viss grad, at vannet som spares er mindre økonomisk verdt enn aktivitetene tilknyttet lekkasjereduksjon.

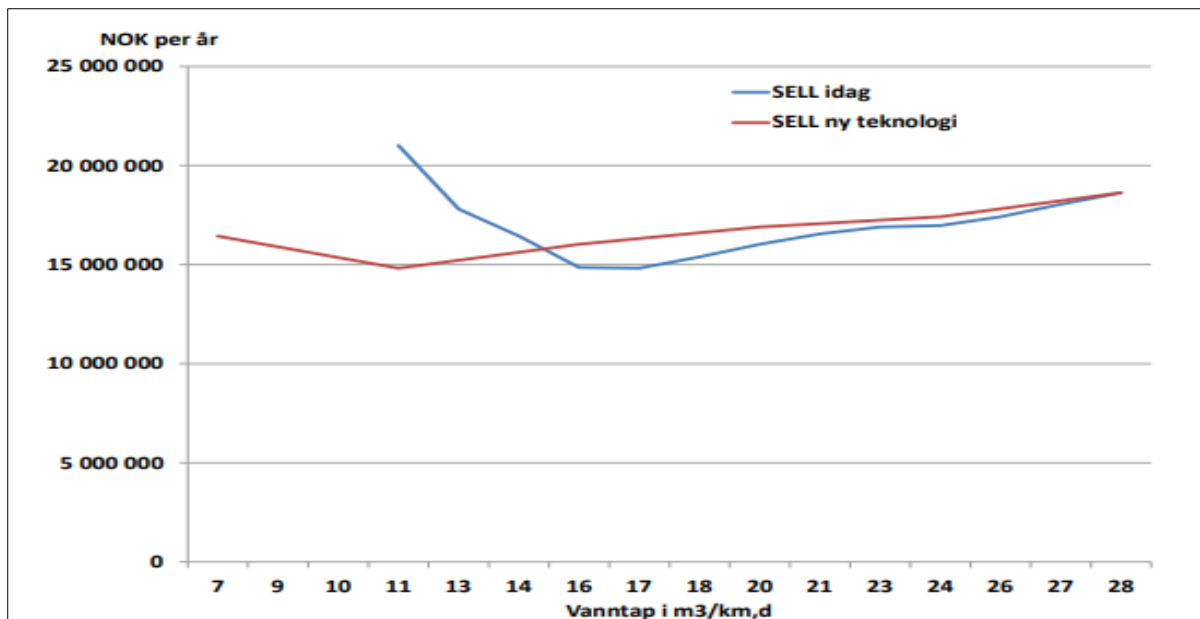
Det prinsippet som beskriver dette forholdet kalles SELL (Sustainable Economic Leakage Level). SELL tar sikte på både korte- og langsiktige konsekvenser. Denne metoden har blitt brukt som en lønnsomhets-analyse for å visualisere dagens situasjon med tanke på SELL-verdier. Det er verdt å merke seg at kostnader tilknyttet lekkasjereduksjon varierer fra land til land. Knapphet på vannressurser har også en påvirkning for å definere det optimale nivået.

Som følge av digitalisering i vannbransjen, blir lekkasjedeteksjonsmetoder stadig mer avanserte og mindre personavhengige (Zhou et al., 2018). Det innebærer at det som er SELL-optimalt i dag kan endre seg når lekkasjearbeid blir mindre kostbart. SELL-verdier blir i tillegg påvirket av vannprisen som betales av kunden i form av årsgebyr. Malm et al. (2018) har i sin rapport om bærekraftig lekkasjenivå, illustrert tre situasjoner for SELL bestemmelse og hvordan SELL-verdier påvirkes av nye teknologier og vannpris. Det er verdt å nevne her at vannpris er ganske avhengig av strømpris som har gått mye opp de siste årene.



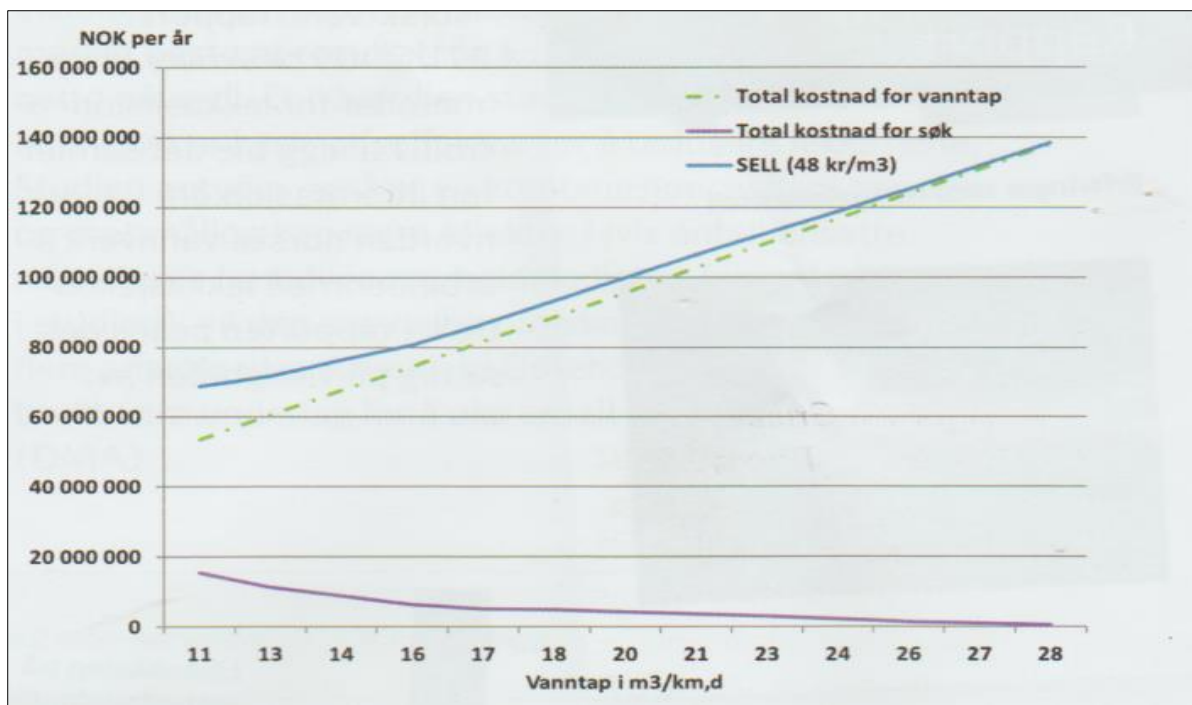
Figur 9: Plott som viser hvordan bestemmes SELL «Sustainable Economic Leakage Level» for vannlekkasjer for et norsk vannverk der den optimale verdien er på ca. 16 - 17 m<sup>3</sup>/km/døgn (Malm et al., 2018).

Optimal verdi for SELL ligger på 16 - 17 m<sup>3</sup>/km/døgn, det vil si det lønner seg å redusere lekkasjer til dette nivået.



Figur 10: Illustrasjon som viser dagens verdi av SELL «Sustainable Economic Leakage Level» mot SELL-verdi med bruk av ny lekkasjeteknologi (Malm et al., 2018).

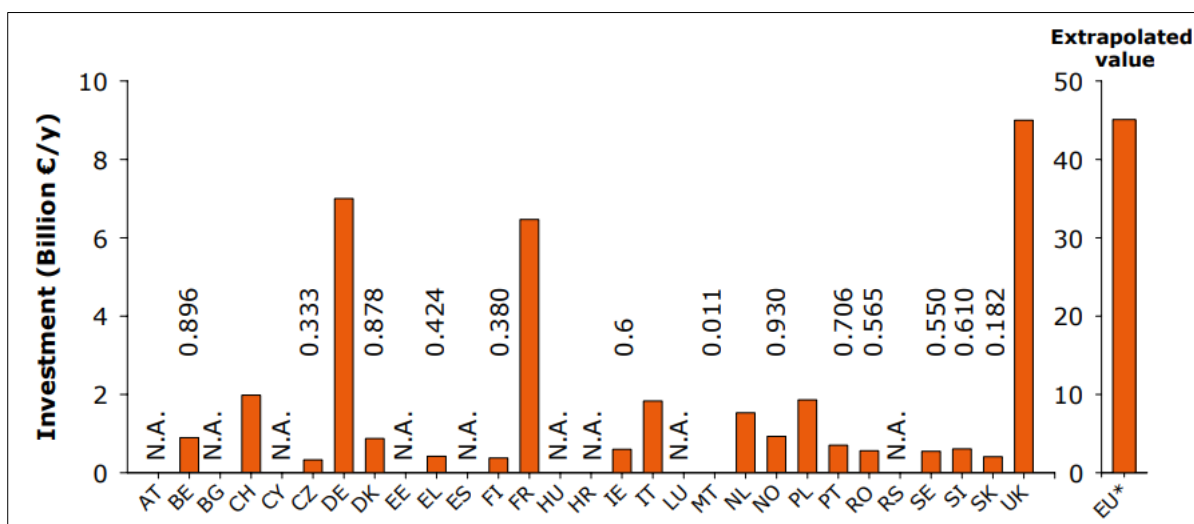
Slik det står i *Figur 10*, med en ny teknologi flytter SELL-verdien seg mot venstre, det betyr at det vil lønne seg å søke og reparere lekkasjer som er mer enn ca. 11 m<sup>3</sup>/km/døgn.



Figur 11: Sammenheng mellom gjennomsnittlig årsgebyr for norske kommuner mot et forbruk på 150 m³/år og påvirkning av vannpris for SELL-verdier «Sustainable Economic Leakage Level» (Norsk vann, 2018d).

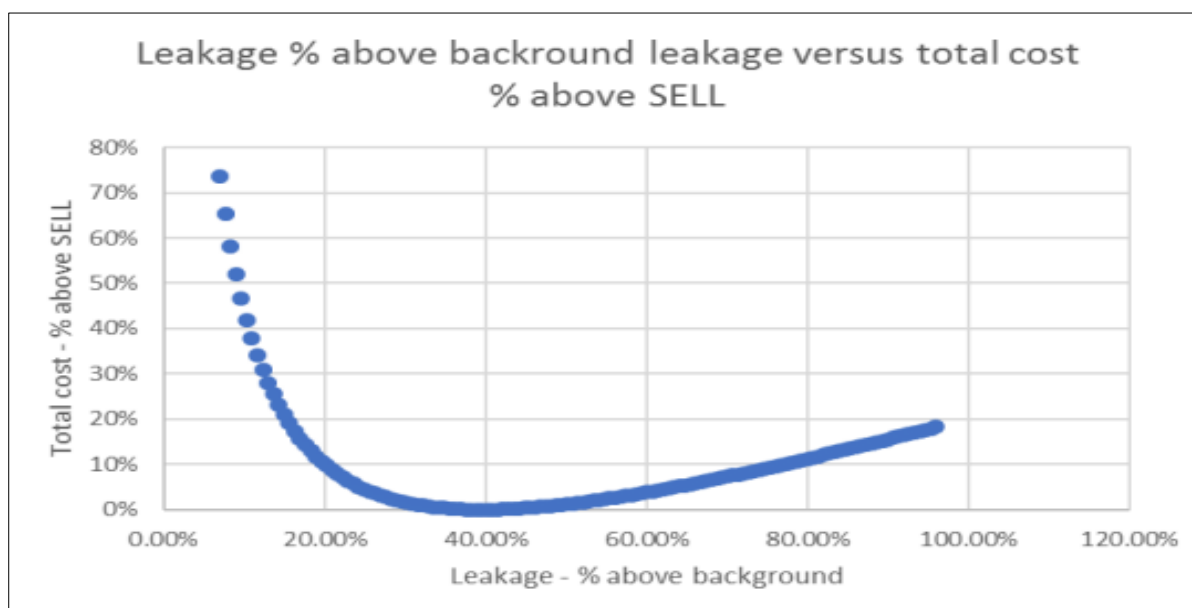
Slik det er vist i Figur 11, vil det være ganske lønnsømt å reparere lekkasjer.

På EU basis og slik det står i Figur 12, har årlige driftskostnader tilknyttet vann- og avløpsbransjen vært på ca. 45 billioner (EurEau, 2017). Det vil si at EU investerer \$93 per person hvert år (EurEau, 2017). EU har lagt frem en handlingsplan for perioden 2016-2025 som omfatter en økning på 23% av normale kostnader. Det er bestemt at \$256 billioner skal brukes til å reparere lekkasjer og rehabilitere de sårbare delene av drikkevannsnettet (Hays, 2016).



Figur 12: Årlige driftskostnader i drikkevannsledninger i EU land (EurEau, 2017).

Irland som har Europas høyeste prosentandel i lekkasjer (EurEau, 2017), har andre SELL-resultater og de er illustrert i *Figur 13* som et forhold mellom bakgrunnslekkasjer og SELL-verdier (testet av *Irish Water*).



Figur 13: Forholdet mellom lekkasjer over bakgrunnslekkasjer og SELL-verdier «Sustainable Economic Leakage Level» (Irish Water, 2021).

Som det er vist i *Figur 13*, er det et område på mellom 20 % og ca. 80 % hvor SELL-verdier er mindre eller lik 10 %. Det optimale lekkasjenivået ifølge figuren over, sammenlignet med kostnader til lekkasjereparasjoner, vil være mellom 30 % og 40 %. Det ble likevel anbefalt å redusere lekkasjer uavhengig av SELL-verdier.

Slik det er vist i *Figurene 11* og *13* så er det en vesentlig forskjell på SELL-verdier mellom Norge og Irland for hva som er optimalt når det gjelder lekkasjer. Dette kommer frem av variasjoner i kostnader og tilgang på vannressurser mellom disse to eksemplene. For å oppnå en optimal norsk SELL-verdi innebærer det at SELL-verdier skal fastsettes uavhengig av andre lands verdier.

## 2.2 Beregne volumlekkasje etter IWA

### 2.2.1 Vannbalansemodell

Til tross for at lekkasjer gir grunn til bekymring, er det for tiden ingen universelle mål for lekkasjeomfang. *The International Water Association (IWA)*, som er ment å være en plattform for vann- og avløp for fagfolk, har delt opp total vannmengde i flere kategorier (McKenzie & Lambert, 2008). Disse kategoriene danner en såkalt vannbalansemodell. I forhold til lekkasjer har det blitt brukt mange ulike definisjoner og begreper. Det har derfor vært nødvendig med et felles system som omtaler disse begrepene og forener de til en felles standard. For å få en systematisk oversikt over vannrelaterte problemer er det nødvendig å ha en strategi som detaljert omfatter vannproduksjon, vanntap og vannforbruk. IWA (International Waterworks Association) har dermed utarbeidet vannbalansemetoden som brukes i mange land.

Vannbalansemodellen består av ulike komponenter der alt vann som produseres, forbrukes eller forsvinner ut av nettet, inngår (Malm et al., 2018). For å få til nødvendige grep, er det viktig å ha en helhetlig forståelse for de ulike komponentene som inngår i IWA sin vannbalansemodell.

IWA publiserte første vannbalansemodell i 2000 (Leakssuite Library, 2020) og har etter det publisert modifiserte og mer detaljerte versjoner. Den nyeste versjonen krever en oversikt over eksporterte vannmengder på årlig basis som input data. Dette er for å få bedre og pålitelige beregninger tilknyttet vannbalansekomponenter.

Total vannmengde som føres inn til systemet	Legalt forbruk	Fakturert legalt forbruk	Fakturert, målt forbruk	Fakturert vannmengde	
			Fakturert- ikke målt forbruk		
		Ikke fakturert legalt forbruk		Ikke fakturert, målt forbruk	Ikke fakturert vannmengde
				Ikke fakturert, ikke målt forbruk	
	Vanntap	Tilsynelatende tap		Illegalt forbruk	
				Instrument- og målefeil	
		Virkelig tap (lekkasje)		Lekkasje på private ledninger	
				Lekkasje og overløp i høydebassenger	

Tabell 1: International Water Association (IWA) vannbalanse modell der vannmengder måles i m<sup>3</sup> på årlig basis (Alegre, 2016).

Malm et al. (2018) beskriver de viktigste elementene i modellen som følger:

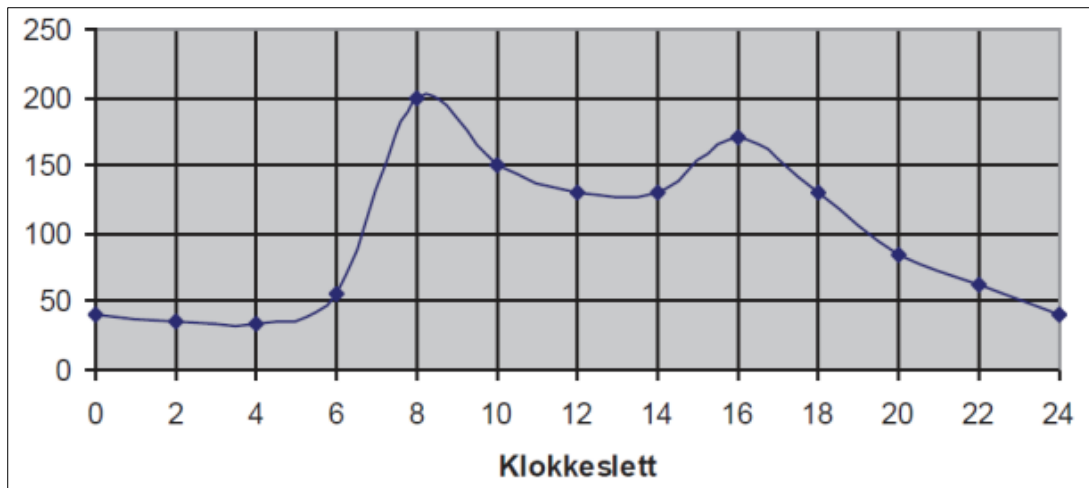
**Totalt produsert vannmengde:** Er vannet som tilføres systemet og som kommer fra behandlingsanlegg eller andre vannverk. **Legalt forbruk:** Vannmengder som blir målt og forbrukt hos kunder til autorisert bruk av kommuner. **Ikke fakturert, legalt forbruk:** Godkjent forbruk av kommuner til andre formål enn hos kunder som for eksempel brannslukking, parkvanning eller tunnelvasking. **Fakturert, ikke målt forbruk:** Denne kategorien gjelder autorisert forbruk uten vannmåling. **Lekkasje og overløp i høydebassenger:** Denne vannmengden blir ikke målt og heller ikke fakturert. **Vanntap:** Det er differensen mellom vannmengder som produseres og vannmengder som inngår i legalt forbruk. Vanntap kan deles inn i to hovedgrupper, tilsynelatende tap og virkelig tap. **Tilsynelatende tap:** Representerer målefeil for relaterte vannmengder og illegalt forbruk. Det utgjør mer enn 10 % av vanntapet og er mer krevende å ha oversikt over (Bosnjakovic, 2017). Det er knyttet usikkerhet til beregningen av det virkelige vanntapet ved bruk av denne metoden (Bosnjakovic, 2017). Dette er fordi de ulike komponentene i vannbalansemodellen er usikre som følge av upålitelige beregninger og estimerte måleverdier.

### 2.2.2 Lekkasjenivå beregningsmetoder

Beregninger som er basert på vannbalansemetoden har ofte en viss usikkerhet (EPA, 2013). Usikkerheten er ofte knyttet til estimering av vannforbruk i husstander som varierer veldig. IWA har angitt et to nivå- lekkasjeberegninger der vurderinger utføres i et to-trinns system (Flatin, 2009):

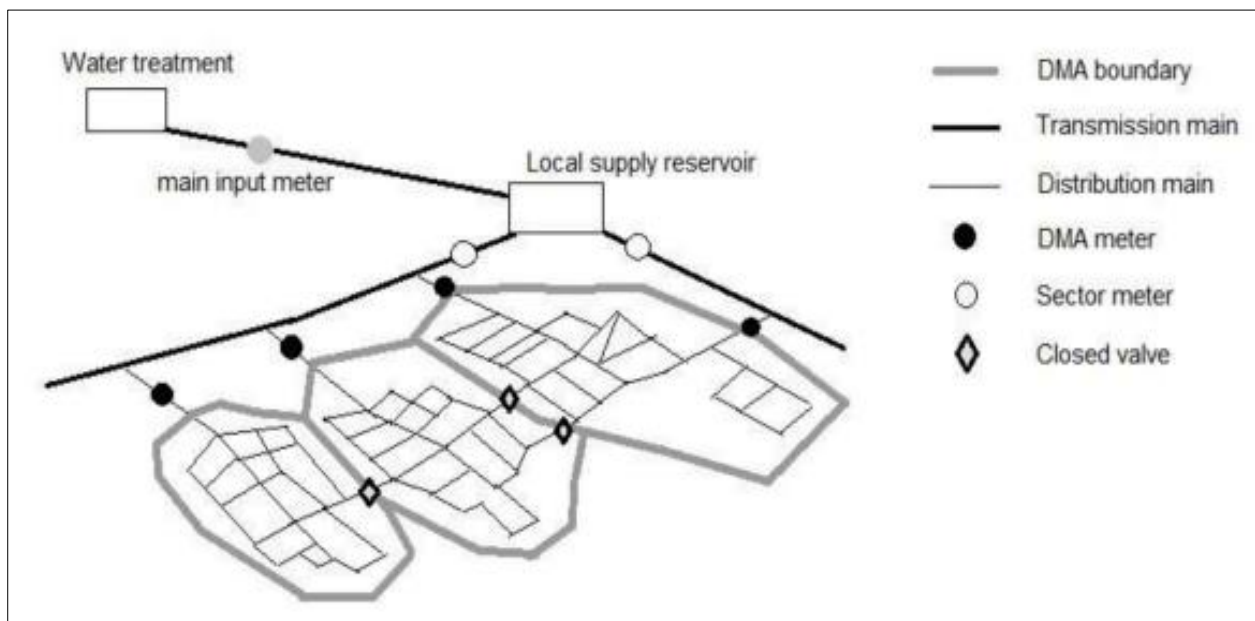
**Topp-ned metode:** Metoden brukes i henhold til IWA vannbalansemodell, og beregner et årlig lekkasjetap ved bruk av modellens elementer (Haugård, 2021). Den krever ikke noe feltarbeid og heller ikke data om vanntrykk i ledningsnett. Vannmengder som tilføres distribusjonssystemet, kan etter denne metoden deles i to komponenter, fakturerbare og ufakturerbare. Hensikten med en slik deling er å få et mer oversiktlig lekkasjeomfang. De fleste norske kommuner fakturerer vannforbrukere eller innbyggere etter stipulert vannforbruk som er  $m^3/\text{år}$  (Flatin, 2009). Ettersom det er ønskelig med sammenlignbare lekkasjetall mellom kommunene, bør det fastsettes et felles tall for vannforbruk. Det er dessuten viktig at kommunene bruker like beregningsmetoder av de ulike komponentene som inngår i vannbalansemodellen. Dette har til hensikt å dempe usikkerheter som ofte medfører over- eller underestimering av blant annet lekkasjeomfang.

**Bunn-opp (Minimum nattforbruk metode):** Vannforbruk varierer over tid og variasjonene er store fra time til time i løpet av døgnet (Norli, 2020). Det er naturlig at vannforbruket rett før og etter arbeidstiden er langt høyere enn forbruket jevnt over hele døgnet, slik det er vist i *Figur 14*.



Figur 14: Eksempel på variasjonen i vannforbruk i m<sup>3</sup> over et døgn der Y-aksen er forbruket som måles i l/pe/døgn (Ødegård, 2014).

Denne metoden er ifølge Norli (2020) basert på å dele studieområdet inn i mindre deler ved hjelp av sone-vannmålere eller stengte ventiler. *Figur 15* viser en illustrasjon over et område som er delt inn i tre soner i forbindelse med Bunn-opp metode for lekkasjesøk der de grå linjene skiller mellom de ulike sonene. Videre kan nattforbruket analyseres og overvåkes sammenlignet med det vanlige forbruket med hensyn til industri eller brannslukking. Ved en plutselig økning eller uvanlig endring utenom det normale, kan det indikere et ledningsbrudd (Ferrari et al., 2014).



Figur 15: Illustrasjon over et område som er delt inn i tre soner i forbindelse med Bunn-opp metode for lekkasjesøk der de grå linjene skiller mellom de ulike sonene (Ferrari et al., 2014).

Vannet stenges av i de inndelte sonene samt at det utføres en overvåkning over vannforbruket. Vannforbruket i disse sonene måles og sammenlignes med gjennomsnittlig beregnet nattforbruk på 0,6 l/pe/time (Flatin, 2009).

## 2.3 Ytelse indikatorer

### 2.3.1 Generelt om PI

En ytelsesindikator (PI- Performance indicator) er et kvantifiserbart og ønsket mål for et spesifikt system (Alegre, 2016). Det har til hensikt å måle ytelsen på et system over kortere og lengre perioder. På tvers av systemets elementer, kan ytelsesindikatorer systemet samle innsikt og analysere fremgang av tjenester tilbudt av det (Alegre, 2016). I drikkevann sammenheng har IWA brukt dette begrepet for å indikere og klassifisere ulike problemer og utfordringer. Systemet består, som beskrevet av Alegre (2016), av dataelementer og variabler i tillegg til indikatorer som danner dette systemet. IWA har definert ulike krav og spesifikasjoner som både indikatorer og variabler må tilfredsstille.

Når det gjelder indikatorer så er det krav om at hver indikator skal:

- Være klart definert og kortfattet.
- Være rimelig oppnåelig.
- Være redigerbar, enkel og forståelig.
- Være universell på best mulig måte.
- Kvantifiserbar og gi objektiv måling av tjenesten.
- Kunne gi informasjon uavhengig av andre indikatorer.

Når det gjelder variablene som inngår i dette systemet, har IWA kartlagt noen krav som går ut på pålitelighet og nøyaktighet (Alegre, 2016). Det er også stilt krav om at variablene skal passe til definisjonen av ytelse indikatorer samt referere til tid- og geografiske områder der (PI) brukes (Alegre, 2016).

### 2.3.2 Nordisk samarbeid om PI

I 1994 ble det utviklet et felles system som omtaler ytelsesindikator (PI) i samarbeid mellom fem byer (København, Oslo, Stockholm, Helsingfors, Gøteborg og Malmø) (Vilanova et al., 2015). Systemet ble kalt DRIVA-PI og tok Svenskt Vatten sin styringsmodell som et utgangspunkt. Det gikk ut på å sammenligne og vurdere ulike elementer mellom vannsystemene i disse byene. Elementene var i hovedsak kunde-tilfredshet, kvalitet, tilgjengelighet, miljø og økonomi (Vilanova et al., 2015).

### 2.3.3 Benchmarking system og WLTF

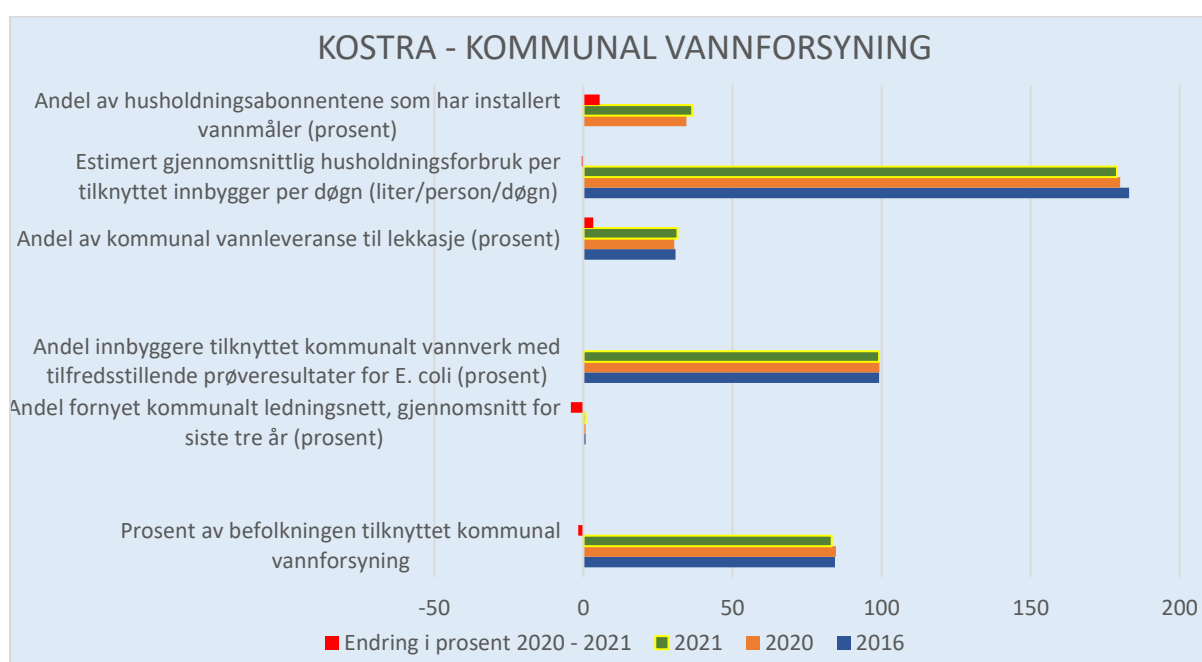
I norsk vann- og avløpsbransje (VA) har Benchmarking-begrepet blitt brukt som en strategisk plan for å sjekke hvor virksomhetene står i forhold til hverandre (BedreVann, 2021). Dette gjelder systemeffektivitet, standard, både sterke og svake sider etc. Norsk benchmarking system kalles bedre vann og gir mulighet for at enkelte kommuner kan måle tilstand og kostnader i VA-tjenestene (BedreVann, 2021). Systemet fungerer ved at kommunene innrapporterer data (VA-ledelse, 2023). Hensikten er å beskrive den nåværende tilstanden samt danne en virksomhetsmodell som kan analysere og simulere eventuelle endringer og sine resultater i systemets prosesser. IWA og *American Water Works Association* (AWWA) har på grunn av økende interesse for bedre forvaltning av vannressurser, stiftet en organisasjon som heter *Water Loss Task Force* (WLTF) (Kunkel, 2005). Målet var å utvikle



en god vannrevisjonsmetodikk basert på tilgjengelig data om store mengder vanntap. Dette kan danne grunnlag for å utvikle en bedre praksis enn dagens metode, samt å komme med anbefalinger når det gjelder vannressurser og vanntap (Kunkel, 2005).

### 2.3.4 KOSTRA – Kommunal vannforsyning

Kommune-Stat-Rapportering (KOSTRA) er et nasjonalt styringssystem som gir informasjon om kommuners økonomi og tjenesteyting som vannforsyning (Statistisk sentralbyrå, 2022a). Som styringsinformasjon danner KOSTRA en database som årlig oppdateres og hvor brukere og andre statlige etater har tilgang til det. Kommuner er pålagt å rapportere om blant annet antall abonnenter, mengde produsert vann, lekkasjer og drifts- og investeringskostnader. Informasjon i KOSTRA-database kan brukes til kvalitetssikring samt til å kartlegge og identifisere områder der det er behov for innføring av nye tiltak. Følgende *Figur 16* viser sist rapporterte KOSTRA-tall fra 2022.



Figur 16: Oversikt over noen data fra KOSTRA oppdatert 20. juni 2022 (Statistisk sentralbyrå, 2022a).

### 2.3.5 PI-Indikatorer for lekkasje beregning

Årlig vanntapsmengde er en viktig indikator for å finne ut hvor effektivt et drikkevannsdistribusjonsnett er. Høye lekkasjetall indikerer på svakheter i systemet og muligens dårlige konstruksjons- og vedlikeholdsplaner. IWA PI-system har mål om å bruke referanseperioder for vurderinger på årsbasis (Alegre, 2016). Dette kan gi en markant og systematisk oversikt, både i enkeltår og over lengre perioder. Det mest vanlige lekkasjemålet per i dag er %. Denne indikatoren er utsatt for stor usikkerhet og beskrevet som uegnet (EurEau, 2021). Det er derfor viktig å undersøke bruk av andre mål. Dette er en av hovedgrunnene til nye krav om beregning av lekkasjer utover prosentandel.

IWA har i tillegg utviklet disse PI-verktøyene slik at de kan benyttes i ulike vurderingsperioder. Hensikten med det er å kunne spore utviklingen i ulike perioder, basert på ulike behov (Alegre, 2016). Dette sikrer en pålitelig og tilstrekkelig evaluering samt at det skaffer til veie sammenlignbare tall for mange ytelser som inngår i vurderingen. IWA har i Alegre (2016) definert noen indikatorer som brukes i mange land over hele verden. Indikatorene har til hensikt å lage et best mulig inntrykk av systemenes ytelse. Indikatorene for lekkasjetap bruker ulike data i sine beregninger. Dette kan medføre at det brukes ulike indikatorer i ulike land eller at det kan variere fra et vannverk til et annet. Dette er basert på hvilke data som er tilgjengelige eller mulige å få tak i. IWA har omtalt følgende indikatorer som de mest brukte for beregning av lekkasjetap (Alegre, 2016) :

Tilsynelatende vanntap som [%] andel:

Denne metoden går ut på å beregne en prosentandel av vannet som går tapt, basert på hvor stor andel vann som tilføres drikkevannsnettet.

$$\text{T. vann tap \%} = \frac{\text{tilsynlatende tap m}^3 * 100}{(\text{inputmengder m}^3 - \text{eksportert råvann m}^3 - \text{eksportert behandletvann m}^3)}$$

Denne tapsandelen kan uttrykkes som et tap per forbruker ( $\text{m}^3/\text{forbruker}$ ) og det anbefales ikke å bruke den for kortere perioder enn ett år (Alegre, 2016). Dersom kortere tidsperioder benyttes, kan dette føre til villedende beregninger. Det må derfor tas hensyn til dette når resultater tolkes. Tapsandelen brukes i forbindelse med drikkevannsnettet hvor vannet går direkte til forbrukere (Alegre, 2016).

Reelle vanntap per stikkledning [l/stikkledning/døgn]:

Denne metoden er også anbefalt å bruke for vurderingsperioder på under ett år (Alegre, 2016). I denne metoden inngår det stikkledningsbegrepet som betyr at ledningen forbinder hovedvannledningen med forbrukens installasjoner (BedreVann, 2021). Metoden krever i tillegg data om hvor lang tid nettet er under trykk. Denne indikatoren anbefales brukt der hvor stikkledninger har densitet på under 20/km (Alegre, 2016).

$$\text{Reelle tap per stikkledning} = \frac{\text{reelle tap m}^3 * 1000}{(\text{antall stikkledninger} * \frac{\text{antall timer der nettet er under trykk}}{24 * 365})}$$

Reelle vanntap per lengdeenhet [l/km/døgn]:

Det gjelder samme antakelser her om lengden på vurderingsperioder på under ett år (Alegre, 2016). Det kreves også data om hvor lang tid nettet er under trykk. Denne indikatoren er anbefalt for systemer med densitet på under 20/km når det gjelder beregninger for stikkledninger i området (BedreVann, 2021).

$$\text{Relle vanntap per lengdeenhet} = \frac{\text{relle tap m}^3 * 1000}{\text{lengder km} * 365 * \frac{\text{antall timer der nettet er under trykk}}{24}}$$

Infrastruktur lekkasje indeks ILI (dimensjonsløst tall):

Infrastruktur lekkasje indeks (ILI) er en dimensjonsløs indikator for fysisk vanntap fra forsyningsnettet. Den er utviklet og anbefalt av *Water Loss Task Force* (WLTf) som ble opprettet av IWA (Alegre, 2016). Ettersom den er dimensjonsløs, tillater (ILI) å sammenligne internasjonale verdier av det i ulike land uten hensyn til bruk av enhet. Indikatoren er først publisert i 1999 og blir brukt i over 50 land (Taylor, 2010).

I (ILI) beregningen inngår det lengder både på hovedledninger og private stikkledninger, trykk i nettet og antall stikkledninger eller tettheten (Malm et al., 2018). ILI-indikatoren beregnes som et forhold mellom nåværende virkelige vanntap (CARL) og uunngåelig virkelige vanntap (UARL) på årsbasis.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

Forholdet mellom CARL og UARL er dermed en god måte å kartlegge hvor godt systemet er når det gjelder lekkasjekontroll. Likevel er en ILI-verdi på 1 ikke nødvendigvis et mål ettersom ILI er en ren teknisk indikator og tar ikke hensyn til økonomiske aspekter. Med andre ord kan det i noen tilfeller koste mindre å produsere vann enn å spare det ved å reparere lekkasjer.

WHO har utarbeidet en tabell som viser ulike ILI verdier med sine kategoriseringer. Ettersom UARL er en del av CARL, kan ILI uttrykket aldri være mindre enn 1 (Malm et al., 2018).

Indeks for vanntap ILI	Skala fra WHO					
$ILI = \frac{CARL}{UARL}$	> 3.5	3 - 3.5	2.5 - 3	2 - 2.5	1.5 - 2	< 1.5
	Ikke akseptabelt	Dårlig	Litt dårlig	Ok	God	Utmerket

Tabell 2: ILI kategorier slik de er klassifisert av verdens helseorganisasjon (WHO) (Malm et al., 2018).

## Uunngåelig virkelige vanntap UARL

UARL er vannmengden som er umulig å unngå. Lambert et al. (1999) beskriver UARL som en årlig estimering av reelle vanntap med en forutsetning om at drikkevannettets infrastruktur er i god stand. Det antas videre at det gjennomgås en tilstrekkelig lekkasje- deteksjon og reoperasjon. Beregningen av UARL omfatter noen komponenter og representeres ved følgende empirisk likning (C. Lenzi, 2022):

$$\text{UARL[Liter/døgn]} = (18 * L_m + N_s (0.8 + 0.025 * L_p)) * P \quad (2)$$

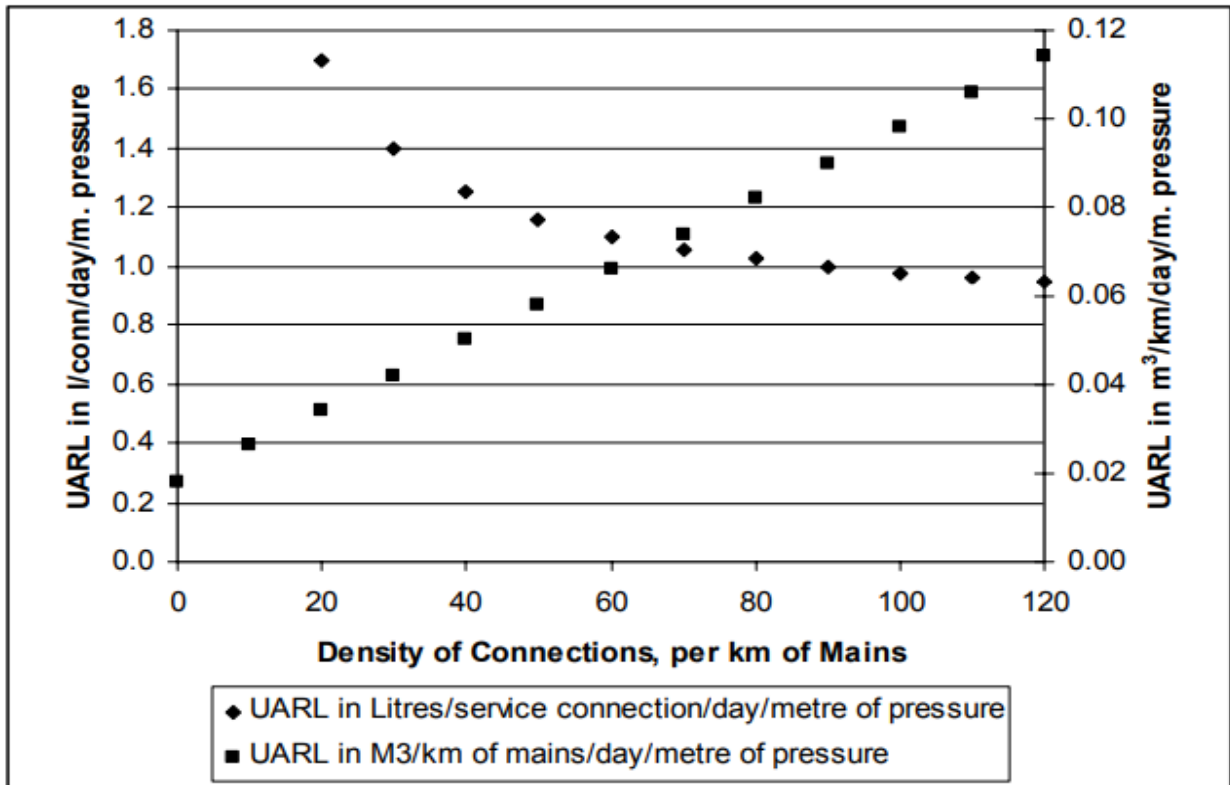
Hvor:

- $L_m$  er hovedlednings lengde uten stikkledninger [km].
- $N_s$  er antall stikkledninger.
- $L_p$  lengde på private stikkledninger (lengden på ledningen mellom hovedledningen og vannmåleren hos kunden) [m].
- $P$  er mildere driftstrykk og måles i mVs [m].

Parameterne som inngår i UARL likningen ble testet og undersøkt i en 4-årsperiode i noen europeiske vannverk (Liemberger et al., 2007). Metoden har ifølge Liembergers studie vist seg å være kraftig og effektiv med pålitelig estimat for beregninger av (ILI). Før den ble publisert, ble den i tillegg utsatt for sensitivitetsanalyse (Liemberger et al., 2007). I noen tilfeller hvor det ikke var rapporterte lekkasjetilfeller, var det mindre og lavere UARL tall. Dette kan være urapporterte bakgrunnslekkasjer eller uregistrerte ledningsbrudd på grunn av grunnforhold eller liknende.

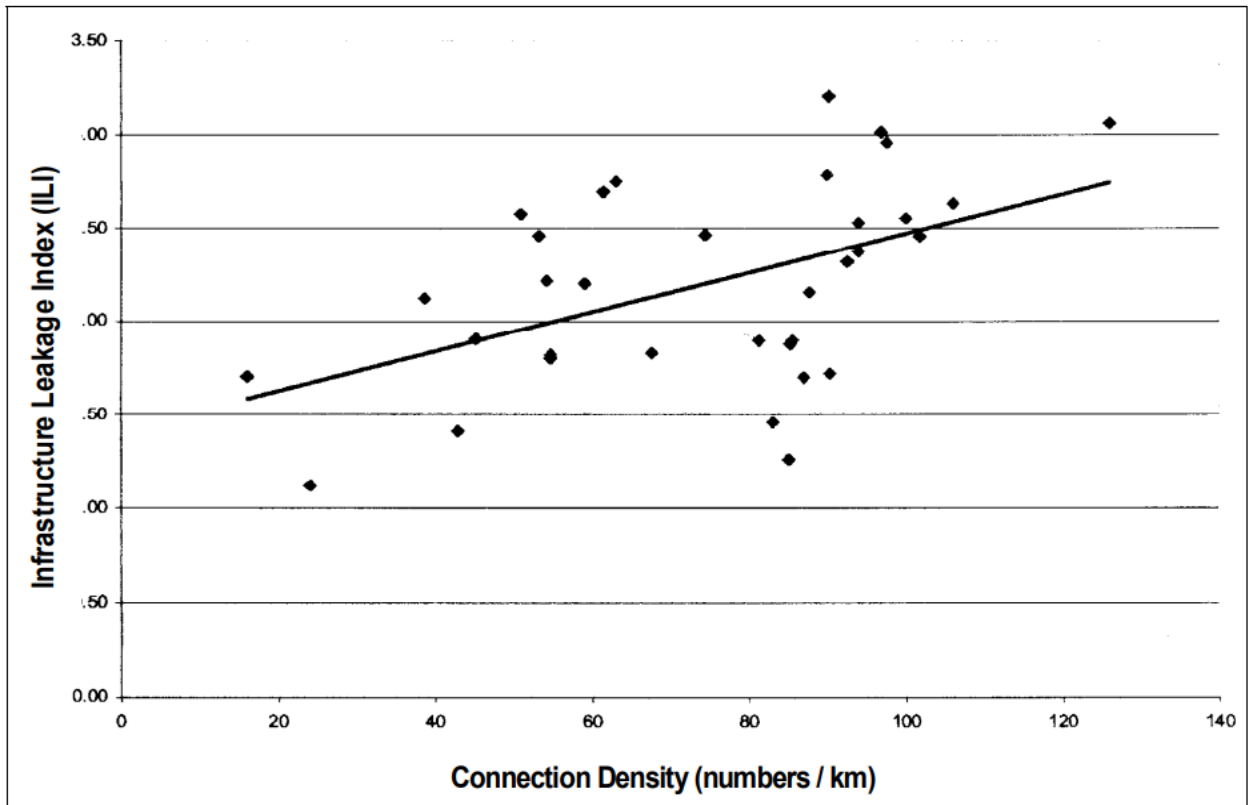
I slike tilfeller kunne det medføres at større usikkerheter ble tilknyttet beregninger av (ILI). Beregningen av UARL kan variere ut fra hvordan drikkevannsnettet er bygd opp (McKenzie & Lambert, 2008). I noen land er vannmålere installert nær gata utenfor eiendomsgrensene. Dette innebærer at det kun kreves tre parametere i UARL beregningen, lengde på nettets ledninger, antall stikkledninger og gjennomsnittlig driftstrykk (McKenzie & Lambert, 2008).

Driftstrykk og antall stikkledninger inngår i UARL ligning. De har dermed stor påvirkning av UARL verdier. Ved å plote UARL med to ulike enheter ( $L/\text{stikkledning/døgn/trykk}$ ) og ( $\text{m}^3/\text{km}$ ) mot tetthet av stikkledninger, har McKenzie and Lambert (2008) fått resultater slik de er vist *Figur 17*.



Figur 17: Plott for uunngåelige virkelige vanntap UARL- verdier mot tetthet av stikkledninger, og som også viser påvirkning og forholdet mellom disse (McKenzie & Lambert, 2008)

Slik det er vist i *Figur 17* over, er UARL i (L/stikkledning/døgn/trykk) verdier ved tetthet på 20-60/km mellom ca. 1,7 og 0,9. Dette intervallet tillater med god estimering at ILI verdier forblir under 2,5 (Winarni, 2009), noe som klassifiseres som «OK» ifølge WHO slik det står i *Tabell 2*. UARL formler gir generelt en god tilnærming av reelle vanntap ved bruk av gjennomsnittlig driftstrykk samt ved forholdet  $(N_C + \frac{L_m}{20}) > 3000$  (Taylor, 2010). Dette innebærer at ILI verdien vil være riktigere ved et system som opererer med relativt høyt driftstrykk enn et ekvivalent system med lavere trykk. Det er derfor viktig å legge merke til at det er et lineært forhold mellom lekkasjeforhold og trykk ved beregning av UARL og dermed ILI. I følge Lambert and McKenzie (2002) er denne antakelsen mest pålitelig for store drikkevannsystemer med blandet rørmaterialer med driftstrykk mellom 30 og 70 m. *Figur 18* viser forholdet mellom ILI-verdier og tettheten av stikkledninger der forholdet illustreres som et plott av ILI-verdier mot stikkledningers tetthetsverdier.



Figur 18: Forholdet mellom ILI-verdier og stikklednings tetthet i et studieområdet i England (Winarni, 2009).

Slik det er vist i figuren over, en tetthetsverdi mellom ca. 20/km og 100/km resulterer i en ILI-verdi på under 2,5. Dette er for systemer med over 5000 stikkledninger og samme driftstrykksverdier som nevnt over (Winarni, 2009).

#### Nåværende virkelige vanntap (CARL):

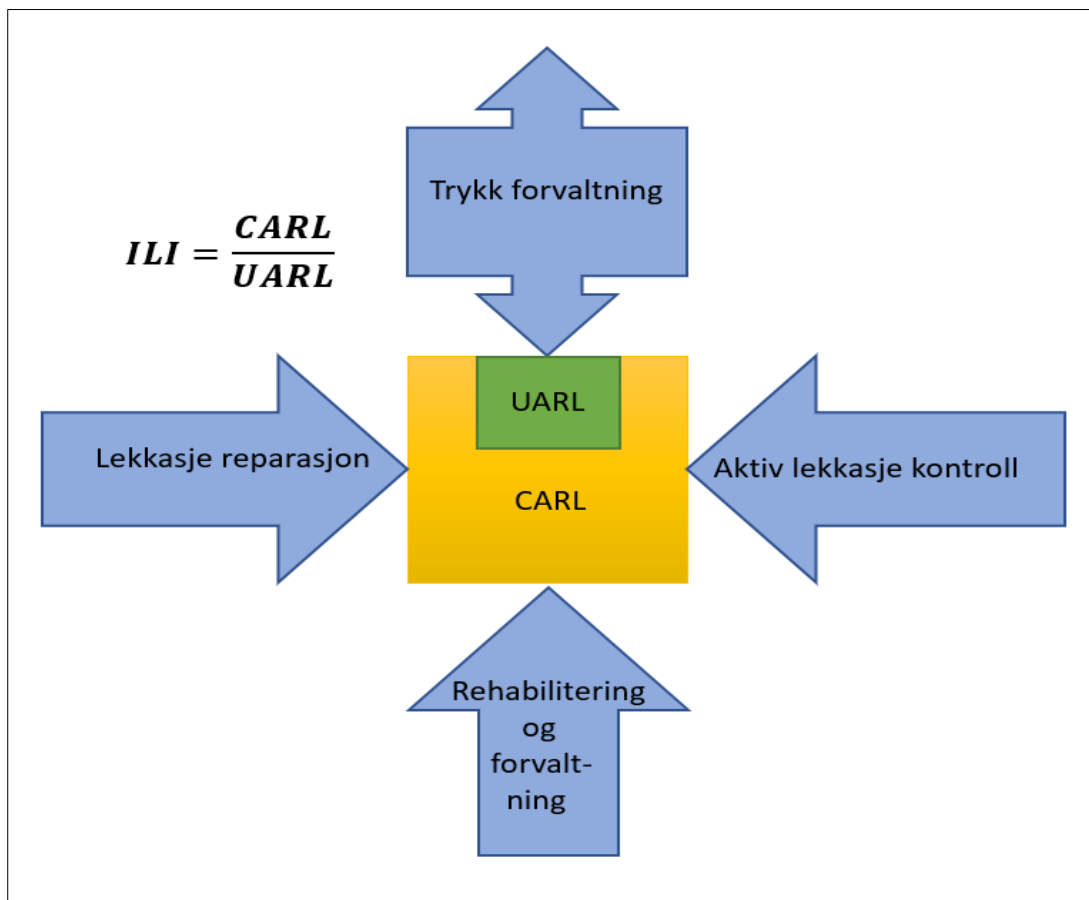
Det defineres som fysiske og virkelige vanntap fra trykksatte systemer gjennom hele ledningsnett og frem til forbrukeren (Winarni, 2009).

$$\text{CARL [l/døgn]} = \frac{\text{Reelle tap} * 1000}{T_p} \quad (3)$$

Hvor:

- $T_p$  er antall dager der drikkevannsnett er under driftstrykk under vannbalanse beregninger.

International Water Association (IWA) har utviklet en såkalt komponentbasert metodikk for å beregne UARL (Lambert, 2002). Antakelsen her er at systemet er tilfredsstillende med pågående vedlikehold og trykkforvaltning.



Figur 19: Oversikt over komponent-basert metodikken for å beregne uunngåelig virkelige vanntap utviklet av IWA.

Som det fremgår av *Figur 19*, påvirkes både UARL og CARL av vanntrykket. Det innebærer at en god trykkforvaltningsstrategi er nødvendig for lekkasjeberegninger vha. ILI (Taylor, 2010). Det er verdt å nevne at hver komponent i komponentbasert metodikk, har sine egne investerings- og vedlikeholdskostnader. Dette kan variere veldig fra land til land. Det er derfor essensielt å utforme en lønnsomhetsanalyse for en effektiv lekkasjepolitikk.

## 2.4 Nytt drikkevannsdirektiv til EU og den nye drikkevannsforskriften

### 2.4.1 Nåværende drikkevannsforskrift

Drikkevannsforskriften er et lovbestemt sett med en rekke rettigheter og plikter som gjelder et ubestemt antall mennesker (Drikkevannsforskriften, 2016). Hensikten med drikkevannsforskriften er å sikre, samt å beskytte folkets helse ved å levere bruksmessig og hygienisk sikkert drikkevann (Mattilsynet, 2022a). Den gjeldende drikkevannsforskriften i Norge ble først publisert i 2001 og sist endret i 2022 (Drikkevannsforskriften, 2016). Forskriften inneholder lovpålagte grenseverdier for mikroorganismer eller andre stoffer som muligens utgjør en helsefare. Det er i tillegg krav om farekartlegging, håndtering og beskyttelsestiltak. Dette er for å sikre at det leveres trygt drikkevann til kunden og som ikke utgjør helsemessig fare. Med trygt og godt vann menes det at vannet skal leveres til forbrukeren, uten dårlig lukt, smak eller farge (FN-sambandet, 2017). Forskriften stiller dessuten krav om å levere tilstrekkelige vannmengder til abonnenter. Det innebærer at nok vann leveres til kunder i boliger, helseinstitusjoner, skoler og industrivirksomhet slik at de får dekket sitt vannbehov til daglige gjøremål (Mattilsynet, 2021b).

Etter drikkevannsforskriften pålegges vannverkseierne å innrapportere noen data til Mattilsynet. Dataene omfatter ulik informasjon, det kan være om transportsystemer, mengder produsert og mottatt vann, lekkasjeandel i prosent og mer. Lekkasjeandel innrapporteres per i dag som en prosentandel av vannet som tilføres nettet. Denne andelen er et estimat og basert på en vannbalansmodell og er altså ikke målt direkte. Det innebærer i praksis at dette tallet ikke illustrerer lekkasjeproblematikken på en forsvarlig måte. Ettersom lekkasjeandelen i Norge er relativt stor, produseres det større vannmengder enn det som trengs (Mattilsynet, 2021b). Det er dermed nødvendig med en ny lekkasjestrategi som i tillegg kan sikre drikkevannsnettet mot innlekking av kontamineringer.

### 2.4.2 Det nye drikkevannsdirektivet

På bakgrunn av ovennevnte utfordringer og mål for forbedringer, vedtok EU den 06.12.2022 et nytt drikkevannsdirektiv (Directive (EU) 2020/2184, 2020). Formålet med det nye direktivet er å forbedre situasjonen, samt ivareta det såkalte «Access to water» prinsippet. Det stilles krav om at lekkasjeomfang i drikkevannsnettet skal vurderes ved bruk av Infrastruktur lekkasje indeks eller annen egnet metode. Dette skal foregå i samsvar med direktivet av 22.12.2000 (2000/60/EC) men med hensyn til medlemsstatenes økonomiske, folkehelse- og miljømessige aspekter. Det gjøres ved å pålegge den enkelte medlemsstaten en viss frihet og fleksibilitet til å iverksette tiltak (Directive (EU) 2020/2184, 2020). Tiltakene som skal gjennomføres har til hensikt å sikre tilgang til godt og nok drikkevann, særlig for marginaliserte grupper (Mattilsynet, 2022a).

Det nye direktivet stiller noen andre krav og foreslår noen endringer. Endringene som foreslås omfatter blant annet økt krav til IKT-sikkerhet, nye grenseverdier for noen parametere, sterkere opplysningsplikt til kundene og økte krav til lekkasjehåndtering og reduksjon (Directive (EU) 2020/2184, 2020). I Norge har de største vannverkene dette på plass i dag. For de mindre



vannverkene vil det kreve mer ressurser å innføre det nye opplysningskravet (Mattilsynet, 2022a). Videre tar oppgaven kun for seg de endringene som omfatter lekkasjerelaterte forslag i det nye direktivet og hvordan de påvirker drikkevannsforskriften.

EU sitt nye direktiv stiller krav til vannverkseierne som produserer minst 10 000 m<sup>3</sup> eller forsyner 50 000 mennesker eller mer, å sørge for at abonnentene har tilgang til ulike data (Directive (EU) 2020/2184, 2020). Kundene skal ifølge direktivet ha tilgang til informasjon på nettet om distribusjonssystemets effektivitet, uten å måtte be om det. Lekkasjenivåer i form av antall kubikkmeter som går tapt, skal også være lett tilgjengelig for kunden. For medlemsstatene stilles det krav til å vurdere lekkasjenivåer, og redusere dem dersom de er over et visst nivå. Dette er for å ikke overutnytte de knappe vannressursene noen medlemsstater har tilgang til, og som varierer veldig mellom medlemsstatene (Directive (EU) 2020/2184, 2020).

EU-kommisjonen fastsetter en frist (28.01.2028) for å supplere dette direktivet med en terskel for lekkasjenivå (Directive (EU) 2020/2184, 2020). Dette gjøres basert på medlemsstatens vurderinger og de innrapporterte gjennomsnittlige lekkasjerater. Direktivet stiller krav til å legge frem en handlingsplan for de medlemsstatene som har lekkasjenivåer som overstiger den fastsatte terskelen. Handlingsplanen skal omfatte et sett med en rekke tiltak som sørger for å redusere lekkasjenivåer. En slik handlingsplan skal leveres til kommisjonen innen to år etter at en felles lekkasjeterskel er fastsatt. Det nye direktivet legger til grunn at alle foreslåtte endringer og anbefalinger tar hensyn til klimaendringene. Tiltakene må også ta høyde for risiko som utgjør fare for menneskers helse (Directive (EU) 2020/2184, 2020).

### 2.4.3 Endring av drikkevannsforskriften

Ettersom Norge er medlem i EØS, vil det nye drikkevannsdirektivet iverksettes i norsk lovverk. Det innebærer at den nåværende norske drikkevannsforskriften skal revideres. Det nye direktivet er et såkalt minimumskrav som medlemsstatene må rette seg etter (Mattilsynet, 2022a). Det vil si at medlemsstatene har lov til stille flere og strengere krav, men ikke færre eller mindre strenge krav.

På bakgrunn av dette sendte Mattilsynet ut et utkast til forslag om revidering av drikkevannsforskriften til noen kommuner og vannverk (Mattilsynet, 2022a). Det ble i tillegg sendt oppfordring om høringssvar med frist i september 2022 og det ble foreslått en ikrafttredelse 1. januar 2023. Per 26.09.2022 var det registrert 35 innspill hvorav 6 omtalte lekkasjesaken. Noen av høringssvarene vil bli presentert i oppgaven da de er relevante i denne sammenheng.

Norsk Vann var i høringssvar av 14.09.2022 enig i at det skulle settes større fokus på lekkasje-problematikken (Breen & Furuberg, 2022). De mente samtidig at innrapporteringsmetodene burde forbedres i tillegg til at det burde iverksettes nye metoder for måling av vanntap. Disse forslagene kom på bakgrunn av at det i innrapporteringsveiledningen var lagt til grunn et spesifikt forbruk på 180 l/pe/døgn mens Norsk Vann anbefalte 140 l/pe/døgn (Breen & Furuberg, 2022). Det innebar ifølge Norsk Vann at dagens rapporteringssystem ikke er i stand til å levere gode og sikre data. Norsk Vann anbefalte videre at krav om innrapportering ikke burde gjelde vannverk som produserer 10 m<sup>3</sup>/døgn eller mindre (Breen & Furuberg, 2022).

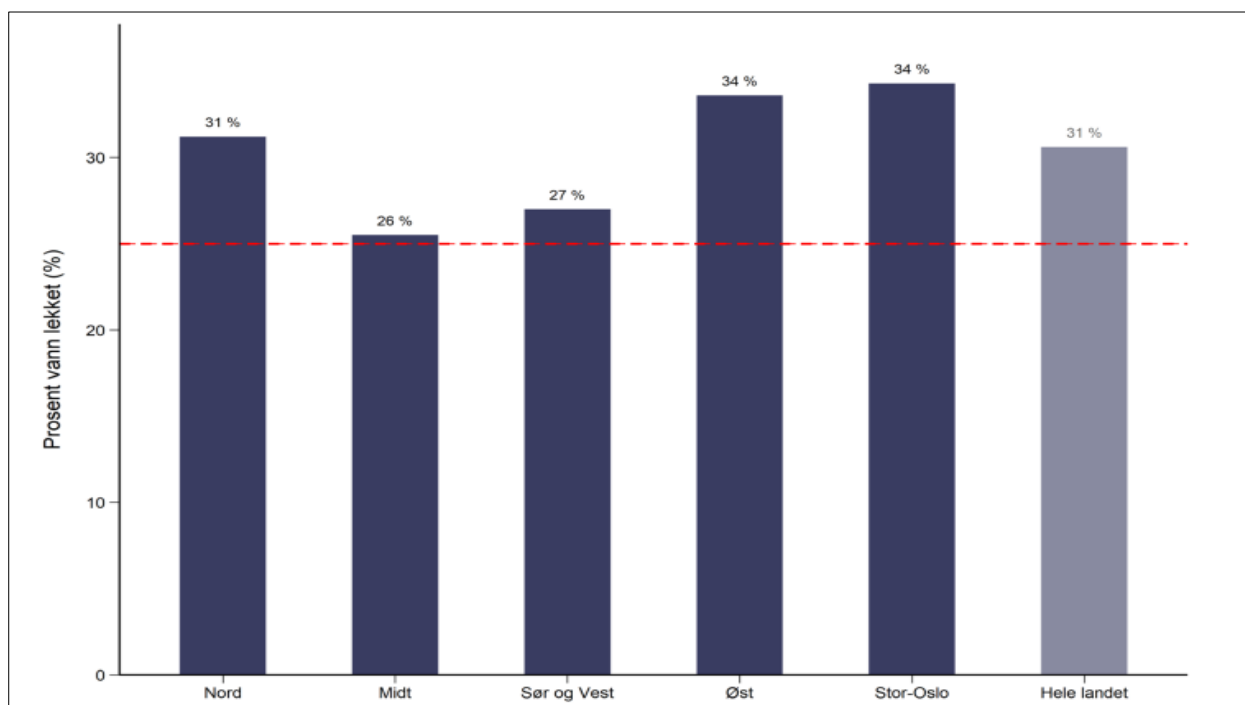
Folkehelseinstituttet (FHI) støttet økte krav om lekkasjeredusering og mente at dagens lekkasjegrad burde kartlegges på en bedre måte. Dette krevde ifølge (FHI), at det måtte utarbeides en plan for lekkasjereduksjon som var i tråd med nasjonale mål for vann og helse. (Folkehelseinstituttet, 2022d). Drammen kommune uttalte at det manglet en definisjon og beregningsmetode av Infrastruktur lekkasjeindeks (ILI) (Drammen kommune, 2022). De øvrige svar påpekte at økte krav til lekkasjeomfang ville kreve tilgang til mer omfattende data enn det som var tilgjengelig i dag. Det nye direktivet har medført at lekkasjer er omtalt i drikkevannsforskriften for første gang (Mattilsynet, 2022a). Dette ser man i den nye oppdateringen av drikkevannsforskriften i høringsutkastet fra Mattilsynet i § 15. Distribusjonssystem og internt fordelingsnett, hvor det står følgende (Mattilsynet, 2022b):

Vannverkseier skal utarbeide en plan for kartlegging av lekkasjegrad og reduksjon av vannlekkasje fra distribusjonssystemet ved bruk av infrastruktur lekkasjeindeks (ILI) eller annen egnet metode. Resultatet av kartleggingen skal rapporteres som beskrevet i § 25 innen 15. februar 2025, og deretter årlig

Utenom det, har det blitt foreslått noen endringer om grenseverdier for noen parametere, hyppighet på analyser og analyse for nye parametere. Det innebærer igjen at vannverkseiere pålegges å sette i gang tiltak som skal tilfredsstillende de nye kravene. Dette medfører et større behov og bruk av ressurser, samt skape behov for konkrete data som i noen tilfeller ikke finnes i dag. Det innebærer dermed høyere kostnader for norske vannverk.

## 2.5 Lekkasjesituasjon i Norge og en mulig sammenheng med andre land

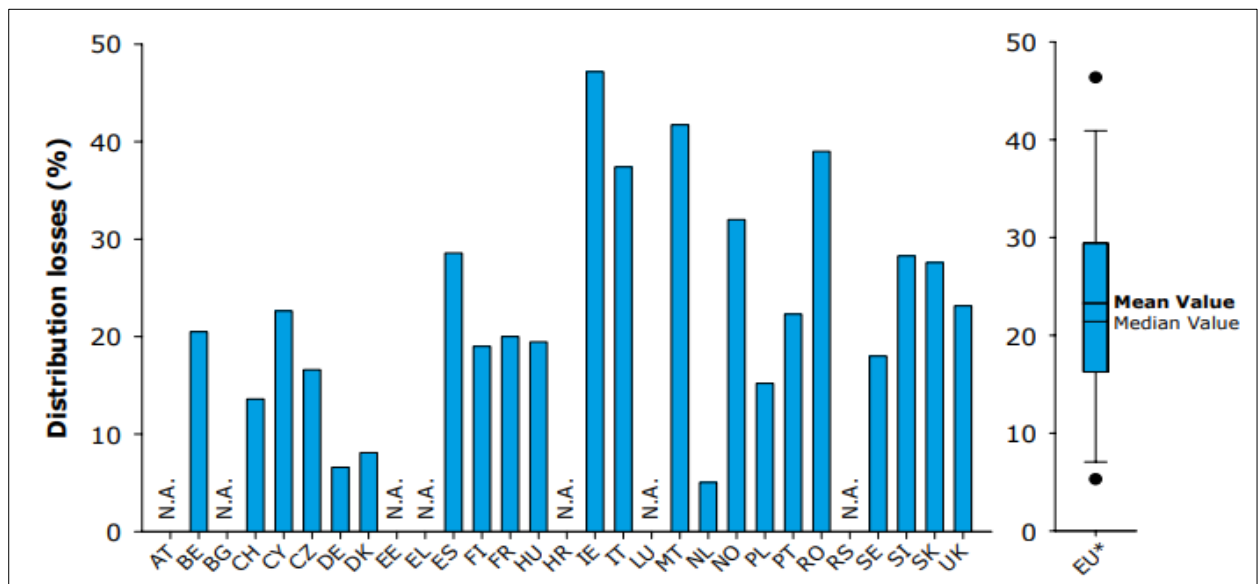
Drikkevannet i Norge er stort sett trygt etter at det blir sendt fra vannverkene til forbrukerne men det kan likevel oppstå forurensningsfarer (Folkehelseinstituttet, 2022a). Distribusjonsnettene i Norge er en stor utfordring ettersom lekkasjer på drikkevannsledninger kan forårsake en forurensningsrisiko. I områder hvor det er relativt lavere trykknivå, kan kjemiske stoffer, mikroorganismer, parasitter eller virus, suges inn i drikkevannsrørene (Folkehelseinstituttet, 2022a). Ifølge NorskVann (2022) ble det produsert 690 millioner kubikkmeter i 2021. Av det gikk 42 % til husholdningene, 24 % til industri og 1,5 % til fritidsboliger. Lekkasjeandelen var da ca. 31,5 % og de siste 10 årene har det ligget på cirka dette nivået (Malm et al., 2018). Ettersom Norge har rikelig tilgang til ferskvann med god kvalitet, har lekkasjer ikke vært prioritert.



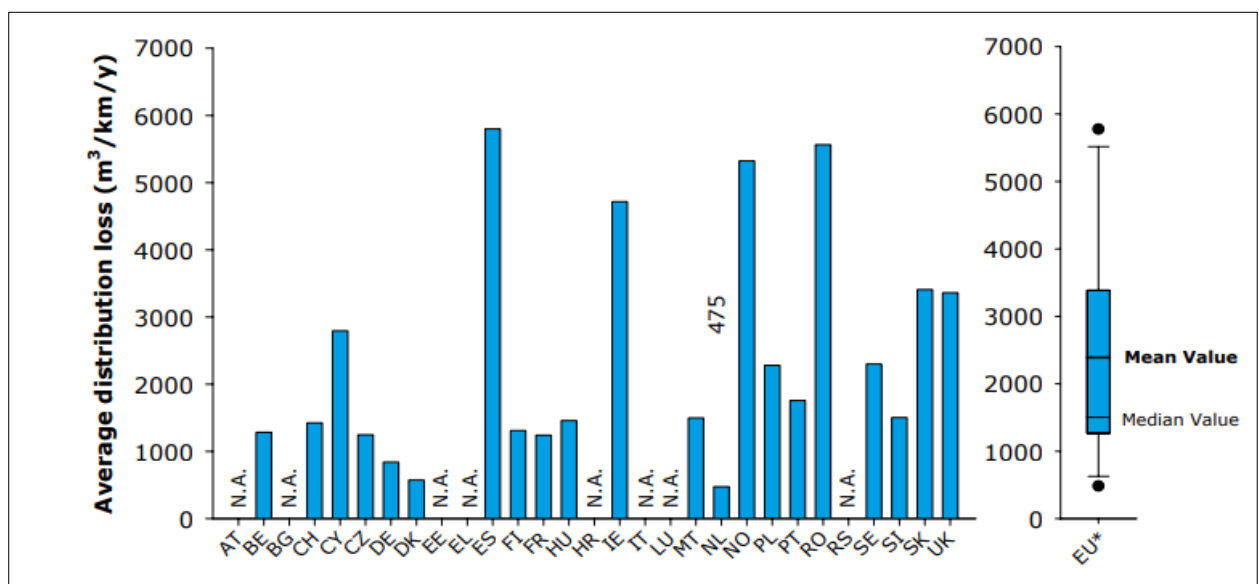
Figur 20: Prosentandel av vann som lekket ut av ledningsnettene i 2021, inndelt i Mattilsynet-regioner (Nordheim, 2021).

På grunn av helsemessige årsaker samt nye krav om bedre kvalitet på drikkevannssystemet, har dette fått økt fokus de siste årene (NorskVann, 2022). Brudd på drikkevannsledninger kan, som tidligere nevnt, medføre innlekking av helsefarlige mikroorganismer. Sammenlignet med nordiske land, har Norge den høyeste lekkasjeandelen (Malm et al., 2018). I Finland ligger dette tallet på ca. 22 % (OECD, 2017), i Sverige 20 % og i Danmark 10 % (Hyllestad, 2020). Norges lekkasjetall er dermed relativt stort og regnes som ett av Europas høyeste lekkasjenivåer.

EurEau (2017) har sammenlignet gjennomsnittlig vannforbruk i ulike europeiske byer i sin statusrapport av 2017. Gjennomsnittlig spesifikt vannforbruk i EU ble anslått til å være på ca. 128 l/pe/døgn. 23 % av produsert drikkevann går tapt som følge av lekkasje (EurEau, 2017). I Norge legges det til grunn et husholdningsforbruk på 180 l/pe/døgn i veiledningen til innrapportering til Mattilsynet (Breen & Furuberg, 2022). Norge har ett av de høyeste lekkasjetallene i EU og høyest i Norden (Steinberg, 2022b). Følgende figurer viser gjennomsnittlige vanntap i EU land, målt i henholdsvis prosent og m<sup>3</sup>/km/år:



Figur 21: Gjennomsnittlig vanntap i EU land målt i prosent (EurEau, 2017).



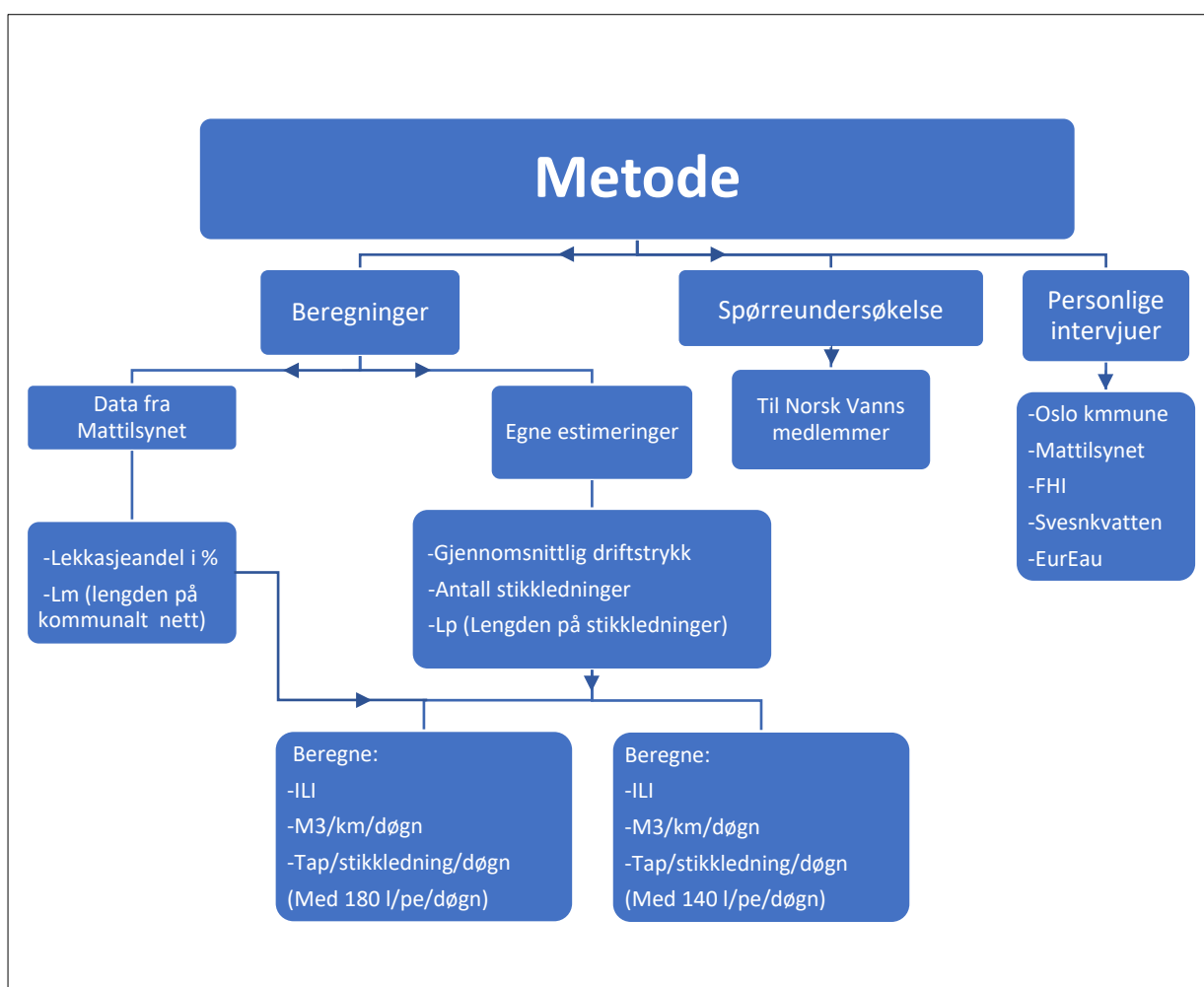
Figur 22: Gjennomsnittlig vanntap i EU land målt i m<sup>3</sup>/km/år (EurEau, 2017).

Slik figurene 21 og 22 viser, er det en tydelig variasjon i lekkasjeandeler mellom EU land. Tallene viser samtidig en forskjell i lekkasjeomfang for flere land i de to metodene.

### 3 Metode

Som beskrevet i avsnitt 1.2 Problemstilling og 1.4 Avgrensninger, er dataene som er publisert på Mattilsynet sine nettsider og som gjelder året 2022, utgangspunktet for indikators beregninger. Det innebærer at det blir gjort noen estimater for de størrelsene som det per i dag ikke finnes data om. Den andre delen av metoden tar for seg en spørreundersøkelse som omhandler ulike temaer.

Spørreundersøkelsen har respondentgruppe som er representert av Norsk Vanns medlemmer og undersøker i hovedsak datatilgjengelighet hos disse. Siste del av metoden går ut på å intervju noen informanter som anses å være relevante for problemstillingen. *Figur 23* viser et flytskjema som illustrerer metodebruken i denne oppgaven.



Figur 23: Flytskjema som viser fremgangsmåten i metodebruken.

## 3.1 Vannverksregisteret (VREG)

Det er stort behov for informasjon om vannverk i Norge. Denne informasjonen kan brukes som grunnlag for helsestatistikk og ulike rapporteringer både av den offentlige og private sektor, eller i forbindelse med læringsformål (Lindholt, 1983). Helsemyndighetene i Norge har oversikt over ulike administrative data tilknyttet vannverk som vannkvalitet og transportsystem (Folkehelseinstituttet, 2022c). Dataene blir årlig innrapportert med frist 15. februar. Dette gjelder alle vannverk som produserer 10 m<sup>3</sup> per døgn eller mer (Folkehelseinstituttet, 2022c).

VREG ble først formet som et elektronisk databehandlingssystem (EDB) (Lindholt, 1983) og frem til 2009 ble dataene innrapportert og innsamlet hos Folkehelseinstituttet. Fra og med 2010 har Mattilsynet tatt over ansvaret (Folkehelseinstituttet, 2022c). Dataene blir innrapportert via Mattilsynet sine skjematjenester og innsamlet i VREG som er en databank (Mattilsynet, 2021). Noen av dataene publiseres på Mattilsynet sine nettsider i form av Excel filer med tilhørende forklarende filer (Mattilsynet, 2021). Dataene som videre benyttes til beregninger, er fra 2022 og er hentet fra Mattilsynet sine nettsider.

## 3.2 Beregninger basert på VREG

Beregningene tar utgangspunkt i vannverksdata som har blitt innrapportert innen 15.02.2023. Disse dataene er omfattende og inneholder mye informasjon om vannverkene. Ved å gå gjennom datafilene ser man at det er noen vannverk som forsyner flere kommuner. Ettersom lengden på distribusjonsnett er en viktig parameter i beregningene, var det utfordrende å spesifisere denne lengden på kommunebasis. Dette er fordi ledningsnett geografisk kan ligge i flere kommuner, i tillegg til at det kan være flere vannverk i en kommune. På bakgrunn av dette har det vært utfordrende å lage et oversiktlig datasett over denne parameteren, samt andre inputdata som inngår i disse beregningene.

Gjennomsnittlig driftstrykk er en avgjørende parameter i (ILI)-beregningen, men dataene inneholder imidlertid ingen informasjon om det. Videre er det behov for informasjon om antall stikkledninger, også kalt påkoblinger, dette er for å beregne både (ILI) og [L/stikkledning/døgn]. Etter å ha gjennomgått disse filene ser en at det kun er lengde på hovedledningen og lekkasje prosentandel som er nødvendige for beregningene, og som er en del av dagens innrapporteringssystem.

### 3.2.1 Beregning av (ILI) og andre indikatorer

#### Bruk av formler

I beregninger blir det brukt 3 formler for å beregne 3 indikatorer som allerede er omtalt i avsnitt 2.3.5. Indikatorene som inngår i beregninger er:

$$\text{Infrastruktur lekkasje indeks ILI} = \frac{\text{CARL}}{\text{UARL}}$$

$$\text{Reelle tap per stikkledning} = \frac{\text{reelle tap}}{\text{antall stikkledninger} * \text{tid der nettet er under trykk}}$$

$$\text{Relle vanntap per lengdeenhet} = \frac{\text{relle tap}}{\text{lengde} * \text{tid der nettet er under trykk}}$$

#### Estimering av ukjente parametere

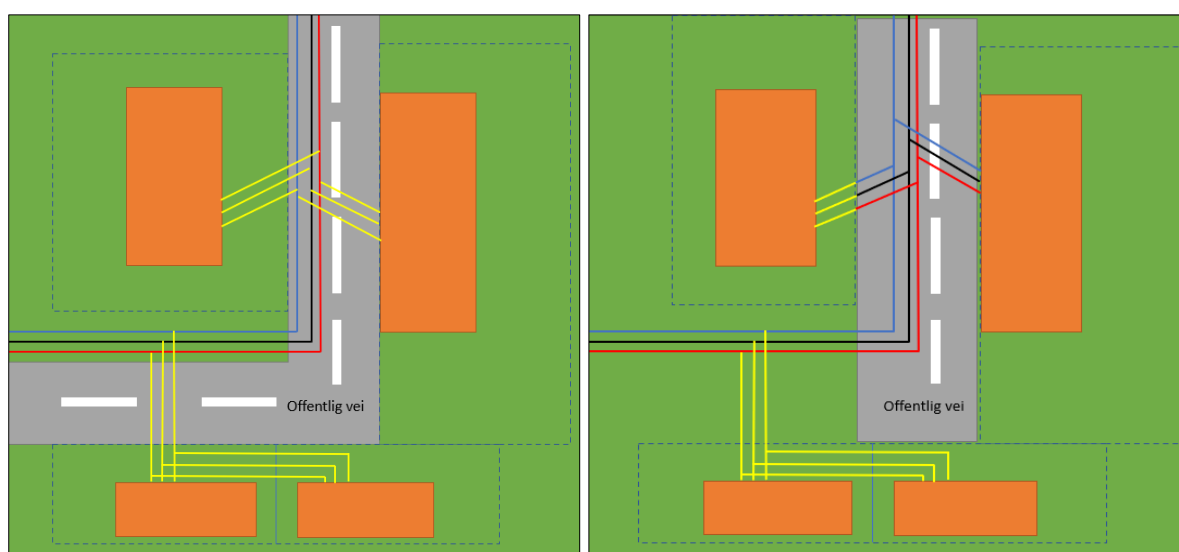
I forbindelse med (ILI) beregningen, har i hovedsak dataene som ligger på Mattilsynet sine nettsider blitt bruk. Ettersom ikke alle nødvendige data var tilgjengelige, var det behov for noen estimeringer på ukjente størrelser. Dette innebærer at det er en viss usikkerhet knyttet til parameterne og dermed endelige verdier av (ILI) og de andre indikatorene. I dette delkapittelet ses det nærmere på alle parameterne i beregningene og det redegjøres for hvordan de ukjente størrelsene er estimert.

**Lengden på hovedledninger uten stikkledninger [km].** Denne størrelsen blir som regel innrapportert av vannverkene med informasjon om rørmaterialet. Hovedutfordringen knyttet til denne parameteren, er å lage en oversikt over lengder på kommunebasis. Noen vannverk forsyner flere kommuner, samtidig er det flere vannverk som forsyner en eller to kommuner. Det innebærer at ledningsnettene som er tilkoblet ett vannverk, geografisk kan ligge i flere kommuner, i tillegg til at flere vannverk kan ligge innenfor en kommune grense. På denne bakgrunn har indikatorene blitt beregnet på vannverksbasis. Dette medfører at hver kommune kan ha flere verdier for indikatorene. Som et endelig resultat og i forbindelse med å illustrere disse på et kart, tas det kun et gjennomsnitt av indikatorverdiene for hver kommune. Dette vil naturlig medføre noe usikkerhet i verdiene på kommunebasis.

**Antall private stikkledninger (Ns).** Stikkledninger er de rørene som knytter hovedledninger til bygninger eller til vannmålere hos kundene (Malm et al., 2018). Stikkledninger i Norge er for det aller meste privat eid og eies kun unntaksvis av kommunene. Eiergrensesnittet er ikke særlig lovregulert mellom kommunen som leverandør og den enkelte huseier som abonnent. Det vil si at det er opp til den enkelte kommune å bestemme eiergrensesnittet mellom hovedledningen og stikkledningen. (Veierød, 2017) I praksis betyr det at denne grensen varierer fra kommune til kommune. En bykommune med trange trafikkerte veier og mange tette blokker, har stikkledninger med relativt korte lengder. En landkommune med mer spredt bebyggelse og flere eneboliger, har mange og lengre stikkledninger. Flere boliger kan i tillegg kobles til kommunale ledninger via den såkalte fellesledningen. Det innebærer at både antall stikkledninger og lengden på dem kan variere

veldig. Ettersom det per i dag ikke finnes datakilder på antall stikkledninger, tar oppgaven i sine beregninger noen grove estimeringer basert på tilgjengelige data for å estimere disse. Estimatenes går ut på å ta utgangspunkt i at det er en stikkledning per en husholdning som per i dag er 2,1 personer per husholdning (Statistisk sentralbyrå, 2021b). Videre legges det til en stikkledning for eventuelle tilkoblede skoler, offentlige bygg, hytter eller liknende. Til slutt legges disse sammen og det tas en verdi for hvert vannverk.

Det er viktig å merke seg at en slik estimering kan medføre en usikkerhet knyttet til beregningsresultatene for indikatorene der denne størrelsen inngår. *Figur 24* viser status på stikkledninger, både med privat eierskap til kommunal ledning eller inn til offentlig vei. Dette vil drøftes grundigere i diskusjonsdelen.

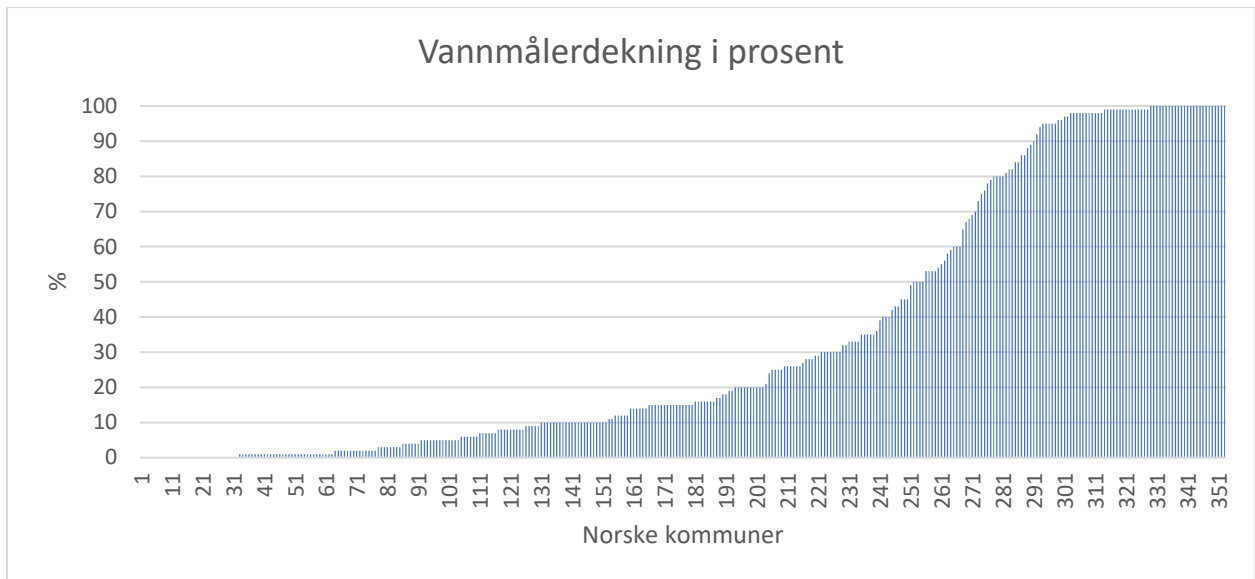


Figur 24: Illustrasjon over private stikkledninger, til venstre med privat eierskap frem til hovedledningen og til høyre med kommunalt eierskap ut av offentlig vei. De gule linjene er privateide ledninger og de stiplede linjene er eiendomsgrenser (Veierød, 2017).

**Lengden på private stikkledninger  $L_p$  [m].** Dataene som innrapporteres til Mattilsynet, omfatter per i dag ingen informasjon om lengden på stikkledninger. Ifølge (Malm et al., 2018) er det ca. 90 000 km med stikkledninger i Norge. Beregnet på et gjennomsnitt med 4,1 millioner bygninger, vil lengden være på ca. 22 meter. Oppgaven går ut fra Malm et al. (2018) sin estimering på stikkledningslengde som er på 22 meter og som regnes som en god tilnærming.

**Andel lekkasje prosent.** Vannmålerdekningen er ikke 100%. *Figur 25* viser, basert på data fra SSB, at vannmålerdekningen varierer veldig blant norske kommuner. Dagens innrapporteringssystem legger i sin veiledning til grunn et forbruk på 180 l/pe/døgn (Breen & Furuberg, 2022). Det innebærer at det er en viss usikkerhet knyttet til prosentandel vann som går tapt og som innrapporteres til Mattilsynet (Malm et al., 2018). International Water Association (IWA) sin metode for å bestemme prosentandel tapt vann har i tillegg vært basert på forholdet mellom fakturert- og ikke fakturert vannmengde, og hvor prosentlekkasje estimeres ut ifra det (Alegre, 2016). Sistnevnte er en av hovedgrunnene til at det nye direktivet har omtalt lekkasjeomfang ved bruk av andre indikatorer enn prosentandel.





Figur 25: Oversikt over alle norske kommuner med vannmålerdekning i prosent (Statistisk sentralbyrå, 2021a).

Slik det kommer frem i *Figur 25*, er det en betydelig variasjon i vannmålerdekning mellom norske kommuner. Dette gir en indikasjon på en svakhet ved dagens mest vanlige rapporteringsmetode som er prosentandel.

I forbindelse med beregninger av de ulike indikatorene i oppgaven, har lekkasjetall som vannverkene innrapporterer til Mattilsynet, blitt brukt. Det har i tillegg blitt beregnet et korrigert lekkasjetall basert på et korrigert spesifikt vannforbruk på 140 l/pe/døgn etter Norsk Vann sin anbefaling i hørings-uttalelsen til Mattilsynet (Breen & Furuberg, 2022). Dette har vist større lekkasjetall enn det kommunene innrapporterer.

**Gjennomsnittlig driftstrykk [m].** Lekkasjeeksponenten N1 er ifølge Cassa and van Zyl (2014) en parameter som brukes for å estimere vann tap i drikkevannssystemer på grunn av lekkasje. Den brukes vanligvis i modellering og styring av vann nettverk. Verdien av lekkasjeeksponenten N1 varierer avhengig av egenskapene til det spesifikke drikkevannssystemet. Imidlertid er det vanligvis innenfor området 0,5 til 1,5. Lekkasjeeksponenten N1 representerer forholdet mellom systemets vannbehov og mengden vann tapt på grunn av lekkasje. En høy N1 verdi tyder på at en større andel vann går tapt på grunn av lekkasje for et gitt nivå av etterspørsel, mens en lav verdi indikerer på at systemet er effektivt for et gitt etterspørselsnivå.

Byggeteknisk forskrift (TEK17) §15-7-2 annet ledd (Direktoratet for byggekvalitet, 2019) lyder at trykket ved påkoblingspunktet på den offentlige vannledningen imidlertid, skal minst være 2,5 bar. Norsk Vann har i sin rapport 239 av 2018 beregnet (ILI) og estimert driftstrykket til en middelverdi på 50,7 mVs i sitt eksempel. Oslo kommune opplyser, som nærmere omtalt i delkapittel 4.3.1, at driftstrykket i kommunen ligger på ca. 55 mVs. Beregningene i denne sammenheng tar 50,7 mVs som en estimering. I diskusjonsdelen vil det i tillegg presenteres noen forslag for å estimere samt få en bedre oversikt over parameterne som ikke omfattes av dagens innrapportering til Mattilsynet.

## 3.3 Spørreundersøkelse

Å samle inn en stor mengde informasjon er vanlig i forskningsprosjekter. Det er viktig å få en bred oversikt og tilnærming for å kunne analysere og knytte sammen store datamengder som omhandler temaet. Et av oppgavens hovedfokus var å undersøke datatilgjengelighet hos norske kommuner. På bakgrunn av dette var det nødvendig å gjennomføre en spørreundersøkelse som en del av dette prosjektet. Målet med spørreundersøkelsen var å samle inn data med stor betydning for oppgavens tema, samt danne grunnlag for statistiske analyser som representerte resultatene. Spørreundersøkelsen ble gjennomført i perioden 21.-31. mars 2023. Samlet sett har spørreundersøkelsen gitt en dypere forståelse av temaet, noe som igjen har bidratt til en mer omfattende konklusjon.

### 3.3.1 Innledning

Spørreundersøkelsen ble sendt ut til Norsk Vann sine medlemmer som en respondentgruppe. Hensikten var å kartlegge samt å vurdere hvorvidt norske kommuner er forberedt på et skjerpet krav til kvantifisering av lekkasjer som følge av det nye drikkevannsdirektivet. Spørreundersøkelsen bidro til å angripe problemstillingen på en god og hensiktsmessig måte, basert på en representativ gruppe som var norske kommuner og andre vannverkseiere.

Resultatene vil presentere kommuners praksis og utfordringer knyttet til datainnsamling og rapportering, samt eventuelle mangler innenfor dette fagfeltet. Det kan være utfordrende å sammenligne data fra mange kommuner med ulike vannforsyningsinfrastruktur og målepraksis. Spørreundersøkelsen gav likevel et verdifullt innspill til utvikling av strategier og tiltak på dette området.

### 3.3.2 Utvikling av spørreundersøkelsen

Utviklingen av spørreundersøkelsen gikk gjennom flere trinn. Hovedmålet var å lage en undersøkelse som kunne innhente kortfattet og nyttig informasjon. Det var viktig å lage undersøkelsen slik at respondentene ikke synes den var for komplisert eller krevende. Hovedfokus var å holde undersøkelsen kort og tydelig. Dette ble gjort ved å utforme korte og konsise spørsmål og tilby respondentene enkle svaralternativer. Blant annet var det mulig for respondentene å velge "Jeg vil ikke besvare dette spørsmålet" eller de kunne velge å uttale seg ved å skrive en valgfri kommentar. Hensikten med dette var at respondentene fikk mulighet til å utdype sine synspunkt dersom de ønsket det. Det var også viktig å vise takknemlighet ovenfor respondentene, slik at flest mulig tok seg tid til å fullførte undersøkelsen. Dette ble blant annet gjort ved å skrive "Takk for bidraget" i spørreundersøkelsen. Til slutt var det nødvendig å teste undersøkelsen, samt kvalitetssikre oppsettet av den. Dette foregikk ved å sende den til noen personer for sikre at den var forståelig og enkel å svare på. For å lage undersøkelsen ble «Nettskjema» brukt. «Nettskjema» er et digitalt og enkelt verktøy utviklet av universitetet i Oslo (UIO). Det kan brukes til en rekke formål, blant annet til utforming av spørreundersøksler i forbindelse med forskningsprosjekter (Universitetet i Oslo, 2021). Verktøyet er brukervennlig, fleksibelt og sikkert, og er en effektiv måte å samle data på. Undersøkelsen var ferdig utviklet i begynnelsen av mars 2023 og den ble da sendt til

kunnskapssektorens tjenesteleverandør (SIKT) for å sikre at den var i henhold til lover om personvern.

Undersøkelsen ble 21. mars 2023, sendt ut til ca. 230 andelseiere i NorskVann med svarfrist 31. mars 2023. Over 200 av mottakerne var kommuner. Resten var driftsassistanser, interkommunale vannverk og private vannverk. Det ble sendt ut en påminnelse 27. mars 2023. Til sammen kom det inn 70 svar.

### 3.3.3 Spørreundersøkelsens struktur

Spørreundersøkelsen bestod av flere spørsmål som tok for seg ulike aspekter av temaet. Ved at respondentene fikk mulighet til å legge til egne kommentarer, førte det til en bedre innsikt i deres synspunkter og ideer. I det følgende vises spørsmålene i undersøkelsen samt en kort presentasjon av hensikter og mål fra disse.

#### Spørsmål 1

Hvor mange innbyggere er tilknyttet kommunal vannforsyning i kommunen? \*

- 10 tusen eller færre
- 10 - 20 tusen
- 20 - 50 tusen
- 50 tusen eller flere
- Jeg vet ikke
- Jeg vil ikke besvare dette spørsmålet

Figur 26: Utsnitt av spørsmål 1 i spørreundersøkelsen om antall personer tilknyttet kommunal vannforsyning.

Formålet med det første spørsmålet var å presentere omfanget av antall deltakere med det tilhørende antallet personer tilknyttet kommunal vannforsyning. Det var i tillegg nødvendig å ha oversikt over hvor mange personer denne undersøkelsen representerte slik at en kan vurdere påliteligheten av resultatene.

#### Spørsmål 2

Hva er ca. vannmålerdekning i kommunen (%)? \*

Andel av husholdningsabonnentene som har installert vannmåler (prosent)

Figur 27: Utsnitt av spørsmål 2 i spørreundersøkelsen om vannmålerdekning i prosent.

Spørsmålet omhandlet vannmålerdekning i kommunen. Dette er viktig for å vurdere dagens lekkasjetall som for det meste oppgis som prosentandel. I dette spørsmålet var det mulig for respondentene å skrive fritekstsvaer.

### Spørsmål 3

Hvilket spesifikt vannforbruk i husholdningene (Liter/person/døgn) legger kommunen til grunn i sine vanntapsberegninger uten å medregne tap i stikkledninger? \*

Figur 28: Utsnitt av spørsmål 3 i spørreundersøkelsen som omhandler spesifikt vannforbruk som legges til grunn i lekkasjeberegninger.

Dette spørsmålet var et åpent spørsmål som krevde at respondentene skrev inn det spesifikke vannforbruket i liter per person per døgn som kommunen la til grunn i sine lekkasjeberegninger. En indikasjon på dette tallet var viktig i forbindelse med evaluering av innrapporterte lekkasjetall til Mattilsynet.

### Spørsmål 4

Hvilke mål for lekkasjeomfang bruker kommunen i dag for å følge med på utviklingen i lekkasjeomfanget? \*

Velg ett eller flere svaralternativer

- Infrastruktur Lekkasje Indeks (ILI)
- Lekkasjevolum som prosent av produsert vannvolum (%)
- Lekkasjevolum per km kommunal vannledning per døgn (m<sup>3</sup>/km/døgn)
- Lekkasjevolum per tilknytning per døgn (m<sup>3</sup>/tilknytning/døgn)
- Annet
- Jeg vet ikke
- Jeg vil ikke besvare dette spørsmålet

Figur 29: Utsnitt av spørsmål 4 i spørreundersøkelsen om lekkasjemål som kommuner benytter seg av.

Måling og overvåking av lekkasjeomfanget er en viktig oppgave som kommuner utfører på ulike måter. Målet med dette spørsmålet var å få en innsikt i hvordan norske kommuner håndterer lekkasje. Videre var det viktig å undersøke hvilke metoder som ble brukt sammenlignet med kommunestørrelser eller vannmålerdekning eller liknende.

## Spørsmål 5

Er kommunen kjent med infrastruktur lekkasje indeks (ILI) som mål for lekkasjeomfang? \*

Ja, kjent med det fra før og bruker det

Ja, kjent med det men bruker det ikke

Har planlagt å begynne å bruke det

Nei, aldri hørt om

Jeg vil ikke besvare dette spørsmålet

Jeg vet ikke

Figur 30: Utsnitt av spørsmål 5 i spørreundersøkelsen om kommuners kjennskap til (ILI).

Dette spørsmålet tok sikte på å undersøke kommunens kunnskap og bevissthet om infrastruktur lekkasje indeks (ILI), ettersom den direkte er omtalt i det nye drikkevannsdirektivet.

Svaralternativene gav respondentene mulighet til å indikere graden av deres kjennskap til (ILI) og dens betydning. Ved å tilby svaralternativer som både inkluderte kjennskap og manglende kjennskap til ILI, kunne det gi en bedre forståelse av hvor mye informasjon kommunene trengte for å øke bevisstheten om dette verktøyet.

## Spørsmål 6

De ulike målene for lekkasjeomfang i drikkevannsnettene krever at man har tilgang på gode data om egenskaper ved nettet. Angi i hvilken grad kommunen har oversikt over følgende data:

	Ingen oversikt	Litt oversikt	Middels oversikt	God oversikt	Full oversikt	Jeg vil ikke besvare dette spørsmålet	Jeg vet ikke
Total lengde på kommunale ledninger. *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Total lengde på private stikkledninger (Fra kommunal ledning og inntil vannmåler hos forbrukeren) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gjennomsnittlig driftstrykk på drikkevannsnettene *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Antall påkoblingspunkter på kommunalt nett *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vannmengde som tilføres nettet *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Totalt vannforbruk (husholdninger, industri, næring, fritid etc.) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figur 31: Utsnitt av spørsmål 6 fra spørreundersøkelsen om tilgjengelighetsgrad av data som direkte inngår i (ILI) beregning.

Spørsmålet var et flerdimensjonalt spørsmål som krevde at respondenten hadde en grad av oversikt eller tilgang til hver av de 6 datatypene. Formålet var å undersøke tilgjengelighet av nødvendige data for å beregne lekkasjeindikatorer. Det gav i tillegg en anledning til å vurdere kommunenes evne til å samle inn og lagre de nødvendige dataene om egenskapene til drikkevannsnettene generelt. Alle de fire spesifikke datatypene som spørsmålet fokuserer på, inngår i (ILI) beregningen. Hvis norske kommuner ikke har tilstrekkelig oversikt over disse dataene, kan det være utfordrende å stille strengere krav til lekkasjer med det første.

### Spørsmål 7

Hvor stor prosentandel av det totale lekkasjevolumet antar kommunen skyldes lekkasjer på det private stikkledningsnettet (inkludert påkoblingspunkter)? \*

Figur 32: Utsnitt av spørsmål 7 i spørreundersøkelsen om andel tapt vann som skyldes private ledninger.

Spørsmålet var rettet mot respondenters kunnskap om lekkasjeandel som skyldtes private stikkledninger. Hensikten var å kunne evaluere kommuners kjennskap til hvor stor prosentandel som går tapt i de privateide deler av nettet. Respondentene hadde anledning til å skrive et fritekstsvar eller en egen kommentar om dette temaet.

### Spørsmål 8

Har du noen kommentarer/anbefalinger som bør være med i denne sammenheng?

Figur 33: Utsnitt av spørsmål 8 i spørreundersøkelsen om respondenters egne kommentarer og refleksjoner.

Siste spørsmål gav respondentene mulighet til å gi mer detaljerte og personlige tilbakemeldinger knyttet til temaet. Å inkludere en åpen tekstboks gav respondentene mulighet til å uttrykke seg fritt, samt til å dele egne tanker som ikke var inkludert i spørreundersøkelsen. Det gav i tillegg mer innsikt i respondentenes synspunkt og erfaringer, særlig etter at man hadde besvart alle øvrige spørsmål i spørreundersøkelsen.



## 3.4 Personlige intervjuer

Studien sendte 4 separate henvendelser til Svenskt Vatten, Danskvand, Finnish Water Forum og lekkasjegruppe ved EurEau. EurEau er en europeisk organisasjon av nasjonale foreninger for VA-tjenester fra 30 europeiske land, både fra privat og offentlig sektor. Henvendelsene inneholdte forespørsler om å gjennomføre personlige intervjuer med personer som arbeider med lekkasjer, indikatorer eller nye EU-krav. Per 01.04.2023 var det kun mottatt svar fra Svenskvatn og EurEau.

Studien intervjuet Oslo kommune i tillegg og var i kontakt både med FHI og Mattilsynet. Oslo kommune har Norges største antall personer med tilknytning til kommunal vannforsyning (Statistisk sentralbyrå, 2021a). Det er derfor av stor betydning å undersøke hvordan Oslo kommune håndterer dataene i denne sammenhengen. FHI bruker dataene for å lage oversikt over vannforsyningsystemer som rapporterer sine data til Mattilsynet (Nordheim, 2021). Det er dermed nyttig å få innsikt i hvordan FHI jobber med disse dataene.

Totalt sett gjennomførte studien 4 intervjuer. Intervjuene ble gjennomført på ulike måter basert på informantenes ønsker. Dataene som ble samlet inn fra disse intervjuene, gjorde det mulig å undersøke emnet fra flere perspektiver og bidro til en mer helhetlig forståelse av problemstillingen.

Intervjuene gav studien mulighet til å innhente kvalitativ informasjon fra informanter. Dette gav innsikt i deres erfaringer, meninger og perspektiver innenfor emnet som ble undersøkt. Det å gjennomføre personlige intervjuer gav også en unik mulighet til å stille oppfølgingsspørsmål, noe som ikke var mulig i spørreskjemaene. For å se nærmere på relaterte temaer, inkluderte studien informanter fra ulike steder og ulike temaer. Videre har studien tatt et europeisk perspektiv ved å kontakte EurEau, samt ved å sjekke hvordan våre naboland håndterer vannlekkasjer og deres fremtidige planer for iverksetting nye EU-krav.

## 4 Resultater

Ved beregning av ulike indikatorer, har det oppstått visse utfordringer knyttet til dataene som publiseres på flere filer. De dataene som benyttes i beregningen stammer fra to forskjellige filer; den ene inneholder informasjon om lengden på drikkevannsledninger, mens den andre omfatter andre relevante data, som vannmengde, estimert lekkasje, antall tilknyttede personer og lignende. For enkelte vannverk som forsyner sine abonnenter via to transportsystemer, har dette skapt en utfordring, og det har vært nødvendig med en grundig gjennomgang for å kunne integrere disse dataene. Analyse av resultater fra spørreundersøkelsen, svar fra personlige intervjuer og beregningene, har påvist noen likheter mellom disse. De innsamlede svarene har blitt nøye gjennomgått og det har blitt undersøkt potensielle korrelasjoner mellom de ulike dataene.

### 4.1 Indikatorberegninger

Følgende eksempler viser noen beregninger fra 4 «aktive» vannverk som forsyner 4 kommuner. Med utgangspunkt i kategoriene som omhandlet størrelse fra spørreundersøkelsen (10 tusen eller færre, 10 - 20 tusen, 20 - 50 tusen og 50 tusen eller flere), så tilhører disse kommunene samme kategorier. Hensikten med dette var å utforske potensielle sammenhenger mellom beregningsresultater og data fra både spørreundersøkelsen og personlige intervjuer som kan gi en dypere forståelse av problemstillingen. Denne tilnærmingen ble valgt med håp om å frembringe en grundig og informativ konklusjon basert på de innsamlede resultatene. Videre presenteres det verdier for *Norges-ILI* med utgangspunkt nasjonale data om lekkasje og drikkevannsnettet.

Eksemplene nedenfor tar sikte på å beregne 3 ulike indikatorer basert på tilgjengelige data med utgangspunkt de 3 formlene som ble presentert i metodekapittel under avsnitt 3.2.1 Beregning av (ILI) og andre indikatorer – Bruk av formler. Indikatorene er på henholdsvis ILI, tap/stikkledning/døgn og tap/km/døgn. Beregningene har i tillegg tatt for seg en korrigert lekkasje prosent basert på korrigert spesifikt vannforbruk som er 140 l/pe/døgn.

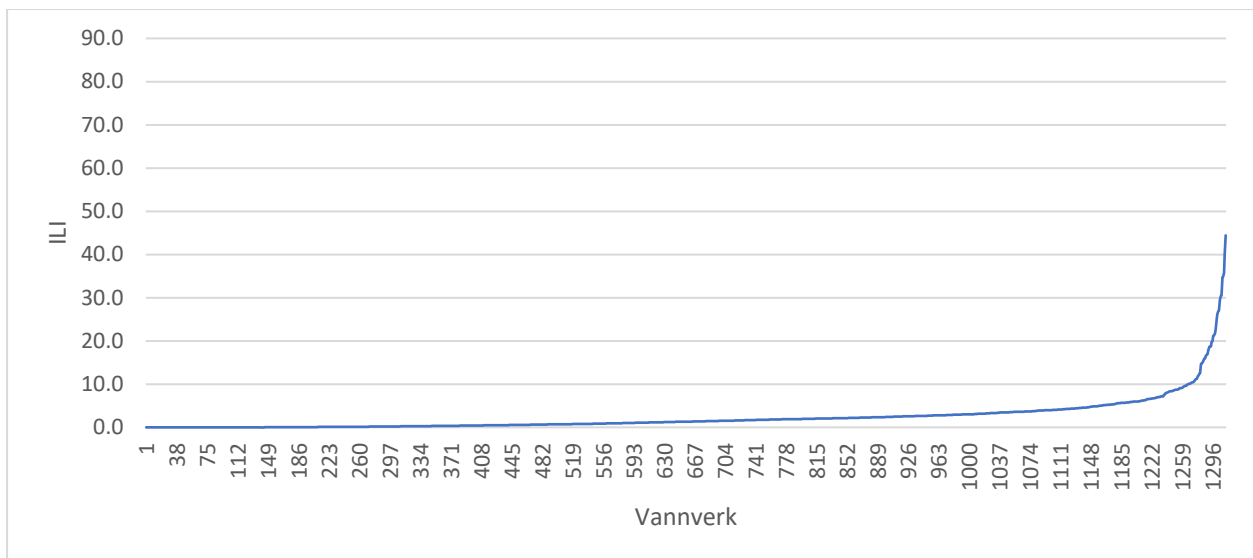
Tabell 3 presenterer resultater på beregninger for de 4 kommunene med antall innbyggere på opptil 50 tusen eller flere og som er tilknyttet kommunal drikkevannsforsyning:

Data for beregninger	Kommune 1	Kommune 2	Kommune 3	Kommune 4
Antall personer tilknyttet kommunal vannforsyning	10 tusen eller færre	10 – 20 tusen	20 – 50 tusen	50 tusen eller flere
Hovedledningslengde L <sub>m</sub> (km)	110	223	437	484
Lengden på de private stikkledningene L <sub>p</sub> (m)	22	22	22	22
Antall stikkledninger N <sub>s</sub>	2 676	5 487	18 000	31 857
Gjennomsnittlig driftstrykk (m)	50,7	50,7	50,7	50,7
Rapportert lekkasjetap	193638	1 844 856	2 040 030	2 746 780
Beregnet korrigert lekkasje (forbruk på 140 l/pe/døgn)	466339	2 572 143	3 602 970	5 166 349
Periode	2022	2022	2022	2022
ILI	1,9	8,7	3,4	2,9
ILI <sub>(kor.)</sub>	4,5	12,2	6,1	5,4
Tap per stikkledning [L/stikkledning/døgn]	198	921	311	236
Tap per stikkledning <sub>(kor.)</sub> [L/stikkledning/døgn]	477	1 284	549	444
Tap per lengde enhet [L/km/døgn]	4823	22 665	12 789	15 549
Tap per lengde enhet <sub>(kor.)</sub> [L/km/døgn]	11615	31 600	22 588	29 245

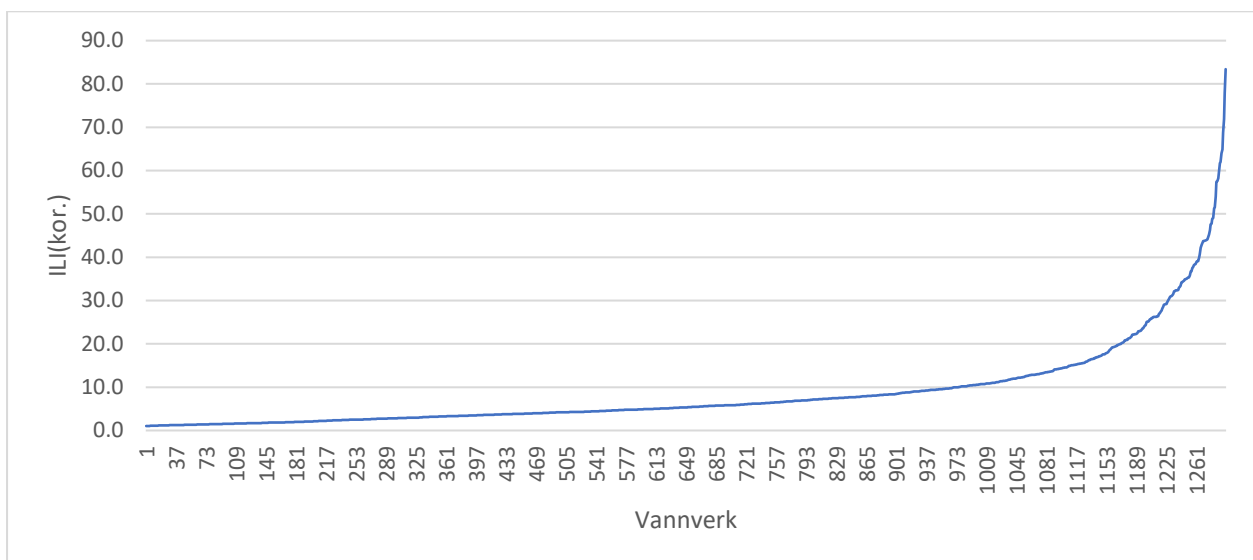
Tabell 3: Resultater på beregninger av ulike lekkasjeindikatorer fra 3 kommuner med korrigerede beregninger basert på vannforbruk på 140 l/pe/døgn.

En ser i *Tabell 3* at verdiene i dette tilfellet er uavhengige av størrelsen på kommunen. Dette gjelder nødvendigvis ikke samtlige kommuner eller vannverk.

Gitt at lekkasjeprosent i Norge er på ca. 31 %, lengden på kommunalt nett er ca. 51 000 km, stikkledningslengde 22 m og driftstrykk på 50,7 mVs, vil Norges ILI være på **3,5** og Norges ILI<sub>(kor.)</sub> på **5,5**.

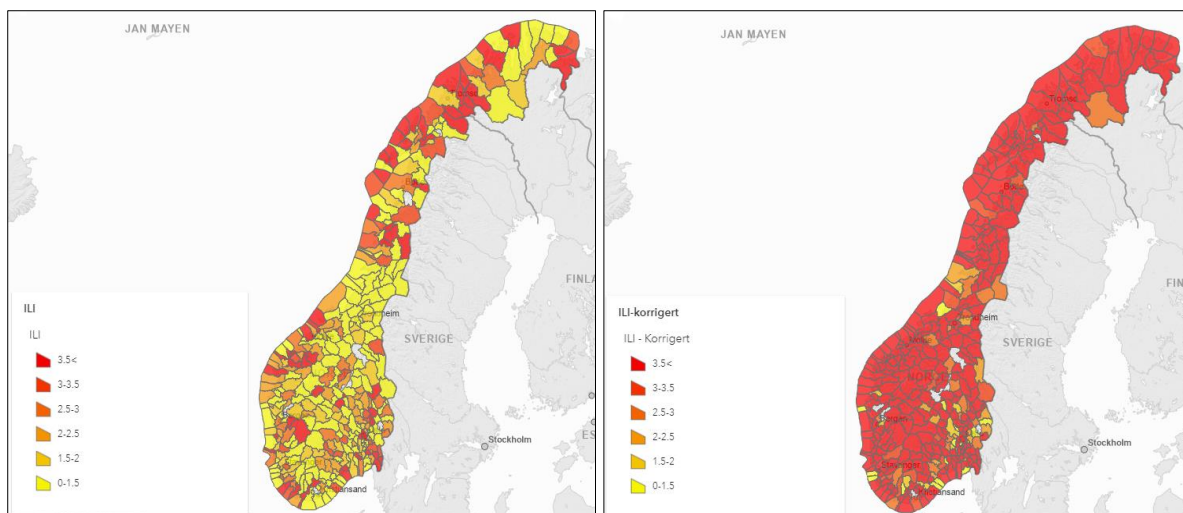


Figur 34: ILI verdier for vannverk med innrapportert data til Mattilsynet for 2022.



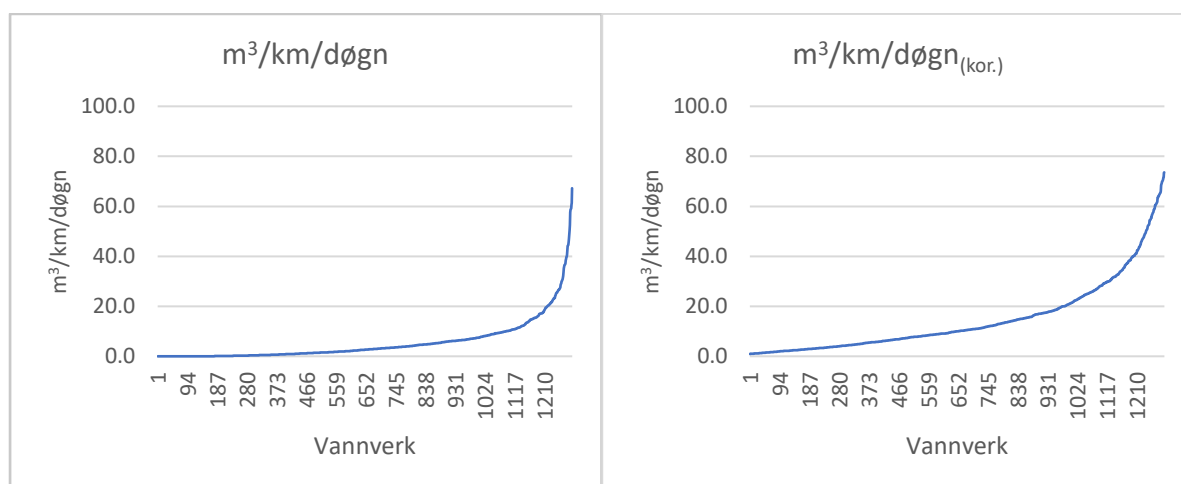
Figur 35: Korrigerte ILI verdier basert på 140 l/pe/døgn som spesifikt vannforbruk for vannverk med innrapportert data til Mattilsynet.

Basert på innrapportert data, viser *Figur 34* at over 90 % prosent av norske vannverk har en ILI-verdi på 10 eller mindre. *Figur 35* viser betydelige høyere ILI-verdier for norske vannverk enn det som er vist i *Figur 34*. Dette kommer på bakgrunn av et antatt lavere spesifikt vannforbruk som er på 140 l/pe/døgn. Resultatene for ILI beregninger er illustrert på et kart (*Figur 36*) som representerer samtlige norske kommuner. For å få et representativt tall for hver kommune, har det blitt, som omtalt tidligere, tatt et gjennomsnitt av indikatorens verdier fra vannverk som geografisk ligger i en kommune.



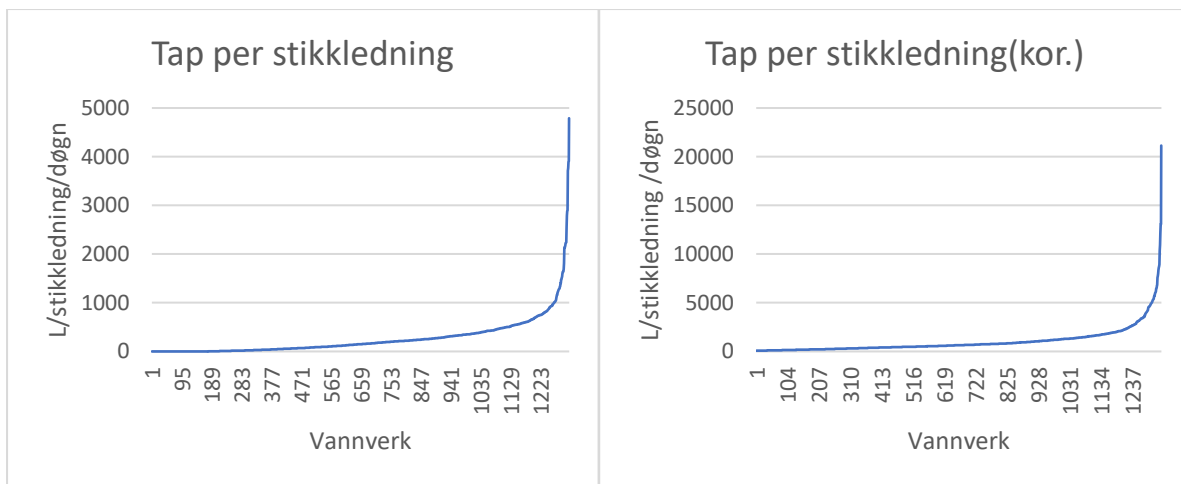
Figur 36: Norske kommuner med sine (ILI) verdier inkludert korrigerte verdier basert på beregnet korrigert lekkasjetall antatt spesifikt vannforbruk på 140 l/pe/døgn. Kommunene som er markert med hvit er det ingen data om.

Figur 37 viser at kommuner i nord stort sett, har en høyere ILI. Videre viser figuren at med korrigert beregnet lekkasje, har de fleste kommunene en ILI-verdi på over 2,5.



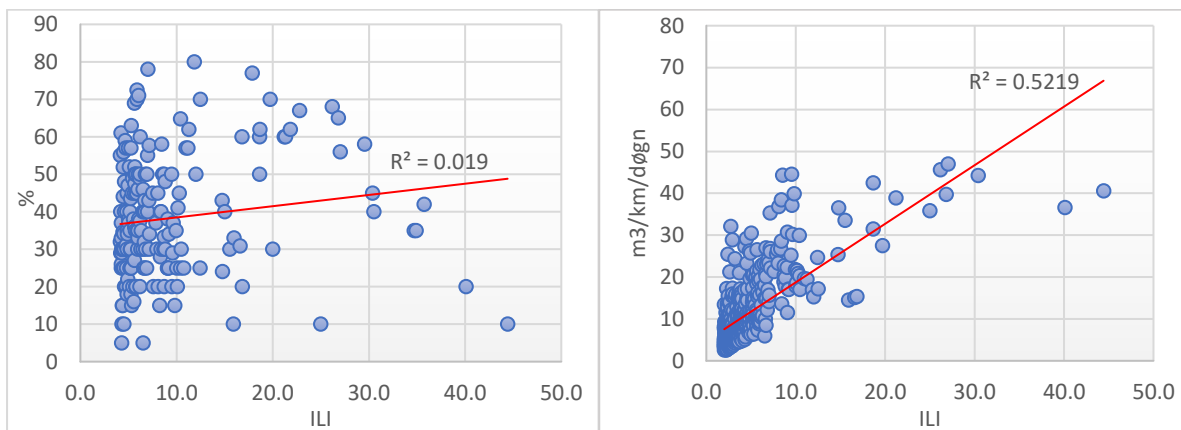
Figur 37: Beregnede verdier for tap per lengdeenhet for utvalgte vannverk med innrapportert data for 2022 og med korrigert vannforbruk på 140 l/pe/døgn som spesifikt vannforbruk.

Figur 37 viser at ca. 90 % har et vanntap mellom 1 og 20 m³/km/døgn. Den korrigerte verdien viser at ca. 50 % har vanntap på 10 m³/km/døgn eller mer.



Figur 38: Beregnede verdier for tap per stikkledning for utvalgte vannverk med innrapportert data for 2022 og på korrigert vannforbruk på 140 l/pe/døgn..

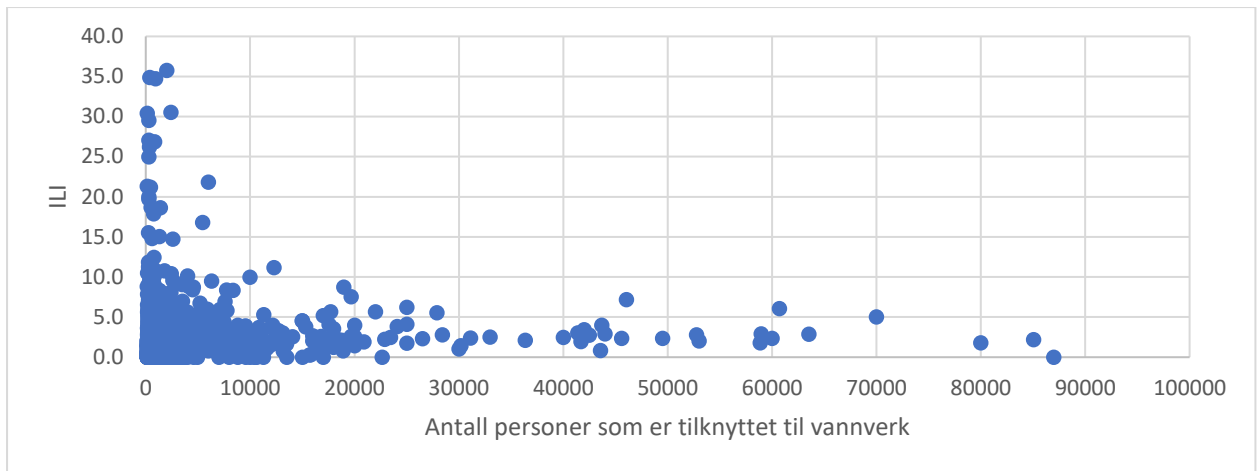
Figur 38 viser at ca. 97 % har et vanntap på opptil 1000 l/stikkledning/døgn. Tap per stikkledning - verdier som er basert på korrigert vannforbruk viser at over 50 % vannverk har et vanntap mellom 1000 og 5000 l/stikkledning/døgn gjennom sine transportsystemer.



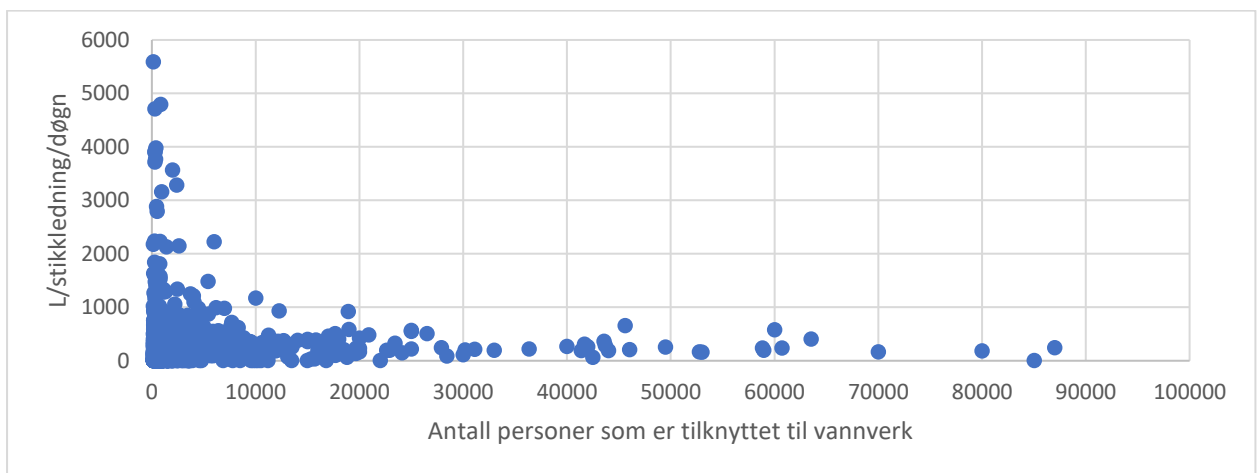
Figur 39: ILI verdier koblet til ulike vanntap målt i % og m<sup>3</sup>/km/døgn. Data gjelder 500 norske vannverk med høyeste ILI verdier som er på opptil 44 basert på deres innrapportert data til Mattilsynet.

I Figur 39 ser man at ILI korrelerer bedre med m<sup>3</sup>/km/døgn enn vanntap målt i prosent. Dette kan skyldes at samme ledningslengde og gjennomsnittlig driftstrykk har blitt brukt for alle vannverk i beregninger.

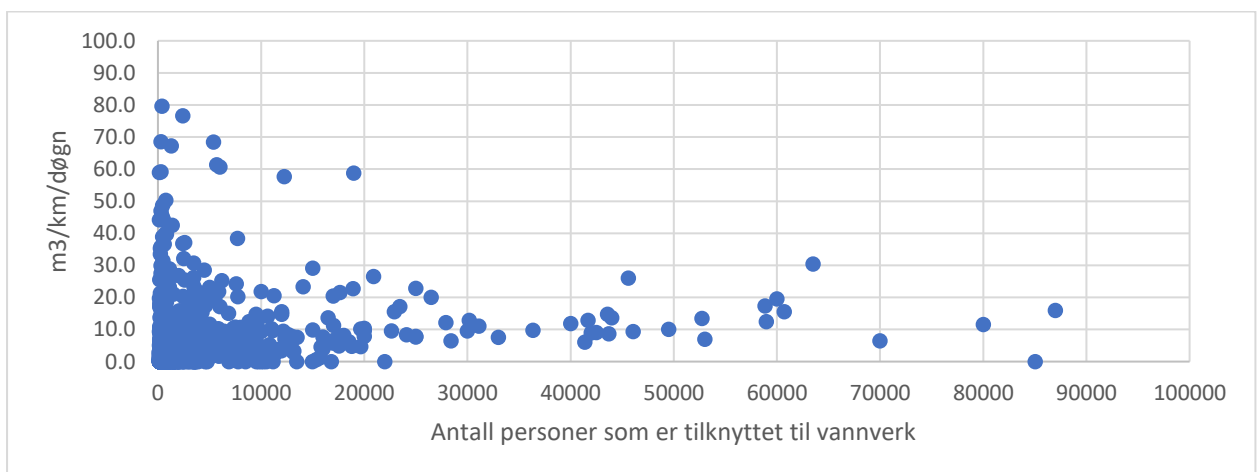
Figur 40, Figur 41 og Figur 42 viser sammenhengen mellom resultatene på indikatorberginger (ikke korrigert) og størrelsen på vannverk.



Figur 40: Sammenhengen mellom ILI-verdier, og størrelsen på vannverk basert på antall tilknyttede personer.



Figur 41: Sammenhengen mellom (L/stikkledning/døgn)-verdier, og størrelsen på vannverk basert på antall tilknyttede personer.



Figur 42: Sammenhengen mellom (m3/km/døgn)-verdier, og størrelsen på vannverk basert på antall tilknyttede personer.

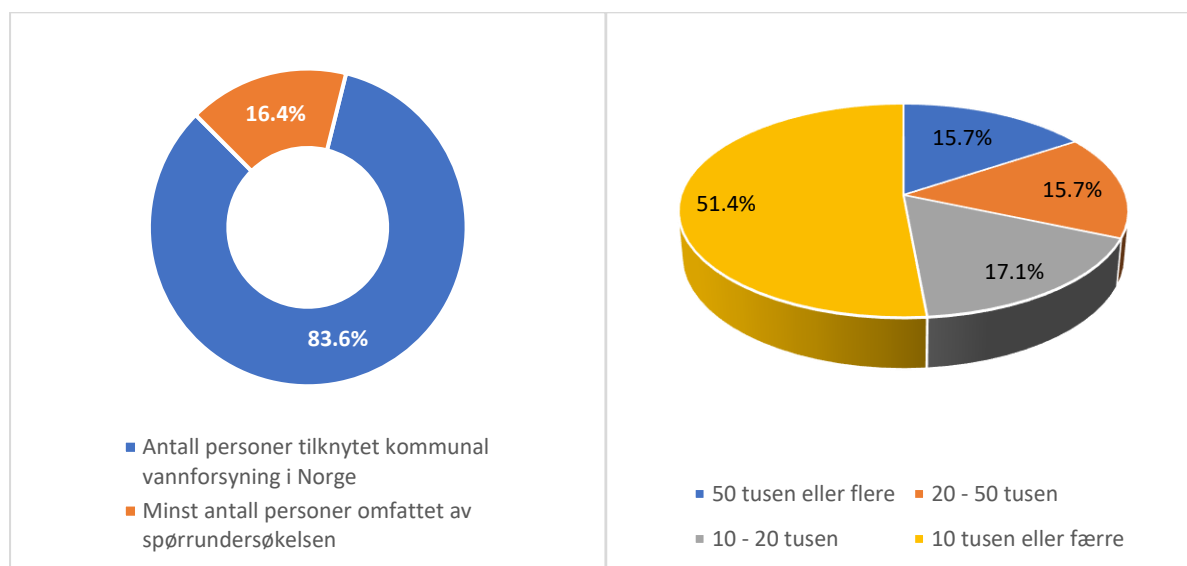
Slik det fremkommer av *Figurene 40, 41 og 42*, så er det en høyere verdi på indikatorene jo mindre vannverket er.

## 4.2 Resultater fra spørreundersøkelsen

Dette delkapittelet tar sikte på å presentere resultatene av spørreundersøkelsen samt respondentenes holdninger og eventuelle preferanser. Diskusjonsdelen vil videre tolke resultatene og undersøke implikasjonene de har for fremtidig forskning eller praksis.

### Spørsmål 1

Første spørsmål som omhandlet antall innbyggere med tilknytning til kommunal vannforsyning ble besvart av samtlige respondenter. Av disse er 11 kommuner (15 %) med en befolkning på 50 000 innbyggere eller flere, som til sammen utgjør omtrent 50 % av Norges ti mest befolkede kommuner (Statistisk sentralbyrå, 2023). Omtrent 83,6 % av den totale befolkningen i Norge er tilknyttet kommunal vannforsyning (Statistisk sentralbyrå, 2022a). Studien representerer altså minst 17 % av personene som er tilknyttet kommunal drikkevannsforsyning på landsbasis. Det indikerer at resultatene gir et solid grunnlag for å evaluere konsekvensene av innføring av nye og strengere krav til lekkasjer.



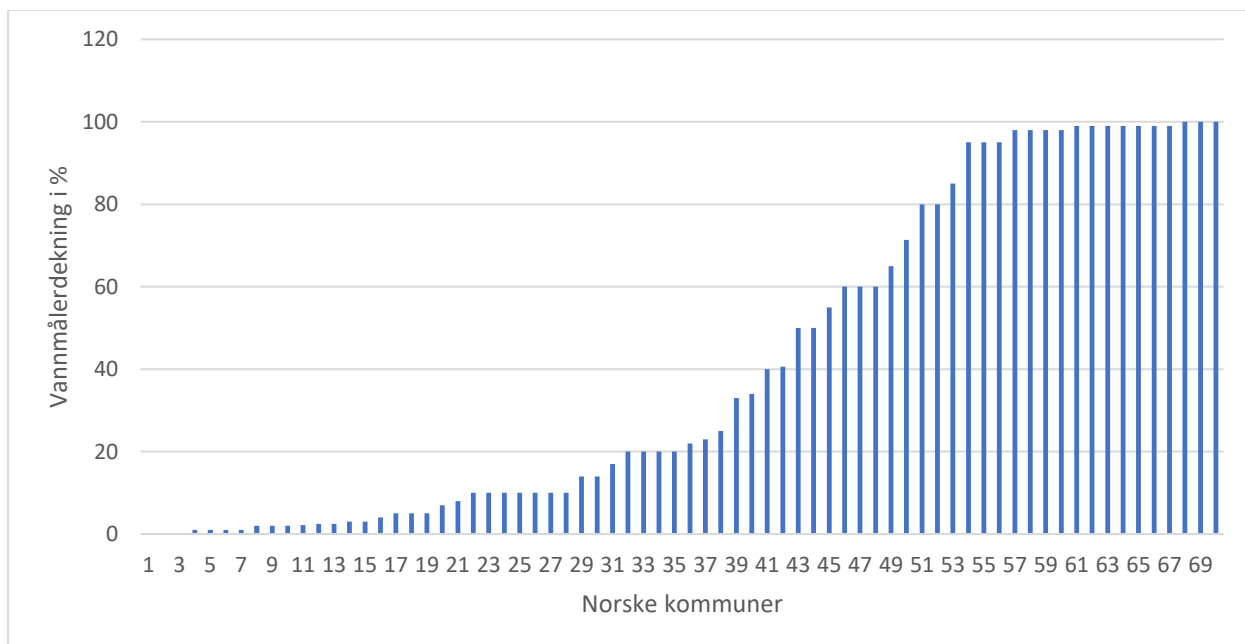
Figur 43: Til venstre, minst prosent andel befolkning som er tilknyttet kommunal vannforsyning og som er omfattet av spørreundersøkelsen. Til høyre er fordeling av respondentene basert på antall personer tilknyttet kommunal vannforsyning.

Slik man ser i figurene over så har spørreundersøkelsen samlet inn data som representerer 16.4 % personer som er tilknyttet kommunal vannforsyning eller mer.



## Spørsmål 2

Samtlige av respondentene besvarte spørsmål 2 som tok for seg vannmålerdekning i kommunen. En av dem svarte "Vet ikke", mens de resterende svarene varierte fra 0 til 100 %. *Figur 44* illustrerer resultatene fra spørsmål 2 om dekning av vannmålere:

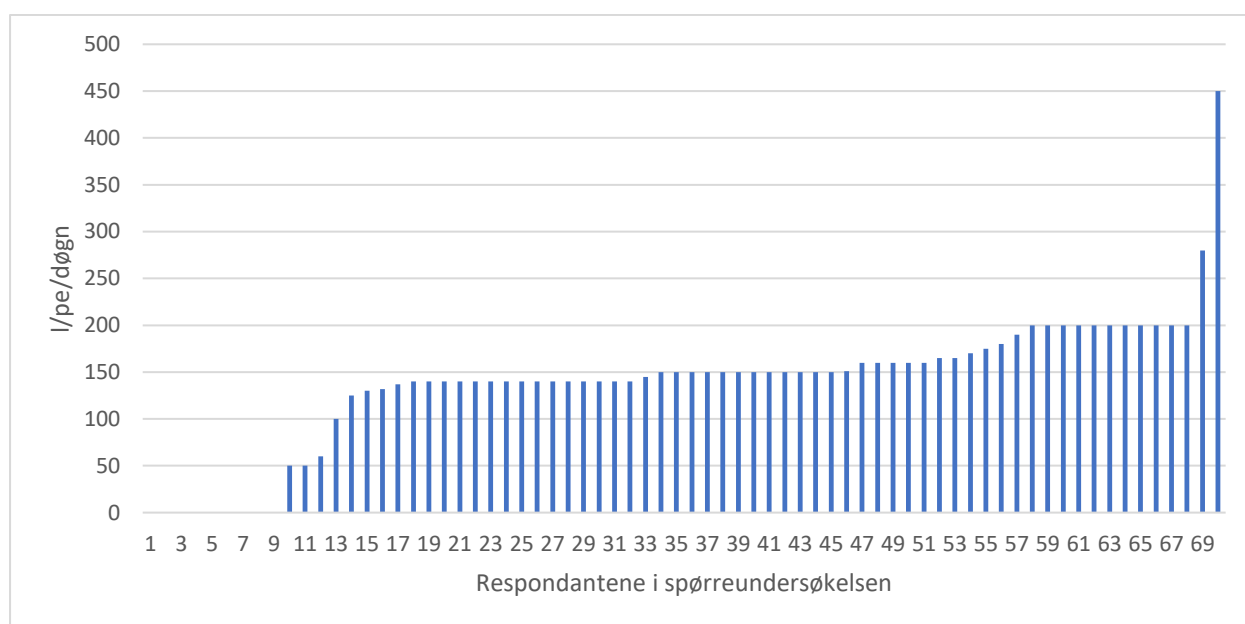


Figur 44: Oversikt over vannmålerdekning basert på svar fra respondentene i spørreundersøkelsen i stigende rekkefølge. Hver søyle representerer en norsk kommune som har deltatt i spørreundersøkelsen.

*Figur 44* viser at ca. 50 % av respondentene har en vannmålerdekning på 20 % eller mindre. Av disse har ca. 50 % innrapportert spesifikt vannforbruk på 150 Liter/pe/døgn eller mer i spørsmål 3. Dette kan gi en indikasjon på at lekkasjetall som blir innrapportert til Mattilsynet kan være noe usikre.

### Spørsmål 3

I spørsmål 3 som undersøkte spesifikt vannforbruk i kommunen som legges til grunn i vanntapsberegninger, var det 3 respondenter som besvarte med 0 liter/person/døgn og 7 med ukjent eller vet ikke. Tallene viste likevel store variasjoner blant respondentene og de varierte fra 0 og opptil 450 liter/person/døgn. I forbindelse med å analysere svarene ble alle svarene som er markert med ukjent eller liknende, gjort om til 0. Det kan argumenteres for at dette kan føre til en viss usikkerhet i analysen, da det ikke er klart om respondentene faktisk ikke visste svaret eller om de valgte å ikke svare av andre årsaker. Videre kan det også være andre faktorer som påvirker svarene, for eksempel ulike definisjoner eller tolkninger av spørsmålet blant respondentene.



Figur 45: Oversikt over spesifikt vannforbruk som er lagt til grunn i vanntapsberegninger som respondenter har rapportert med stigende rekkefølge.

Basert på resultatene presentert i figuren ovenfor, kan det observeres at minst 50 % av respondentene rapporterte et vannforbruk på 150 liter per person per døgn eller høyere. Det bør også bemerkes at de som rapporterte en vannmålerdekning mellom 0 og 40 % rapporterte et høyere vannforbruk sammenlignet med andre respondenter. Dette kan antyde at kommunene med lavere vannmålerdekning har mindre oversikt over vannforbruket. Det kan også være relevant å vurdere ulike faktorer som kan påvirke vannforbruket, for eksempel klimatiske forhold, sosioøkonomiske faktorer og befolkningsvekst. En mer grundig analyse av disse faktorene kan gi ytterligere innsikt i de observerte variasjonene i vannforbruk blant respondentene. Svarene på dette spørsmålet kunne gi en god indikasjon på hvor mye vann kommunene la til grunn i sine beregninger. Det kunne dessuten danne grunnlag for beregning av korrigert lekkasje, basert på korrigert vannforbruk, som i dette tilfelle ble på 140 l/pe/døgn. Imidlertid kan det hende at noen respondenter ikke hadde tilgang til denne informasjonen eller at de ikke visste hva kommunen la til grunn. Dette kunne føre til at noen svar ble unøyaktige eller manglet informasjon.

## Spørsmål 4

Et vanlig mål for å evaluere lekkasjeomfanget er prosentandelen av produsert vann som lekker ut av systemet, som er forskjellen mellom den totale mengden vann som produseres og den mengden som faktisk brukes. Dette stemmer overens med resultatene fra spørreundersøkelsen i spørsmål 4 som omhandlet mål for lekkasjeomfang som kommuner bruker. 78 % av respondentene valgte denne metoden, enten alene eller kombinert med annen eller flere andre metoder. En annen metode som ble valgt av 17 % av respondentene var måling av lekkasjevolum per km kommunal vannledning.

Tabell 4 viser resultatene på spørsmål 4 samt alle kombinasjoner som respondentene har valgt.

	Antall	(%)	M <sup>3</sup> /km/døgn	M <sup>3</sup> /tilknytning/døgn	(ILI)	Annet
(%)	43	X				
Annet	7					X
(%)/M <sup>3</sup> /km/døgn	6	X	X			
(%), (M <sup>3</sup> /km/døgn) og (ILI)	3	X	X		X	
(M <sup>3</sup> /tilknytning/døgn)	2			X		X
(%), (M <sup>3</sup> /km/døgn), (M <sup>3</sup> /tilknytning/døgn) og (ILI)	2	X	X	X	X	
(ILI)	2				X	
Jeg vet ikke	2					
(M <sup>3</sup> /tilknytning/døgn) og annet	1			X		X
(%) og Annet	1	X				X
Jeg vil ikke besvare Dette spørsmålet	1					
(M <sup>3</sup> /km/døgn) og (ILI)	0					
(%), (M <sup>3</sup> /tilknytning/døgn) og (ILI)	0					
(%) og (ILI)	0					
(%), (M <sup>3</sup> /km/døgn) og (M <sup>3</sup> /tilknytning/døgn)	0					
Sum	70					

Tabell 4: Detaljert oversikt over hvordan respondentene har besvart spørsmål 4 i spørreundersøkelsen om hvilke mål for lekkasjeomfang kommunene bruker.

Tabell 4 viser at 43 (62 %) bruker kun prosentandel som mål for lekkasje omfang. Kun to respondenter har rapportert infrastruktur lekkasjeindeks som det eneste målet de bruker. Det er imidlertid en av dem har rapportert 10 tusen eller færre antall innbyggere tilknyttet kommunal vannforsyning, 100 % vannmålerdekning og 0 l/pe/døgn som spesifikt vannforbruk i spørsmål 3. Dette antyder at innleverte svar fra denne respondenten kan være usikre. Det bemerkes også at større kommuner med 20 tusen eller flere innbyggere tilknyttet kommunal vannforsyning, bruker to lekkasjemål eller flere.

I dette spørsmålet hadde respondentene mulighet til å velge ett eller flere svaralternativer. Spørsmålet har gitt verdifull informasjon om kommunens innsats for å følge med lekkasjeomfanget i deres vann-forsyningssystem. Det gir samtidig en indikasjon på kommunens interesser og forståelse av hvordan dette kommer til å utvikle seg over tid. Spørsmålet er rettet mot hvordan lekkasjer faktisk overvåkes.

Tabell 4 viser i tillegg at det er flere metoder som ikke var inkludert i spørreundersøkelsen og som blir benyttet av 7 (10 %) kommuner. Disse blir vist i Figur 46.

Svaralternativet «Annet» ga respondentene en mulighet til å gi et fritekstsvar dersom det ikke var relevant eller inkludert i de oppgitte svaralternativene. Hensikten med dette alternativet var å sikre at man fikk informasjon om eventuelle andre metoder som kunne ha vært oversett i spørsmålet.

Figur 46 viser resultatene av hvilke svar respondentene ga når de valgte «Annet».

### Hvilke andre mål bruker dere? ^

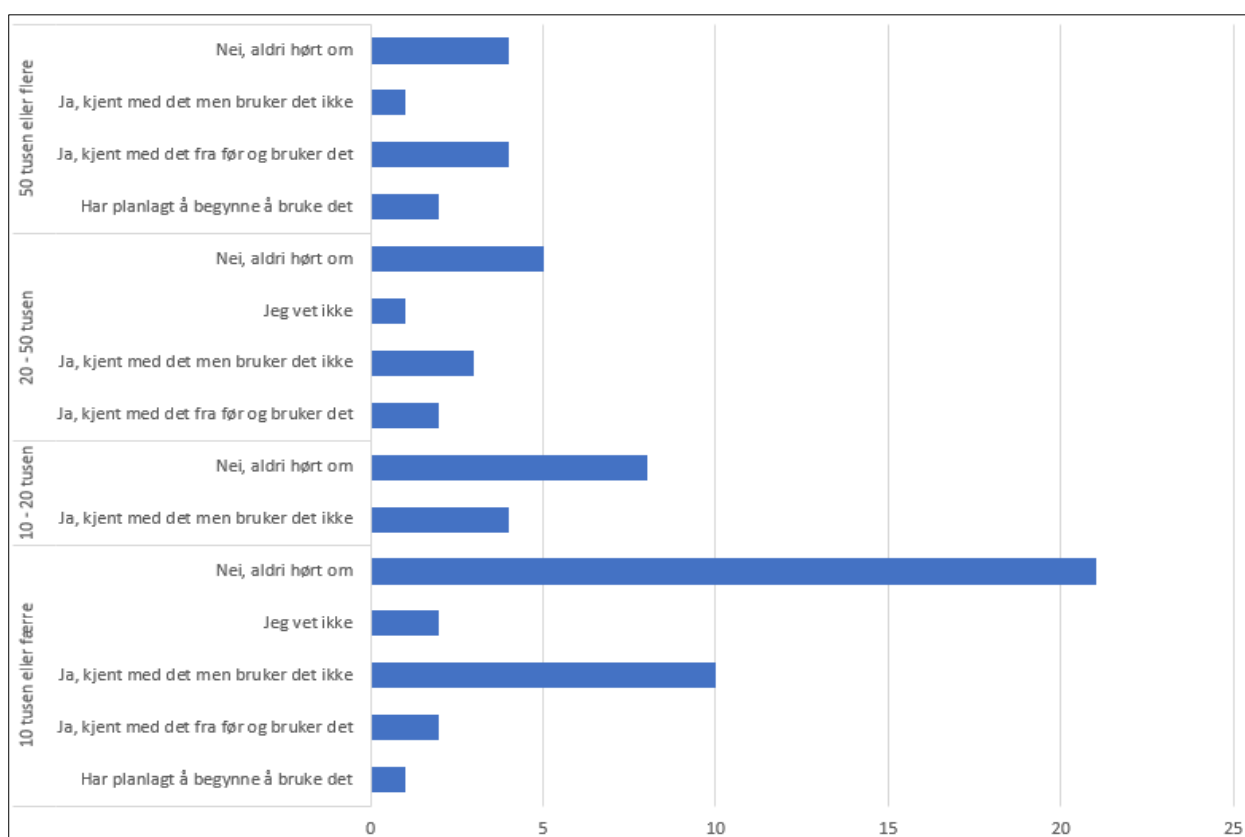
- Tidligere antakelser
- Estimerer lekkasje basert på nattforbruk
- Målt nattforbruk og estimert reelt forbruk
- laveste nattforbruk pr sone
- Nattforbruk - liter pr sekund
- Har ikke konkretisert mål
- årsforbruk og nattforbruk
- Mål for kjøpt vannmengde fra IKS

Figur 46: Respondenters egne kommentarer når de besvarte med «Annet» eller «Annet» kombinert med andre valg i spørsmål 4 i spørreundersøkelsen som handlet om lekkasjeomfangsmål.

Her ser man at noen respondenter har rapportert andre metoder som for eksempel tidligere antagelser. Dette kan inkludere tidligere rapporter eller estimeringer basert på historisk data. Videre har noen besvart med nattforbruk som en måte for å estimere lekkasjer. Dette refererer til eventuelt avvik fra normal og estimert vannforbruk og som indikerer på lekkasjer i systemet. Siste respondent har referert til den faktiske mengden som blir kjøpt fra interkommunale selskap. Dette kan skje ved å sammenligne totale forbruket med kjøpt vannmengde og estimere eventuelle lekkasjer. Det er allikevel viktig å merke seg at valget av mål for lekkasje estimering vil avhenge av spesifikke behov og målsettinger for vannforsyningssystemet i norske kommuner.

## Spørsmål 5

Spørsmålet om kommunens kjennskap til infrastruktur lekkasje indeks (ILI) ble besvart av alle 70 respondentene. Av disse svarte 38 (54 %) at de aldri hørt om det, 18 (25 %) var kjent med det men bruker det ikke og 3 (4 %) visste ikke. Videre har 8 (11 %) svart at de var kjent med det og bruker det og 3 (4 %) at de har planlagt å begynne å bruke det. Når det gjelder demografiske faktorer kan det bemerkes at 6 av 8 respondenter som brukte (ILI), tilhørte større byområder. Med større byområder menes det her 20 tusen innbyggere med kommunal vannforsyning eller flere. De 2 siste respondentene som brukte (ILI) tilhørte et område med 10 tusen eller færre innbyggere. Av disse 2 hadde 1 tidligere rapportert 0 l/pe/døgn i spørsmål 3 og den andre valgte andre mål enn (ILI) i spørsmål 4.



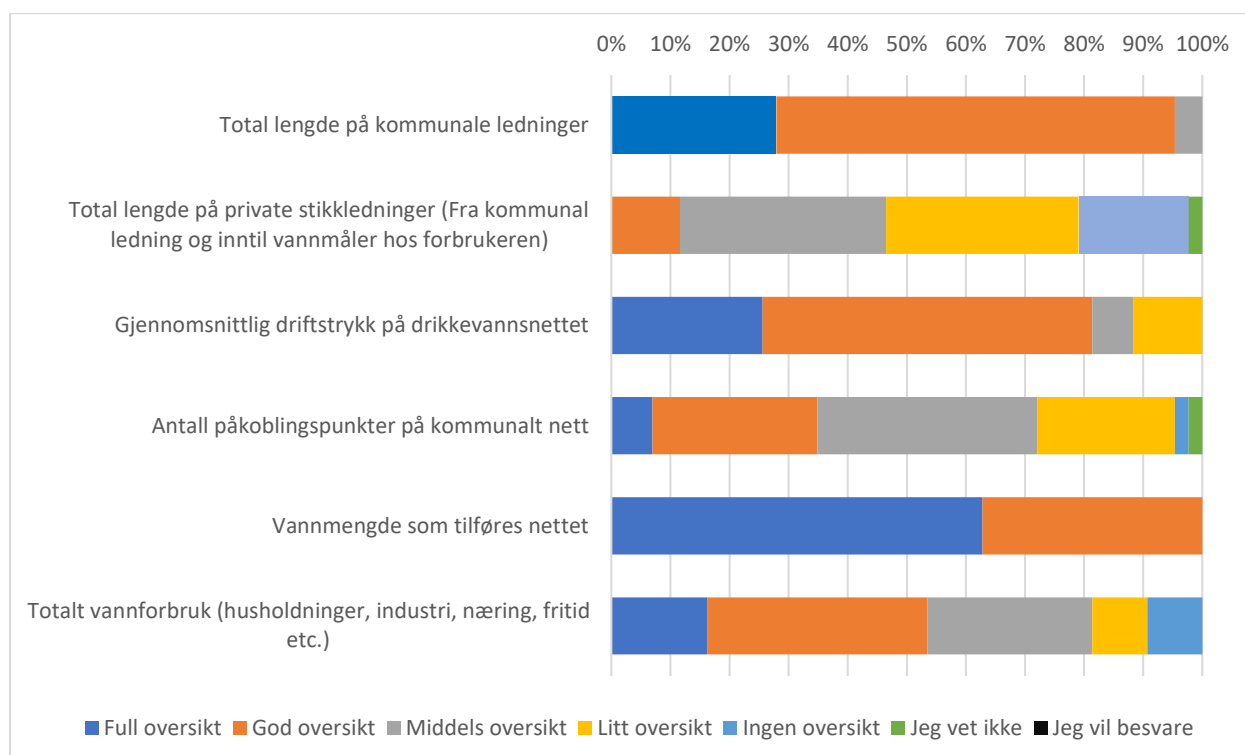
Figur 47: Illustrasjon av korrelasjon mellom kommunenes kjennskap til (ILI) og tilhørende antall innbyggere tilknyttet kommunal vannforsyning basert på respondenters svar på spørsmål 5 i spørreundersøkelsen om kommunens kjennskap til (ILI).

Slik det er vist i *Figur 47*, har kommuner med 10 tusen eller færre antall innbyggere liten eller ingen kjennskap om (ILI). Dette kan være en indikasjon på at større kommuner har mer ressurser og teknologi samt er mer forberedt på å innføre slike nye indekser enn mindre kommuner. lekkasjeomfang. Dette tilsvarer ca. 88 %. Basert på disse funnene kan det konkluderes med at en betydelig andel av svargruppen ikke brukte eller hadde noe kjennskap til (ILI) som et mål for lekkasjeomfang. Svarene på dette spørsmålet kunne gi verdifull innsikt i hvor godt informert kommunene var om dette verktøyet og dets betydning for å forbedre lekkasjeomfanget, slik det nye direktivet pålegger.

## Spørsmål 6

Spørsmål 6 om tilgjengelighetsgrad av ulike data hos respondenter antas å være hovedspørsmålet i spørreundersøkelsen. Resultatet på dette spørsmålet har stor betydning for studien og vil drøftes noe mer enn andre spørsmål.

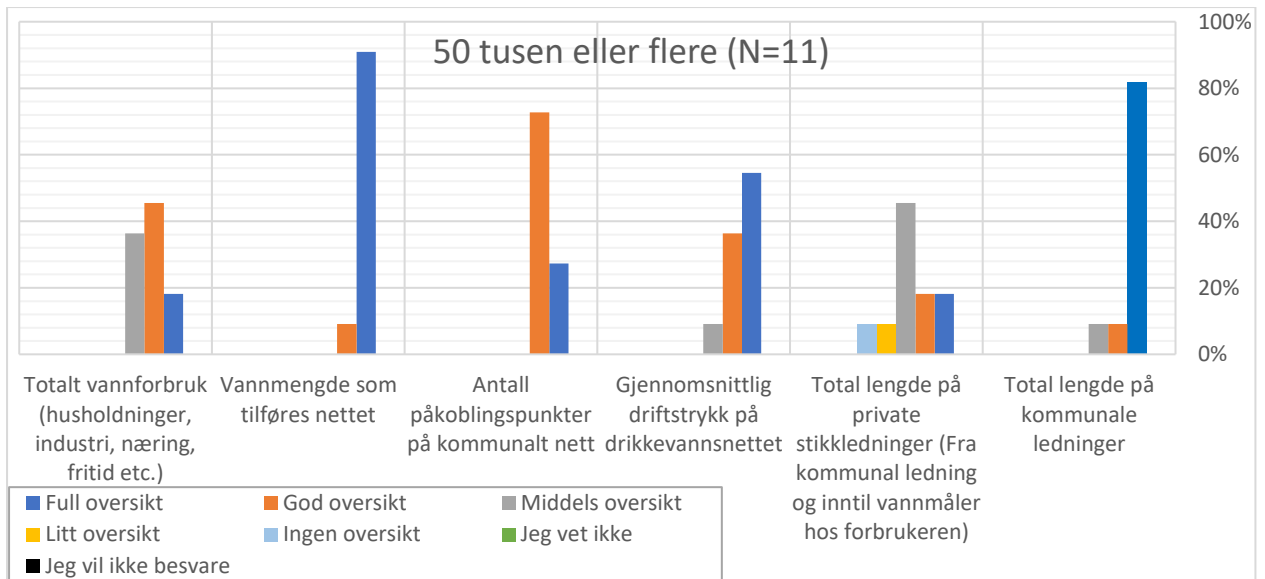
Når det gjelder både lengde på kommunale ledninger og vannmengde som tilføres nettet, har nesten alle respondenter (over 95 %) rapportert enten «Full oversikt» eller «God oversikt». Det kan også bemerkes kommuner for det meste (over 85 %) har rapportert enten «Middels oversikt», «Litt oversikt» eller «Ingen oversikt» på total lengde på private stikkledninger. Litt over 50 % av respondentene har enten «Full oversikt» eller «God oversikt» på totalt vannforbruk.



Figur 48: Resultatene fra alle respondenter for spørsmål 6 i spørreundersøkelsen om tilgjengelighetsgrad av data som direkte inngår i (ILI)- og andre indikators beregninger.

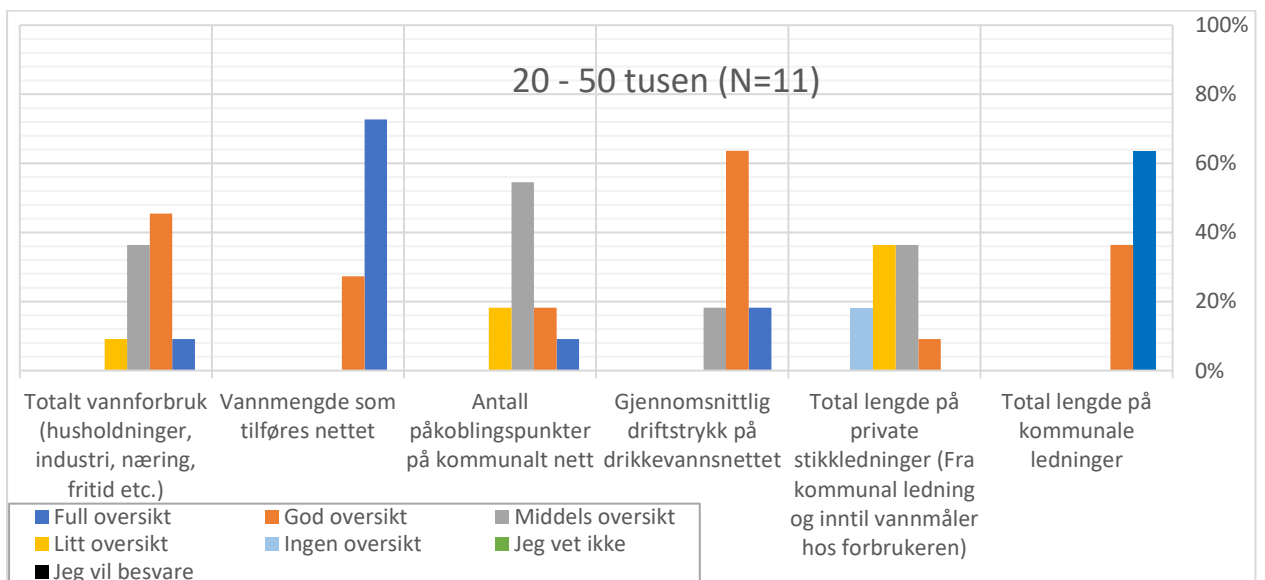
Slik figuren viser så har de fleste tilfredsstillende oversikt over total lengde på kommunale ledninger og vannet som tilføres nettet. Videre ser en at både lengden på private stikkledninger og antall påkoblinger har kommuner noe mindre eller ingen oversikt. Dette stemmer overens med innrapporterte data til Mattilsynet og indikerer på pålitelighet av svarene i dette spørsmålet og spørreundersøkelsen generelt.

Videre presenteres det en grundigere analyse av resultatene for dette spørsmålet, inkludert en sammenligning av respondentenes svar basert på størrelsen på kommunene de tilhører.



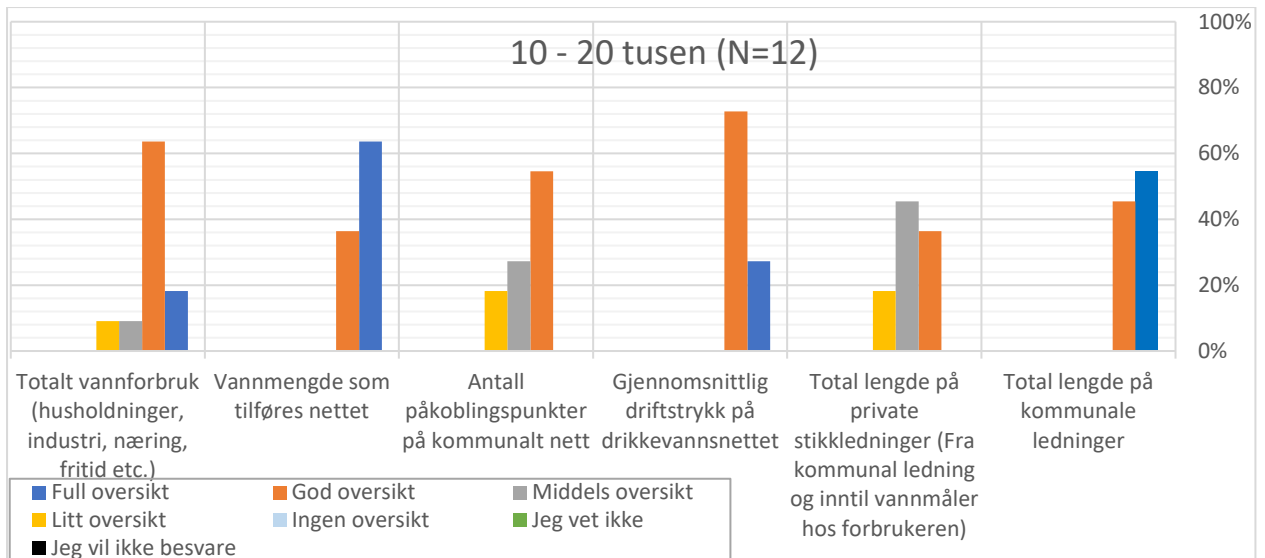
Figur 49: Forhold mellom demografisk faktor og tilgjengelighetsgrad av data oversikt for kommuner med 50 tusen innbyggere eller flere og som er tilknyttet kommunal vannforsyning.

Figur 49 viser at kommuner med 50 tusen innbyggere eller flere, generelt sett har god dataoversikt over det meste, med unntak av total lengde på private stikkledninger. Det er også verdt å merke seg at 6 av disse kommunene (55 %) har rapportert at de har «Full Oversikt» over gjennomsnittlig driftstrykk, og «Full oversikt» eller «God oversikt» på antall påkoblinger i det kommunale nettet.



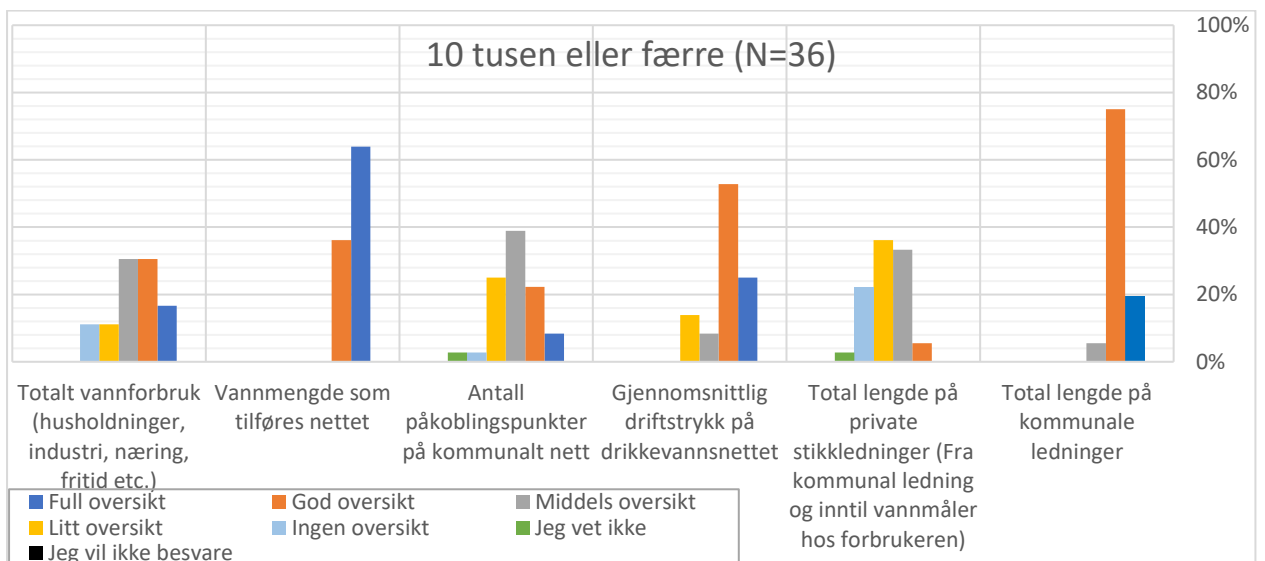
Figur 50: Forhold mellom demografisk faktor og tilgjengelighetsgrad av data oversikt for kommuner med 20 - 50 tusen innbyggere som er tilknyttet kommunal vannforsyning.

I denne kategorien ser man at betydelig mindre andel har rapportert «Full oversikt» over driftstrykk og mer med «God oversikt». Videre ser man at disse kommunene har mindre oversikt over antall påkoblinger og lengde på stikkledninger.



Figur 51: Forhold mellom demografisk faktor og tilgjengelighetsgrad av data oversikt for kommuner med 10 - 20 tusen innbyggere som er tilknyttet kommunal vannforsyning.

I kommuner med 10 - 20 tusen innbyggere har flest rapportert «God oversikt» på driftstrykk og «Middels oversikt» på lengde på stikkledninger. Det bemerkes i tillegg at I motsetning til de andre kategoriene, har disse kommunene bedre oversikt over totalt vannforbruk. Det kan indikere på at mellomstore kommuner kan ha bedre kapasitet og kontroll over noen data.



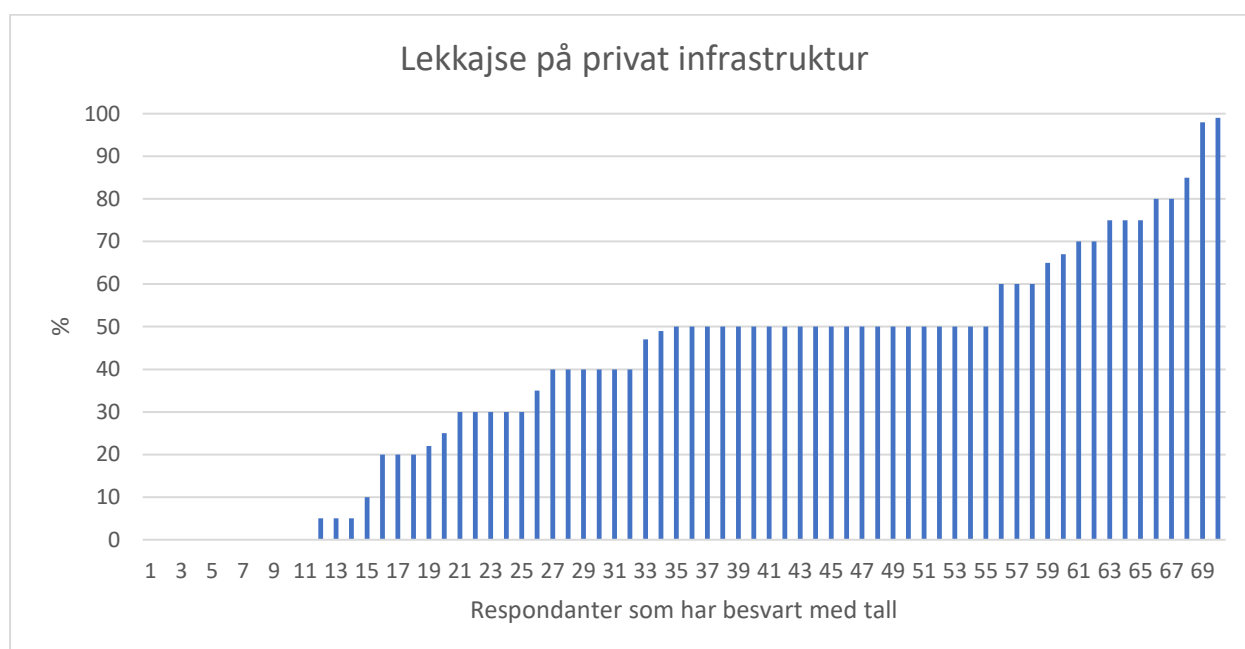
Figur 52: Forhold mellom demografisk faktor og tilgjengelighetsgrad av data oversikt for kommuner med 10 tusen innbyggere eller færre og som er tilknyttet kommunal vannforsyning.

De minste kommunene har tydeligvis mindre oversikt enn alle andre og på nesten alle datatypene. Unntaket her er driftstrykk der 19 (53 %) respondenter har rapportert «God oversikt». Kommuner med en befolkning på 50 tusen innbyggere eller flere, har i all hovedsak bedre kjennskap til dataene enn mindre kommuner. Det kan observeres at svarene på dette spørsmålet varierer i noen grad. Store og mellomstore kommuner, generelt sett, har en akseptabel oversikt av de fleste av dataene.



## Spørsmål 7

Spørsmål om andel lekkasje som skyldes private ledninger ble besvart av samtlige respondenter. Svarene her kan være basert på oppfatninger og erfaringer ettersom det er flere faktorer som kan påvirke det, som eierskap av infrastruktur. Svarene kan derfor være noe usikre og avhengige av hvilke grunnlag respondentene har basert sine svar på. Av alle har 11 (10 %) besvart med fritekst og hadde ingen kjennskap til det. 59 deltakere (90 %) har besvart med tall fra 5 % til 100 %. Av disse har 16 (27 %) rapportert lekkasje på privat infrastruktur mellom (50 %) og (98 %). Disse kommuner tilhører kategorien 10 tusen personer eller færre med tilknytning til kommunal vannforsyning. Videre har disse kommunene sagt at de enten har «Litt oversikt» eller «Middels oversikt» i spørsmål 6 om antall påkoblingspunkter. De har i tillegg rapportert vannmålerdekning på opptil 40 %. Dette kan indikere på usikkerhet tilknyttet svarene i dette spørsmålet. 9 kommuner med 50 tusen personer eller flere, har rapportert lekkasjer på 50 % - 70 %. Disse kommunene mener å ha enten «God oversikt» eller «Full oversikt» når det gjelder påkoblingspunkter.



Figur 53: Respondentenes estimat på prosentandel av lekkasje som skyldes private stikkledninger.

Figur 53 viser betydelige variasjoner mellom kommunene angående lekkasje på private ledninger. Man ser i tillegg at 28 (40 %) har besvart med en verdi mellom 40 % og 50 %.

## Spørsmål 8

Siste spørsmål i spørreundersøkelsen var åpnet for respondentenes kommentarer og refleksjoner rundt temaet vanntap. Analysen av svarene viser en rekke forskjellige temaer og bekymringer som respondentene har rundt dette emnet.

Her har det blitt mottatt 21 ulike kommentarer og refleksjoner relaterte til temaet. Flere av respondentene uttrykte bekymring for at lekkasjer i vannsystemet kan føre til et økonomisk tap for kommunen, og noen uttrykte en følelse av at dette problemet ikke blir prioritert høyt nok. Noen mente også at det var viktig å få til et bedre samarbeid mellom kommunen og innbyggerne for å redusere vanntapet.

I forbindelse med lekkasjeindikatorer støtter en av respondentene bruk av (ILI) og innføring av et topssystem for vanntap, basert på den danske modellen. Imidlertid er en annen respondent uenig i bruken av (ILI) grunnet begrenset tilgang på data om stikkledninger. En annen respondent som «Aldri hørt om (ILI)», støtter oppfordringen fra Norsk Vann om å bruke ( $\text{m}^3/\text{km}/\text{døgn}$ ) som en enhet.

En respondent som tilhører kategorien «10 000 innbyggere eller færre» har lagt inn flere kommentarer. Noen av disse kommentarene påpeker mangel på data og kunnskap på grunn av begrenset dekning av vanntellere og begrenset ingeniørkapasitet. På grunn av manglende innsikt i vannforbruket hos abonnentene, spesielt blant bedrifter og gårder, anbefaler respondenten å installere flere vanntellere i nettverket, kalibrere eksisterende målere og overvåke undervannsrørledninger.

Generelt sett viser analysen at respondentene er opptatt av problemet med vanntap i kommunale vannsystemer, og at det er en stor bekymring for både økonomiske og helsemessige konsekvenser. Det blir også klart at det er et ønske om bedre samarbeid mellom kommunen og innbyggerne, samt bedre måleinstrumenter og oversikt over vannforbruket, for å redusere vanntapet.

## 4.3 Personlige intervjuer

I dette kapittelet vil det presenteres datamateriale innhentet ved personlige intervjuer.

### 4.3.1 Oslo kommune

Studien har stilt noen spørsmål i forbindelse med størrelser som inngår i ILI og andre indikators beregninger. Kommunikasjonen her har blitt gjennomført på e-post.

Ifølge informanten er det anslått at det er cirka 53 000 påkoblinger av stikkledninger i Oslo kommune. De fleste av disse stikkledningene tilhører private eiere, men det inkluderer også offentlige eiere som har abonnementsavtaler på lik linje med private. Det gjennomsnittlige driftstrykket i drikkevannsnettet i Oslo er 550 kPa, som tilsvarer 5,5 bar eller 56 meter vannsøyle. Dette gjennomsnittet er basert på trykket i alle trykksone.

Når det gjelder tilgang til et dataarkiv eller lignende som kan gi et anslag eller et eksakt tall på private stikkledninger i norske kommuner, er svaret dessverre nei. Oslo kommune har ikke tilgang til informasjon om dette. Det er viktig å merke seg at informasjonen om stikkledninger fra Oslo kommune ikke kan anses som representativ for alle norske kommuner. Antallet private stikkledninger varierer betydelig fra kommune til kommune, avhengig av befolkningstetthet og antall påkoblinger per kilometer. Trykket varierer i tillegg i drikkevannsnettet og er også avhengig av topografien i den enkelte kommune.

Når det gjelder metoder for å estimere trykket og eventuell usikkerhet knyttet til det gjennomsnittlige driftstrykket i drikkevannsnettet, bruker Oslo kommune 53 trykksoner og 10 ulike trykksonenivåer. Kommunen har god kontroll på trykket i hver enkelt sone gjennom kontinuerlig fjernvåkning. Hvis det oppstår uventede trykkfall, mottar kommunen alarmer til sitt beredskapssenter, som er operativt 24/7. Dermed kan de med høy grad av sikkerhet si at gjennomsnittet for driftstrykk i drikkevannsnettet er 550 kPa.

Informanten kommer i tillegg med et beregningseksempel på ILI fra Oslo kommune. Eksemplet representerer en beregning for hele kommunen for året 2022.

Beregningseksemplene tar for seg både et husholdningsforbruk på 160 l/pe/døgn og et korrigert lekkasjetall basert på vannforbruk på 140 l/pe/døgn for året 2022. Eksemplene er vist i *Tabell 5*.

Periode	2022	
<b>Forbruk Oslo</b>	86 052 912	
<b>Ledningslengde</b>	1523	km
<b>Antall tilkoblinger</b>	53000	stk.
<b>Gjennomsnittlig tilkoblingslengde</b>	29	m
<b>Gjennomsnitt trykk</b>	550	kPa.
<b>UARL</b>	5 953	m <sup>3</sup> /dag
<b>UARL</b>	2 172 898	m <sup>3</sup> /år
<b>Husholdningsforbruk 160 l/pe/døgn og drift 15 l/pd</b>		
<b>CARL (lekkasje)</b>	27 905 202	m <sup>3</sup> /år
<b>CARL min (15 l/pd)</b>	76 453	m <sup>3</sup> /dag
<b>Lekkasje</b>	<b>32,4 %</b>	
<b>ILI</b>	<b>12,84</b>	
<b>Husholdningsforbruk 140 l/pe/døgn og drift 5 l/pd</b>		
<b>CARL maks (lekkasje)</b>	36 079 181	m <sup>3</sup> /år
<b>CARL maks (5 l/pd)</b>	98 847	m <sup>3</sup> /dag
<b>Lekkasje</b>	<b>41,9 %</b>	
<b>ILI</b>	<b>16,60</b>	

Tabell 5: Beregningseksempler på (ILI) fra informanten i Oslo kommune for året 2022.

ILI verdier vist i *Tabell 5* er ganske like med verdiene som ble beregnet i delkapittelet 4.1.1 for Oslo kommune. Unntaket er at i Oslo kommunes eksempel var lengden på privatstikkledning 29 m og driftstrykket ble satt til ca. 56 mVs.

### 4.3.2 Mattilsynet og FHI

Spørsmålene her omhandler tilgjengelighet av relevante data for indikatorenes beregninger herunder stikkledninger og driftstrykk. Mattilsynet opplyste at det ikke er data om antall stikkledninger eller driftstrykk. Personen opplyser videre at datasettene de har, ligger på Mattilsynets nettsider og per dagsdato er det ingen som jobber aktivt med disse dataene. Personen anbefaler å henvende seg videre til FHI ettersom FHI lager årlige rapporter om vannforsyningsystemer. Hevndelsen til FHI gikk ut på å undersøke hvilke data som er tilgjengelige hos FHI særlig informasjon om stikkledninger og driftstrykk. Informanten har svart som følgende:

«Vi har total ledningslengde som er eid av vannverket/kommunen. Tallene vi har tilgang til inkluderer ikke lengden på stikkledningene, eller antallet stikkledninger. Dette er fordi stikkledningene for det aller meste er privat eid (kun unntaksvis eies det av kommunen). Men man antar at det private stikkledningsnett er minst like langt som det kommunalt eide. Det er noen kommuner som har bedre oversikt enn andre på stikkledningene. Vi har ikke tall som sier noe om gjennomsnittlig driftstrykk. I registeret rapporterer vannverkene hvor mange meter av ledningsnett som har høyt trykk (definert som vannsøyle over 75m)».

### 4.3.3 Svenskt Vatten

Sverige antas å ha en lekkasje prosent på ca. 15 %, noe som utgjør mindre enn 50 % av Norges lekkasje prosent. Det er derfor interessant å undersøke hvilke tiltak som er tenkt i forbindelse med nytt drikkevannsdirektiv. Videre er det verdifullt med en innsikt i hvordan lekkasjeindikatorer blir beregnet med hensyn til data tilgjengelighet. Kommunikasjonen med Svenskt Vatten har blitt gjennomført både på E-post og digitale møter. I spørsmålet angående estimering av driftstrykket i forbindelse med ILI beregningen, har informanten opplyst om at vanligvis benyttes Mike+ for å lage hydrauliske simuleringer for å estimere trykket og at resultatene er tilfredsstillende med noe usikkerhet. Trykkestimering ble ikke diskutert dypere ettersom informanten ikke hadde mye kjennskap eller informasjon om hvor vanlig dette brukes. Informanten har kommet med et beregningseksempel på såkalte Sveriges ILI som er vist i *Tabell 6*. Når det gjelder stikkledninger, har vedkommende opplyst om at svenske kommuner har ansvar for stikkledninger utenfor offentlig vei Dette er fordi eiers grensesnittet er regulert i loven om Allmänna vattentjänster av 2006 og svenske kommuner har ansvar for stikkledninger fra hovedledningen og inntil 0.3-0.5 m utenfor eiendoms-grense. I praksis betyr det en bedre oversikt kommunen skal ha om stikkledningene i Sverige enn her i Norge.

Periode	2019	
Ledningslengde	84 500	km
Antall tilkoblinger	1 802 000	stk.
Gjennomsnittlig tilkoblingslengde	12	m
Gjennomsnitt trykk	50	mVs.
UARL	2,1	l/km/døgn
UARL	64 769	m <sup>3</sup> /år
Lekkasje	4,9	l/km/døgn
ILI	<b>2,4</b>	

Tabell 6: Informanters beregningseksempel for Sveriges (ILI) for året 2019.

En ILI verdi på 2,4 antas ifølge Malm et al. (2018) å være «Ok».

Det ble i tillegg stilt spørsmål om konsekvenser av EU sitte nye direktiv for svenske vannverk og om det er blitt foreslått noen endringer i denne sammenheng. Svaret som ble mottatt 3. mars 2023 ble oversatt til norsk og lød som følgende:

[Det finnes dessverre ingen ny informasjon angående rapportering av lekkasje per dags dato. Utredningen om implementering av drikkevansdirektivet leverte sin rapport til Næringsdepartementet i oktober 2021. Deretter var utredningen ute på høring frem til mars 2022. På grunn av valg og regjeringsskifte, vil det komme en proposisjon til Riksdagen mot slutten av mars. Vi kan håpe på en beslutning i løpet av våren. På EU-nivå pågår det diskusjoner om hvordan medlemsstatene skal rapportere. Det er ennå ikke klart om det vil bli brukt en indeks og i så fall hvilket. EurEau argumenterer for å ikke bruke ILI, men heller bruke enklere målinger som m<sup>3</sup>/km/døgn og m<sup>3</sup>/tilkobling/døgn.].

Informanten har blitt kontaktet igjen i begynnelsen av mai 2023 for å spørre om det har skjedd noe nytt i forbindelse med innføring av nye regler. Informanten opplyser at informasjon som ble sendt i mars, gjelder fortsatt og det er ikke innført noe nytt i forbindelse med nye karv om lekkasjerapportering.

#### 4.3.4 EurEau

Arbeidsgruppen for lekkasjer (*Leakage Work Group-WG*) foreslår å innføre en såkalt harmonisert rapporteringsordning som omfatter to enkle volumindikatorer basert på målbare komponenter. Disse er på henholdsvis [m<sup>3</sup>/km/år] og [m<sup>3</sup>/stikkledninger/år]. For å sikre nøyaktige beregninger av usikkerheten knyttet til rapporterte vannmengder, og for å kunne håndtere forventet feil, anbefaler gruppen en minimumskontroll av målerne som brukes til å måle vannet tilføres nettet og kundenes forbruk. Selv om det er verdi i å overvåke lekkasjer på tvers av EU, mener EurEau at det vil være mest effektivt å følge en harmonisert beregningsmetrikk og rapporteringsmetode som fastsatt av EurEau, for å muliggjøre meningsfulle sammenligninger mellom medlemsland. Til slutt mener de at å innføre metoder som per i dag ikke alle medlemsland har god kontroll over, vil begrense forsvarlighet og nytte for å implementere lekkasjebestemmelsene i det nye drikkevansdirektivet.

# 5 Diskusjon

## 5.1 Diskusjon rundt de tre indikatorene

Beregningen av de ulike indikatorene byr på en rekke utfordringer. Den mest kritiske er mangelen på nødvendige data. Ved å sammenligne de indikatorene som ble gjennomgått og beregnet i denne oppgaven, ser man at (ILI) er den mest usikre metoden når det gjelder antall ukjente størrelser. Dette gjelder særlig data om antall private stikkledninger ( $N_s$ ), lengden på dem ( $L_p$ ) og driftstrykk i nettet ( $P$ ). Slik en ser i likning 1 for beregning av [UARL], har driftstrykket størst påvirkning på [UARL]- verdi og dermed (ILI). Disse parameterne omfattes per i dag ikke i innrapporteringen til Mattilsynet.

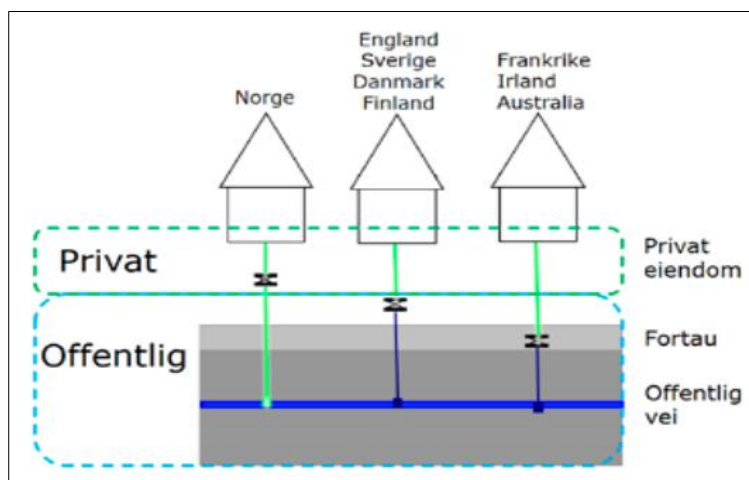
Når det gjelder den andre indikatoren ( $I$ /stikkledning/døgn) så er det fortsatt behov for en ukjent størrelse som er ( $N_s$ ) antall stikkledninger. Det innebærer at beregningen av denne indikatoren vil gi bedre resultater enn (ILI) men fortsatt med en viss grad av usikkerhet tilknyttet denne ukjente størrelsen ( $N_s$ ). Sammenlignet med de sistnevnte indikatorene, har tap per lengde enhet ( $m^3/km/døgn$ ) gitt resultater som har mindre usikkerhet. Dette er fordi denne indikatoren kun krever data om vanntapsmengde og lengde på kommunale drikkevannsledninger. Disse to størrelsene er som regel en del av innrapporteringen til Mattilsynet. Denne indikatoren antas dessuten å være mer forståelig for folk uten VA-bakgrunn, ettersom vannlekkasje ofte blir en politisk sak som knyttes til tørke og vannmangel. Graden av usikkerhet tilknyttet denne metoden skyldes, som spørreundersøkelsen har vist, at norske kommuner har lite kjennskap til lekkasjer i private deler av nettet. Dette kommer i tillegg til en usikker vannbalansmodell som brukes til å anslå tap i nettet. Det innebærer i praksis at en viss usikkerhet er knyttet til denne metoden grunnet usikkerhet i reelle tap som er en hovedstørrelse i denne indikatoren.

## 5.2 Diskusjon rundt ILI

ILI kan, som en dimensjonsløs størrelse, være et nyttig verktøy for å evaluere lekkasjeomfanget til vannforsyningsystemer. Det kan i tillegg være nyttig i en internasjonal sammenheng som muliggjør en lettere sammenligning mellom lekkasjeandel i Norge og andre land. En bedre beregning av (ILI) med minimert usikkerhet, krever en kartlegging av de ukjente parameterne. Densitet av bosetning, topografi og tilgang til teknologi og nok kompetanse varierer fra en kommune til en annen. Det å lage en oversikt over nødvendige data for en riktigere (ILI)-beregning, vil derfor være noe forskjellig mellom kommunene. I det følgende er det et forslag for å estimere de to ukjente størrelsene som inngår i (ILI) og noen andre sine beregninger.

## Stikkledninger

Definisjonen av stikkledninger er ikke det samme i alle land og det defineres forskjellig (Veierød, 2017). Figur 54 viser noen eksempler på dette fra noen utvalgte land.



Figur 54: Illustrasjon på stikkledningsstatus som viser kommunalt eierskap av stikkledninger (i blått) og privateierskap (i grønt) i Norge og noen andre land (Veierød, 2017).

Det bør med det første dannes et dataarkiv som samler inn både antall og lengden på disse ledningene.

Innsamling av dataene kan foregå ved å:

- Finne data om stikkledninger ved bruk av digitale verktøy som Geografisk Informasjonssystem (Vannverkets GIS-system).
- Måle avstanden fra bygninger til kommunale ledninger i gate. Her bør det tas hensyn til eventuelle felles stikkledninger.
- Legge inn data om private ledninger som leveres inn i forbindelse med søknader om fradeling av tomter og oppføring av ny bebyggelse.
- Evaluere fordeler og ulemper av kommunal overtakelse av eierskap (som i Stavanger eller Sverige sine modeller). Dette vil i tillegg sikre raskere lekkasjereparasjon og øke kvaliteten på disse ledningene slik at de ikke blir den svakeste delen av nettet.

I samtale med ansatte i Oslo kommune er det opplyst om at de har ingen dataarkiv som omfatter informasjon om denne parameteren. Det ble også opplyst om at dette kunne variere fra andre kommuner. Resultater fra spørsmål 6 i spørreundersøkelsen om stikkledninger (Figur 48) viser at kun 12 % av deltagende kommuner har «God oversikt» over lengden på private stikkledninger. Videre er det ca. 35 % som har «God oversikt» eller «Full oversikt» over antall påkoblingspunkter på kommunalt nett. Det innebærer at ved å pålegge bruk av ILI, vil det være behov for nye tiltak som kan sikre bedre tilgang til slike data og dermed er ILI ikke anbefalt ut fra dagens situasjon. Her bør det samtidig tas hensyn til økonomiske aspekter og lønnsomhet særlig med tanke på om disse dataene kan brukes til mer enn ILI-beregninger.



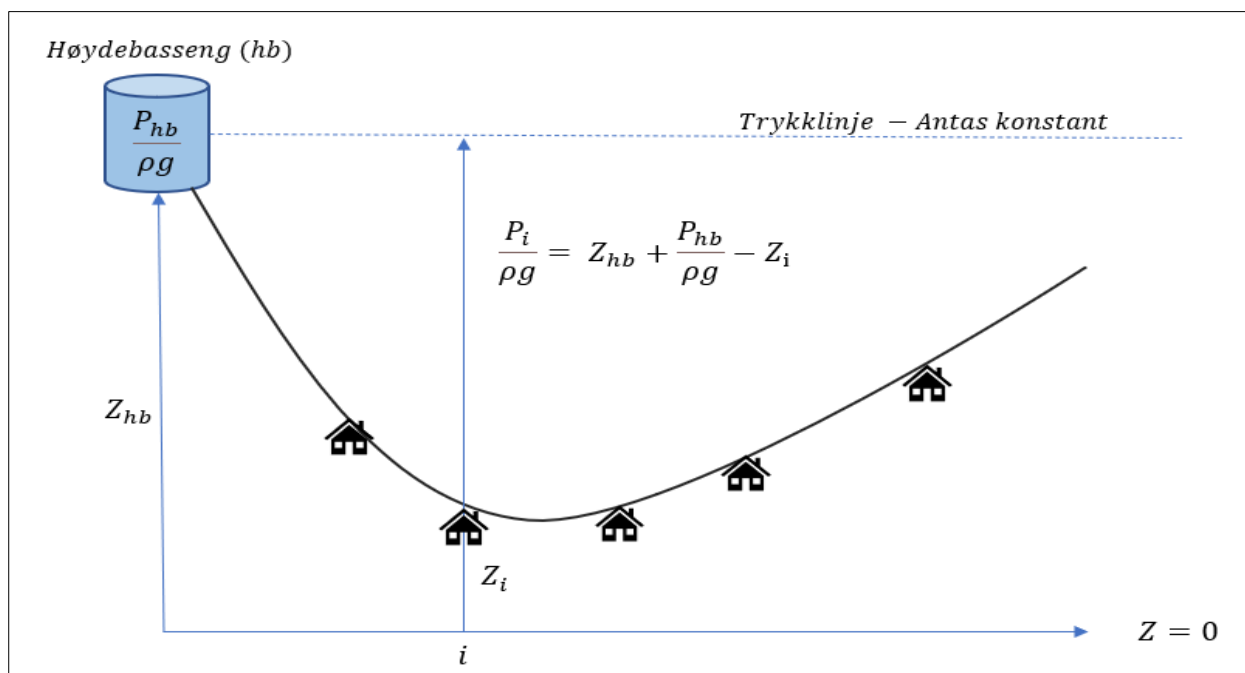
## Driftstrykk

Gjennomsnittlig driftstrykk kan enten estimeres ved bruk av kalibrerte hydrauliske modeller (som i Sverige). Metoden krever informasjon om lengder på drikkevannsledninger, ruhet, forbruk, diameter og geodetiske data (høyder på noder). Det innebærer at innføring av denne metoden vil være vanskeligere i kommuner med tanke på nødvendig kompetanse, data og relativt mange høydeforskjeller.

Imidlertid vil et godt første estimat på gjennomsnittlig driftstrykk i et nett være å beregne gjennomsnittlig statisk trykk i nettet, det vil si trykket vi får når vi ser bort fra viskøse tap. Høydebassenget eller systemet pumpe leverer et visst trykknivå og med tanke på at nettet er uten tap, vil trykklinje holder seg konstant i hele nettet. I dette tilfellet vil trykkehøyden i et punkt i nettet, være differansen mellom trykk linja og nivået til ledningen eller noden der man estimerer trykket. Det innebærer at hvis man vet hvilket trykknivå leveres av høydebassenget og hvor høyt ledningen eller punktet er, kan en med godt estimat finne trykket over hele nettet. *Figur 55* viser et eksempel på å estimere driftstrykket ved et vilkårlig punkt  $i$  i nettet. For å finne et estimat på det gjennomsnittlige driftstrykket for et spesifikt område der man for eksempel ønsker å beregne (ILI), kan man ved å se bort fra viskøse tap finne trykket slik det er vist i likning 6:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{P_i}{\rho g} \right) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( Z_{hb} + \frac{P_{hb}}{\rho g} - Z_i \right) = Z_{hb} + \frac{P_{hb}}{\rho g} - \bar{Z} \quad (6)$$

Hvor  $N$  er antall noder i området,  $\bar{Z}$  er en middelværdi for nodes høyder som inngår i estimeringen. I denne beregningen er det også antatt at tettheten til noder er representativt for ledningslengde.



Figur 55: Illustrasjon som viser estimering av driftstrykk ved en vilkårlig node i drikkevannsettet.

I ILI-formelen ser man at UARL («optimalt lekkasjenivå») er proporsjonalt med trykket og dermed blir ILI-verdien ganske følsom for trykket man bruker i beregningen. Ettersom faktisk lekkasjemengde også er avhengig av trykknivå, vil imidlertid også CARL («dagens lekkasjenivå») være trykkavhengig. Dersom vi antar at også CARL er proporsjonal med trykket (dvs. at lekkasjeeksponenten  $N_1 = 1$ ), kan ILI uttrykkes som følger

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} = \frac{(C_{n\grave{a}}) * \bar{P}_{middelverid}}{(C_{ideel}) * \bar{P}_{middelverdi}}$$

Hvor:

$$C_{ideel} = 18 * Lm + Ns (0.8 + 0.025 * Lp)$$

$C_{n\grave{a}}$  er en tilsvarende koeffisient som representerer nåtilstanden i nettet.

En kan konkludere med at trykkverdien har muligens ingen påvirkning på (ILI) verdier så lenge alle de andre tallene som inngår i beregningen er korrekte. Dette kan bevises ved å ha gode datagrunnlag for lekkasjeandel samt andre størrelser som inngår i (ILI) beregningen.

## 5.3 Diskusjon rundt kommuners data

Skjevheter kan påvirke resultatene i spørreundersøkelsen. Disse kan oppstå hvis respondenten ikke svarer på en objektiv eller nøyaktig måte. Data innsamlet i spørreundersøkelsen viser likevel at norske kommuner ikke har de nødvendige dataene for beregning av noen lekkasjeindikatorer. I samsvar med innrapportert data til Mattilsynet, mangler de fleste av norske kommunene tilstrekkelige data som kan beregne de ulike indikatorene og særlig (ILI). Implementering av det nye EU drikkevanndirektivet gjennom revisjon av norsk drikkevannsforskrift, vil medføre økning i opplysningsplikt for vannverk. Det vil pålegge norske kommuner større kostnader tilknyttet dette. Dagens rapporteringssystem til Mattilsynet er ikke egnet for større data mengder og er svært mangelfullt i noen områder. Ved å se bort fra det økonomiske aspektet, vil en digitalisering av dette systemet forbedre situasjonen og ivareta økte krav om opplysningsplikt. Dette bør inngå eventuelt nye data om stikkledninger.

Funnene i prosjektet tyder videre på at det er viktig med bedre samarbeid mellom norske kommuner og Mattilsynet som datamottaker, særlig om datainnrapportering. Mattilsynet bør sikres kapasitet og kompetanse til å oppgradere det nåværende systemet. Noen kommuner har bedre tilgang til noen data enn andre. En del kommentarer fra spørreundersøkelsen viser at dette kan være på grunn av mindre kompetanse hos dem. Norske kommuner bør være en mer attraktiv arbeidsplass for ingeniører generelt og særlig innenfor VA. Når kunnskapsnivå hos norske kommuner øker, vil det på sikt resultere et bedre funksjonelt og mer forsvarlig vannsystem. Når kommunene har gode og nødvendige data på plass, er det av stor betydning å sikre en bedre kvalitet på dem. Det innebærer at Mattilsynet bør sikre tilstrekkelig med ressurser for å jobbe med disse dataene og øke kvaliteten på dem. Vannverk rapporterer sine lekkasjetall som prosent andel av vannet som tilføres nettet. Dette gir imidlertid ikke en tilstrekkelig oversikt over lekkasjeomfanget og bør kombineres med andre metoder.

Det nye direktivet har kommet med en grense for rapportering. Dette er basert på enten vannmengden som produseres eller antall personer som blir forsynt av det. I endringsforslaget av 10.06.2022 ble det ikke spesifisert noe under dette punktet. Her bør det undersøkes hvor nyttig å omfatte alle vannverk uavhengig av deres vannproduksjonsmengder. Direktivet omfatter i tillegg nye endringer på flere områder. Det er derfor av stor betydning å gjennomføre grundige analyser og evalueringer av potensielle utfordringer med nye bestemmelser på alle områder herunder sikkerhet, økonomi, bærekraft, kompetanse eller linkende.

## 5.4 Refleksjoner rundt eget arbeid

Prosjektet har vært svært lærerikt og økt kunnskapsnivået til forfatteren på mange fagområder. Likevel er det noen punkter som kunne ha forbedret omfanget og dermed resultatene. Grunnet manglende informasjon om koordinater på vannverk, var det nødvendig å finne verdier på kommunebasis for å illustrere det på et kart. Det ville i denne sammenheng ha vært riktiger å beregne indikatorene for hver kommune i stedet for et gjennomsnitt av verdiene for vannverk som tilhører en kommune. Dette er for å unngå mulige vektingsproblemer ved gjennomsnittverdier.

Når det gjelder spørreundersøkelsen, kunne det ha vært bedre å sende den ut tidligere med bredere respondentsutvalg. Spørreundersøkelsen skulle ha vært større og spurt om flere ting som usikkerhet til datagrunnlaget. Den kunne ha blitt utformet på litt annen måte. Et eksempel på det er spørsmål 3 om vannforbruket, her kunne vært bedre å gi flere valgmuligheter ved å gi respondentene et utvalg av forhåndsdefinerte svaralternativer, eller ved å spørre om deres generelle oppfatning av vannforbruk i kommunen. Dette vil kunne gi mer nøyaktig informasjon om vannforbruket i kommunene og deres vanntapsberegninger. Det kunne ha vært lurt å spørre etter datagrunnlaget som et oppfølgingsspørsmål, men dette ville ha medført at spørreundersøkelsen være mer tidskrevende og dermed risiko for å få færre respondenter. Med mer tid til rådighet ville det ha vært nyttig å utvide informantsgruppen i den kvalitative delen med personlige intervjuer til å gjelde flere andre norske kommuner.

## 6 Konklusjon

Selv om undersøkelsen viser at det er stor usikkerhet rundt tallgrunnlaget, er det i denne oppgaven likevel gjort et forsøk på å beregne de ulike lekkasjeindikatorene ved hjelp av data innrapportert til Mattilsynet og egne estimater på ukjente inputdata. Disse beregningene viser store variasjoner mellom norske vannverk, både med deres innrapporterte lekkasjevolum og et korrigert lekkasjevolum. Til tross for usikkerhet, har resultatene gitt en indikasjon på hvilken indikator er mest fornuftig å bruke basert på dagens innrapporteringssystem.

Basert på funnene i dette prosjektet er det imidlertid ikke mulig å lage en nasjonal oversikt over lekkasjer ved bruk av infrastruktur lekkasje indeks (ILI). Fordi det er mangel på data som per i dag ligger på Mattilsynets nettsider, vil en egnet metode være bruk av tap per lengdeenhet ( $\text{m}^3/\text{km}/\text{døgn}$ ). Det er likevel behov for å forbedre datagrunnlaget som i dag foreligger. Norske kommuner har imidlertid ikke tilstrekkelig informasjon for slike beregninger. Det må derfor gjennomføres grundige analyser i hver enkeltkommune og ses nærmere på hvilke og hvordan slike data skal fremskaffes.

Implementeringen av en revidert drikkevannsforskrift kan på sikt være et effektivt tiltak for å redusere tapet av drikkevann. For at nye lekkasjekrav pålagt av EU skal bli nådd, bør vannverk i Norge på denne bakgrunn pålegges større ansvar når det gjelder hvilke og hvor gode data skal innrapporteres. Disse størrelsene er sentrale parametere i beregning av infrastruktur lekkasje indeks (ILI) og noen andre lekkasjeindikatorer. De må derfor være en del av eventuelt nytt innrapporteringssystem til Mattilsynet. Det vil uansett være nødvendig med en helhetsvurdering i forbindelse med tiltak som tenkes gjennomført. Slike vurderinger bør ta hensyn til ulike aspekter som kompetanse, datagrunnlag, økonomi, miljø, usikkerhet og bærekraft. Innføring av nødvendige og riktige tiltak vil tilfredsstille de nye lekkasjekravene samt oppnå en bærekraftig forvaltning av lekkasje problematikken i Norge.

## 7 Referanser

- Aksela, K., Aksela, M., & Vahala, R. (2008). Leakage detection in a real distribution network using a SOM. *Urban Water Journal*, 6(4), 279-289.  
<https://doi.org/doi.org/10.1080/15730620802673079>
- Alegre, H. (2016). *Performance indicators for water supply services* (3. ed.). IWA Publishing.  
<https://web.p.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzE1NzI0NTZfX0FO0?sid=4b7db005-4761-4434-bb5c-0c445b351d25@redis&vid=0&format=EB&rid=1>
- BedreVann. (2021). *Tilstandsvurdering av kommunale vann- og avløpstjenester*. NorskVann Retrieved from <https://bedrevann.no/pdf/bedreVANN2021.pdf>
- Benjaminsen, R. L. T. (2016, Oktober 7). Gravde opp nesten 200 år gamle rør. *ITromsø*, 4.  
<https://www.itromso.no/nyheter/i/m1AAqv/gravde-opp-nesten-200-ar-gamle-ror>
- Bosnjakovic, M. (2017). *Lekkasjereduksjon på vandistribusjonsnett - Strategi for Oslo kommune* [Masteroppgave - Fakultet for realfag og teknologi, NMBU]. Brage NMBU.  
<http://hdl.handle.net/11250/2464225>
- Breen, T., & Furuberg, K. (2022). *Høringsuttalelse til forslag om endring av forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)*. (509.199/KF/2022/67). NorskVann
- Bui, X. K., Marlim, M. S., & Kang, D. (2021). Optimal Design of District Metered Areas in a Water Distribution Network Using Coupled Self-Organizing Map and Community Structure Algorithm. *Water*, 13(6), 836-862. <https://doi.org/ARTN 83610.3390/w13060836>
- Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift)* (FOR-2017-06-19-840).  
[https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840/KAPITTEL\\_15#KAPITTEL\\_15](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840/KAPITTEL_15#KAPITTEL_15)
- C. Lenzi, C. B., A. Bolognesi, M. Fortini. (2022). Infrastructure leakage index assessment in large water systems. *Procedia Engineering*, 70(2014), 1017-1026.
- Campbell, R. S. J. T. R. (2017). *Applying Advanced Leakage Control and Pressure Management*  
<https://ca-nv-awwa.org/canv/downloads/2017/33SturmCampbellThornton.pdf>
- Cassa, A. M., & van Zyl, J. E. (2014). Predicting the Leakage Exponents of Elastically Deforming Cracks in Pipes. *Procedia Engineering*, 70(n/a), 302-310.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.034>
- Chan, T. K., Chin, C. S., & Zhong, X. (2018). Review of Current Technologies and Proposed Intelligent Methodologies for Water Distributed Network Leakage Detection. *Ieee Access*, 6(n/a), 78846-78867. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2885444>
- Chatzigeorgiou, D., Youcef-Toumi, K., & Ben-Mansour, R. (2014). Design of a Novel In-Pipe Reliable Leak Detector. *Ieee-Asme Transactions on Mechatronics*, 20(2), 824-833.  
<https://doi.org/10.1109/Tmech.2014.2308145>
- Directive (EU) 2020/2184. (2020). *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption* European Union Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
- Drammen kommune. (2022). *Høringssvar til revisjon av Drikkevanforskriften* (22/19183-2). Drikkevannsforskriften. (2016). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)* (FOR-2016-12-22-1868). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>
- El-Zahab, S., & Zayed, T. (2019). Leak detection in water distribution networks: an introductory overview. *Smart Water*, 4(1), 1-23.  
<https://smartwaterjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40713-019-0017-x#Fig11>
- EPA. (2013). *WATER AUDITS AND WATER LOSS CONTROL FOR PUBLIC WATER SYSTEMS* (816-F-13-002 ). U. S. E. P. Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf>

- EurEau. (2017). *Europe's water in figures An overview of the European drinking water and waste water sectors* (978-2-9602226-0-9). <https://www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file>
- EurEau. (2021). *Drinking Water Supply and Leakage Management* <https://www.eureau.org/resources/briefing-notes/5735-eureau-briefing-note-on-drinking-water-supply-and-leakage-management/file>
- Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in water distribution networks* (1. ed.). IWA publishing.
- Ferrari, G., Savic, D., & Becciu, G. (2014). A GRAPH THEORETIC APPROACH AND SOUND ENGINEERING PRINCIPLES FOR DESIGN OF DISTRICT METERED AREAS *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(12), 1943-1989. <https://re.public.polimi.it/bitstream/11311/763721/3/%2528asce%2529wr%252E1943-5452%252E0000424.pdf>
- Flatin, A. (2009). *Erfaringer med lekkasjekontroll*. (171 - 2009). NorskVann Retrieved from [https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/rapport171\\_2009.pdf](https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/rapport171_2009.pdf)
- FN-sambandet. (2017). *Rent vann og gode sanitærforhold*. Retrieved 23 Januar 2023 from <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/rent-vann-og-gode-sanitaerforhold>
- FN-sambandet. (2022, 3. februar 2023). *Rent vann og gode sanitærforhold*. FN-sambande. Retrieved Februar 22 from <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/rent-vann-og-gode-sanitaerforhold>
- Folkehelseinstituttet. (2022a). *Om stoffer i drikkevann*. FHI. Retrieved 1 Februar 2023 from <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/>
- Folkehelseinstituttet. (2022c). *Vannverksregisteret (VREG)*. Retrieved 27 Januar 2023 from <https://www.fhi.no/ml/drikkevann/ovrige-artikler/om-vannverksregisteret-vreg/>
- Folkehelseinstituttet. (2022d). *Innspill fra Folkehelseinstituttet: Svar på høring om revidert Drikkevannsforskrift*. FHI
- Gjerland, L. (2021, Oktober 10). Oslo før: Vann må vi ha! Byens vannforsyning har alltid vært sårbar. *Aftenposten*. <https://www.aftenposten.no/oslo/i/a74R0M/oslo-foer-vann-maa-vi-ha-byens-vannforsyning-har-alltid-vaert-saarbar>
- Haugård, T. M. J. (2021). *Beregning av kostnad for vannleveranse i sammenheng med trykkreduksjon – En økonomisk casestudie av vannforsyningsystemet til Nordbergsonen, Oslo kommune* [Masteroppgave - Fakultet for realfag og teknologi, NMBU]. Brage NMBU. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2774615>
- Hays, K. (2016, September 22). *Europe to Increase Water Infrastructure Spend 23% by 2025 for \$526 Billion Total CAPEX*. Retrieved 12 Februar 2023 from <https://www.bluefieldresearch.com/europe-increase-water-infrastructure-spend-23-2025-526-billion-total-capex/>
- Heldahl, H. Ø., & Pettersen, B. M. (2019, Oktober 31). Sykt godt drikkevann. 32. <https://www.nrk.no/nordland/xl/norsk-vann-renner-gjennom-eldgamle-ror-og-gior-oss-syke-oftere-enn-vi-tror-1.14757385>
- Hyllestad, S. (2020). *Drinking water and public health: Prevention, detection and response to waterborne outbreaks in Norway* [Doktoravhandling - Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet, UIO]. DUO vitenarkiv. <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/89025/1/PhD-Hyllestad-2021.pdf>
- Irish Water. (2021). *Sustainable Economic Level of Leakage Report*. Retrieved from [https://www.water.ie/projects/strategic-plans/national-water-resources/NWRP\\_FP-Appendix-H\\_SELL-Report-Final-.pdf](https://www.water.ie/projects/strategic-plans/national-water-resources/NWRP_FP-Appendix-H_SELL-Report-Final-.pdf)
- Khulief, Y. A., Khalifa, A., Ben Mansour, R., & Habib, M. A. (2012). Acoustic Detection of Leaks in Water Pipelines Using Measurements inside Pipe. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 3(2), 47-54. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)Ps.1949-1204.0000089](https://doi.org/10.1061/(ASCE)Ps.1949-1204.0000089)

- Kumar, N. M., Chopra, S. S., de Oliveira, A. K. V., Ahmed, H., Vaezi, S., Madukanya, U. E., & Castañón, J. M. (2020). Solar PV module technologies. In *Photovoltaic Solar Energy Conversion* (pp. 51-78). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012819610600003X>
- Kunkel, G. (2005). Developments in Water Loss Control Policy and Regulation in the United States. Proc. of the leakage 2005 Conference,
- Lambert, A., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 48(6), 227-237. <https://doi.org/doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>
- Lambert, A., & McKenzie, R. (2002). Practical experience in using the Infrastructure Leakage Index. Proceedings of IWA Conference—Leakage Management: A Practical Approach. Lemesos, Cyprus,
- Lambert, A. O. (2002). International report: water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1-20. <https://iwaponline.com/ws/article-abstract/2/4/1/25630/International-Report-Water-losses-management-and>
- Leakssuite Library. (2020, 26 Juni 2020 ). *IWA Best Practice Water Balance*. IWA. <https://www.leakssuitelibrary.com/iwa-water-balance/>
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., McKenzie, R., Rizzo, A., & Waldron, T. (2007). *Water loss performance indicators* Proceedings of IWA Specialised Conference Water Loss 23th-26th September, Malta.
- Lindholt, T. (1983). *Vannverkregisteret - en databank for norske vannverk* (Vannverkregisteret Issue. [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1983\\_31860.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1983_31860.pdf)
- Malm, A., Svensson, G., & Røstum, J. (2018). *Beregning av bærekraftig lekkasjenivå*. (239/2018). NorskVann
- Mashhadi, N., Shahrour, I., Attoue, N., El Khattabi, J., & Aljer, A. (2021). Use of Machine Learning for Leak Detection and Localization in Water Distribution Systems. *Smart Cities*, 4(4), 1293-1315. <https://doi.org/10.3390/smartcities4040069>
- Mattilsynet. (2014). *Nasjonal mål - vann og helse*. [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/nasjonale\\_maal\\_vann\\_og\\_helse/norges\\_maal\\_for\\_vann\\_og\\_helse.36772/binary/Norges%20m%C3%A5l%20for%20vann%20og%20helse](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/nasjonale_maal_vann_og_helse/norges_maal_for_vann_og_helse.36772/binary/Norges%20m%C3%A5l%20for%20vann%20og%20helse)
- Mattilsynet. (2021, 22. mars 2022). *Vannforsyningssystemer til lands*. Mattilsynet. Retrieved 21. mars 2023 from [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/opplysninger\\_om\\_vannforsyningssystemer/vannforsyningssystemer\\_til\\_lands.36094](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/opplysninger_om_vannforsyningssystemer/vannforsyningssystemer_til_lands.36094)
- Mattilsynet. (2021b). *Veileder til drikkevannsforskriften*. [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/veileder\\_til\\_drikkevannsforskriften.26628/binary/Veileder%20til%20drikkevannsforskriften](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/veileder_til_drikkevannsforskriften.26628/binary/Veileder%20til%20drikkevannsforskriften)
- Mattilsynet. (2022a). *Forslag til revidering av forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften)* (2022/115419). (Høringsbrev, Issue. Mattilsynet. [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/beredskap\\_for\\_drikkevann/horingsnotat\\_til\\_forskrift\\_om\\_endringer\\_i\\_drikkevannsforskriften.47145/binary/H%C3%B8ringsnotat%20til%20forskrift%20om%20endringer%20i%20drikkevannsforskriften](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/beredskap_for_drikkevann/horingsnotat_til_forskrift_om_endringer_i_drikkevannsforskriften.47145/binary/H%C3%B8ringsnotat%20til%20forskrift%20om%20endringer%20i%20drikkevannsforskriften)
- Mattilsynet. (2022b). *Utkast til forskrift om endringer i drikkevannsforskriften* (2022/115419). Mattilsynet. [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/beredskap\\_for\\_drikkevann/utkast\\_til\\_forskrift\\_om\\_endringer\\_i\\_drikkevannsforskriften.47144/binary/Utkast%20til%20forskrift%20om%20endringer%20i%20drikkevannsforskriften](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/beredskap_for_drikkevann/utkast_til_forskrift_om_endringer_i_drikkevannsforskriften.47144/binary/Utkast%20til%20forskrift%20om%20endringer%20i%20drikkevannsforskriften)
- McKenzie, R., & Lambert, A. (2008). Benchmarking of Water Losses in New Zealand Manua. In: Water and Wastes Association, New Zealand.



- Næs, K. (2017). *Lekkasjereduksjon på vandrdistribusjonsnett - Strategi for Nedre Eiker kommune* [Masteroppgave - Fakultet for realfag og teknologi, NMBU]. Brage - NMBU. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2500112/KarolineNaesMaster.pdf?sequence=1>
- Nguyen, T. H. D. (2020). *Analyse av lekkasjereduksjon ved trykkstyring* [Masteroppgave - Fakultet for realfag og teknologi, NMBU]. Brage NMBU.
- Nordheim, T. M. L. o. M. S. (2021). *Rapportering av data for vannforsyningsystemer i Norge for 2021* (978-82-8406-340-9). <https://www.fhi.no/contentassets/65605902f0af430db208047fa26cbb49/rapportering-av-data-for-vannforsyningsystemer-i-norge-for-2021.pdf>
- Norli, B. S. (2020). *Lekkasjeberegning med målt vannforbruk i en ledningsnettmodell* [Masteroppgaven - Fakultet for realfag og teknologi, NMBU]. Brage NMBU. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2683447>
- NorskVann. (2022, 21. juni 2022). *Status på kommunal vannforsyning –KOSTRA-tall for 2021*. Retrieved Februar 21 from <https://norsk vann.no/status-pa-kommunal-vannforsyning-kostra-tall-for-2021/>
- Ødegård, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2. ed.). NorskVann.
- OECD. (2017). *Finland*. <https://www.oecd.org/environment/resources/financing-water-supply-sanitation-and-flood-protection-country-fact-sheet-finland.pdf>
- Olsbye, H. (2019). *Lekkasjedeteksjon med inlinemetoder* [Masteroppgave - Fakultet for realfag og teknologi, NMBU]. Brage - NMBU. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2609952/Olsbye2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reetaj Technologies. (2008). *Leak Locatization* [Data loggers and Leak detection]. <https://www.reetajtec.com/leak-localization.html>
- Statistisk sentralbyrå. (2021a). *Kommunal vannforsyning*. Retrieved April 11 from <https://www.ssb.no/statbank/table/13143/>
- Statistisk sentralbyrå. (2021b). *Nå bor over 1 million nordmenn alene*. Retrieved April 5 from <https://www.ssb.no/befolkning/barn-familier-og-husholdninger/statistikk/familier-og-husholdninger/artikler/na-bor-over-1-million-nordmenn-alene>
- Statistisk sentralbyrå. (2022a). *Kommunal vannforsyning*. Retrieved Mars 14 from <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunal-vannforsyning>
- Statistisk sentralbyrå. (2022b). *0,7 prosent av ledningsnettene ble fornyet i fjor*. Statistisk sentralbyrå Retrieved Februar 16 from <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunal-vannforsyning/artikler/0-7-prosent-av-ledningsnettene-ble-fornyet-i-fjor>
- Statistisk sentralbyrå. (2023). *Befolkning*. Befolkning. Retrieved Mars 17 from <https://www.ssb.no/statbank/table/07459/tableViewLayout1/>
- Steinberg, M. (2022b, 20. mai 2022). *Drikkevann*. FHI. Retrieved Februar 2 from <https://www.fhi.no/nettpub/hin/smitte/drikkevann/>
- Steinberg, M., Nordheim, C. F., Lyngstad, T. M., & Janak, K. (2020). *Rapportering av data for vannforsyningsystemer i Norge for 2019*. (978-82-8406-050-7). Retrieved from <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2020/rapport-om-vannforsyning-2019/vannverksrapport-for-2019.pdf>
- Subsurface leak detection Inc. (2016). *Understanding Acoustic Leak Detection* [Water leakage detection]. [https://www.subsurfaceleak.com/find\\_leaks.html](https://www.subsurfaceleak.com/find_leaks.html)
- Taylor, R. (2010). What is the Infrastructure Leakage Index (ILI) and how did Waitakere City Council manage to Achieve an ILI of 1.0. *Waitakere City Council*, 1-9. <https://www.thesustainabilitysociety.org.nz/conference/2008/papers/Taylor.R.pdf>
- Thornton, J., & Lambert, A. (2005). *Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships* Proceedings of IWA Special Conference'Leakage, England. <https://www.miya->



[water.com/fotos/artigos/10\\_progress\\_in\\_practical\\_prediction\\_of\\_pressure\\_leakage\\_pressure\\_burst\\_frequency\\_and\\_pressure\\_consumption\\_relationships\\_16541036425a328d4c63c6c.pdf](https://www.water.com/fotos/artigos/10_progress_in_practical_prediction_of_pressure_leakage_pressure_burst_frequency_and_pressure_consumption_relationships_16541036425a328d4c63c6c.pdf)

- Universitetet i Oslo. (2021, 22. mars 2021 ). *Hva er Nettskjema*. UIO. Retrieved Mars10 from <https://www.uio.no/tjenester/it/adm-app/nettskjema/mer-om/>
- VA-ledelse. (2023). *VA-benchmarking (VABM, BedreVann, utvidet analyse)*. Retrieved Februar 16 from [http://va-ledelse.no/portfolio/tjenester/details\\_single/innforing-av-resultatorientert-renovasjon](http://va-ledelse.no/portfolio/tjenester/details_single/innforing-av-resultatorientert-renovasjon)
- Veierød, V. (2017). *Eierskap til stikkledninger*. (224/2017). NorskVann Retrieved from <https://va-kompetanse.no/butikk/a-224-eierskap-til-stikkledninger/>
- Vilanova, M. R. N., Magalhães Filho, P., & Balestieri, J. A. P. (2015). Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. *Renewable and sustainable energy reviews*, 43, 1-12.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009745?via%3Dihub>
- Winarni, W. (2009). Infrastructure leakage index (ILI) as water losses indicator. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), 126-134.  
<http://203.189.120.189/ejournal/index.php/civ/article/viewFile/17230/17771>
- Zhou, S. J., O'Neill, Z., & O'Neill, C. (2018). A review of leakage detection methods for district heating networks. *Applied Thermal Engineering*, 137(5), 567-574.  
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.010>





# Vedlegg A

Kart med beregnede indikatorverdier på kommunenivå

*Kart som viser verdier er på (ILI), ( $m^3/km/døgn$ ) og ( $m^3/stikkledning/døgn$ ), både med innrapporterte lekkasjetall og beregnet korrigert lekkasje basert på et spesifikt vannforbruk på 180 l/pe/døgn:*

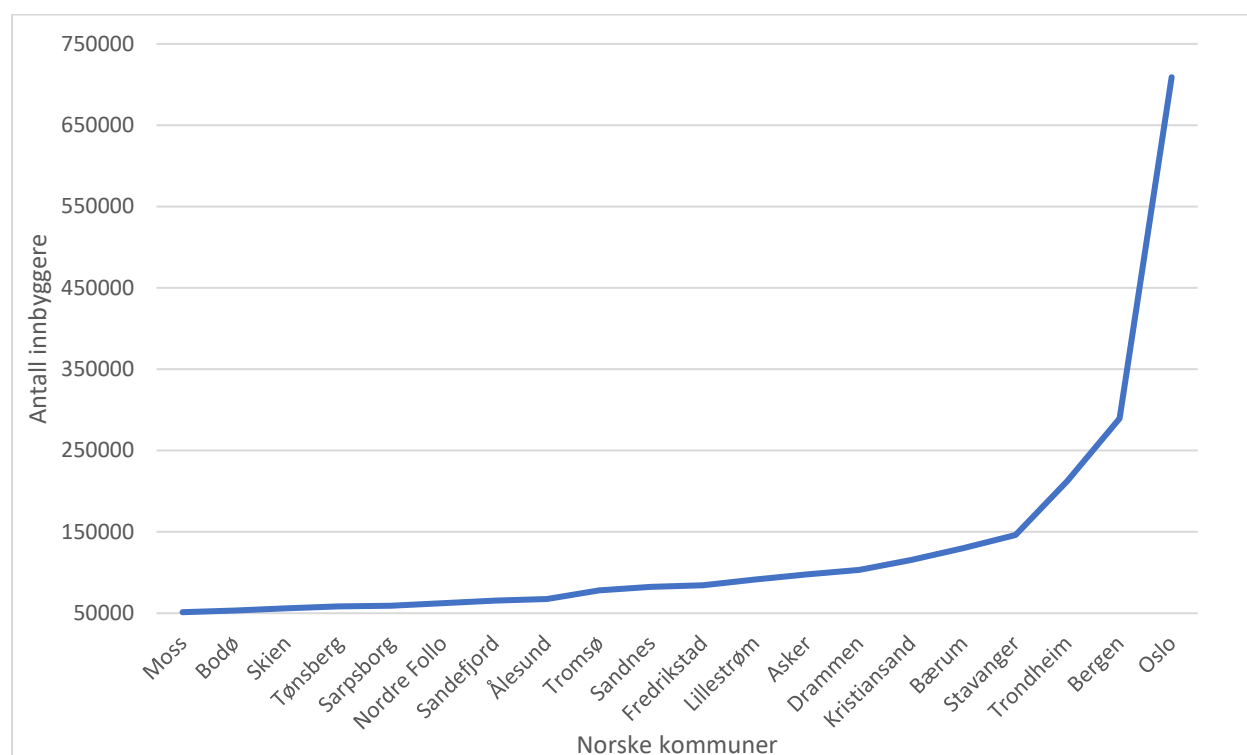
<https://nmbukart.maps.arcgis.com/apps/instant/basic/index.html?appid=37349fa2f7bd49c58df8ad025c045507>



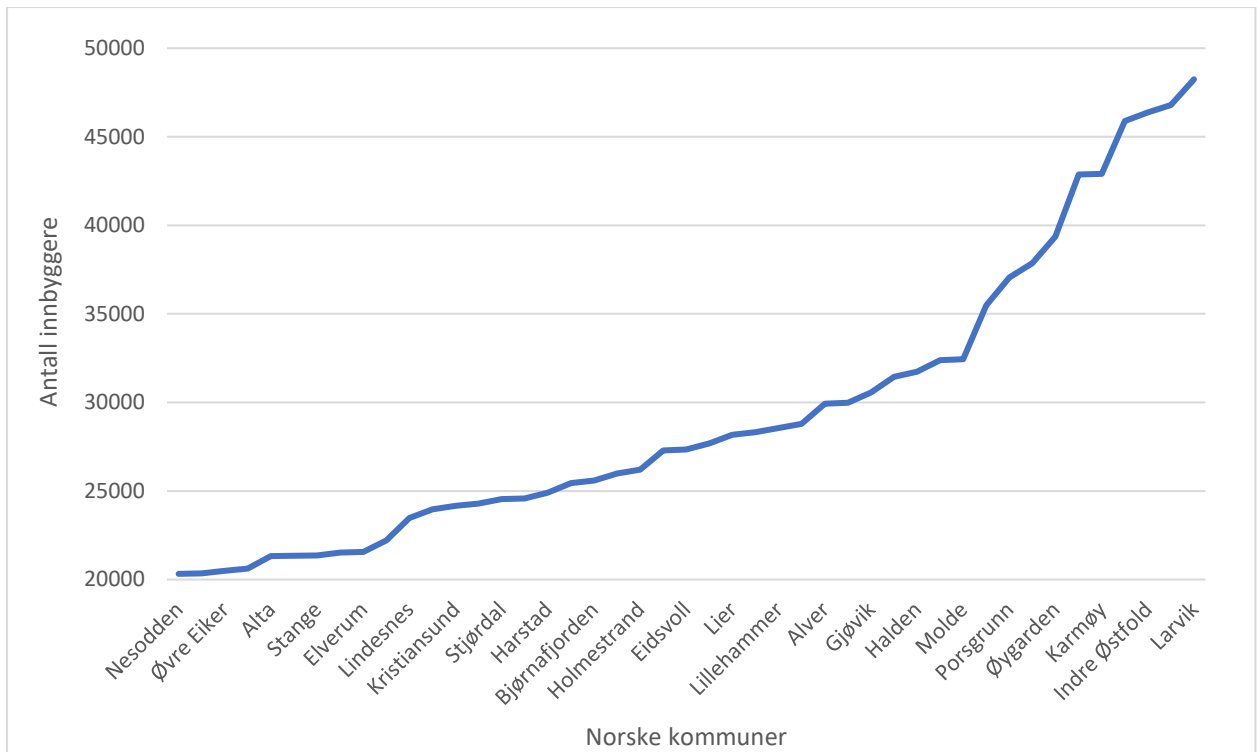
# Vedlegg B

## Utvalgte figurer

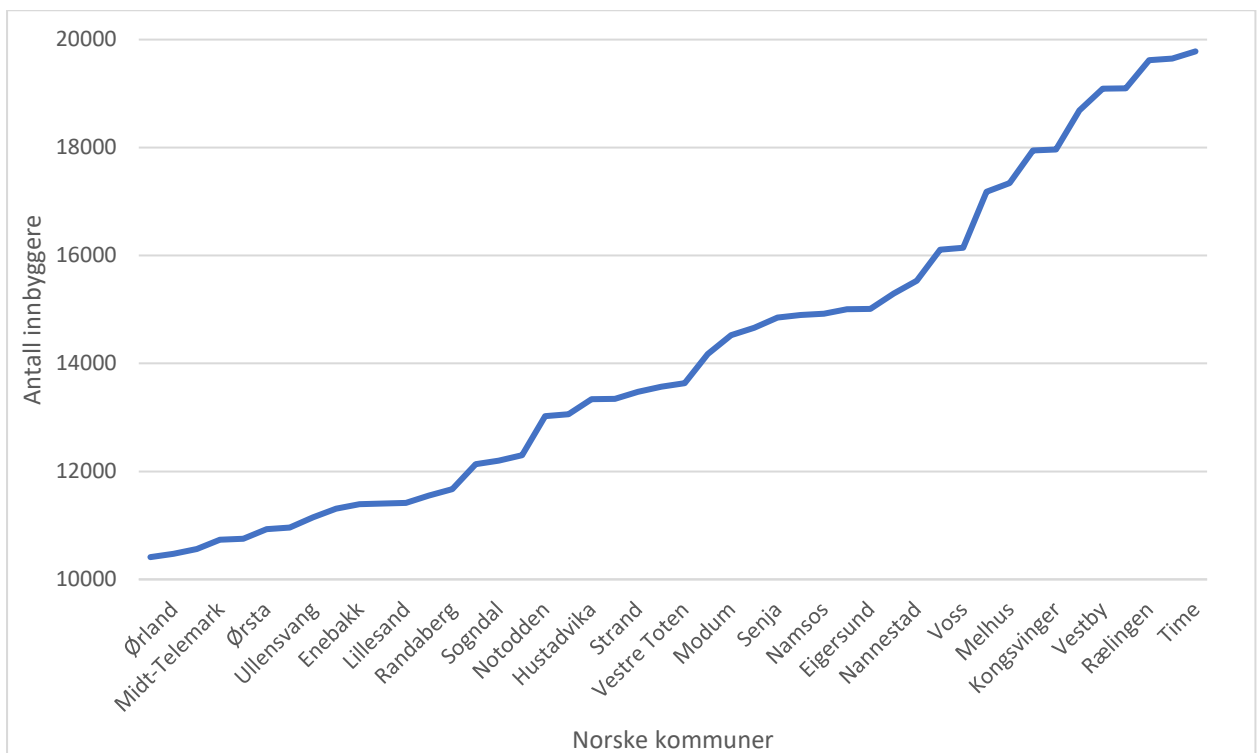
Følgende figurer (56 - 59) viser antall innbyggere i norske kommuner fordelt på kategorier med utgangspunkt i kategoriene som omhandlet størrelse fra spørreundersøkelsen (10 tusen eller færre, 10 - 20 tusen, 20 - 50 tusen og 50 tusen eller flere):



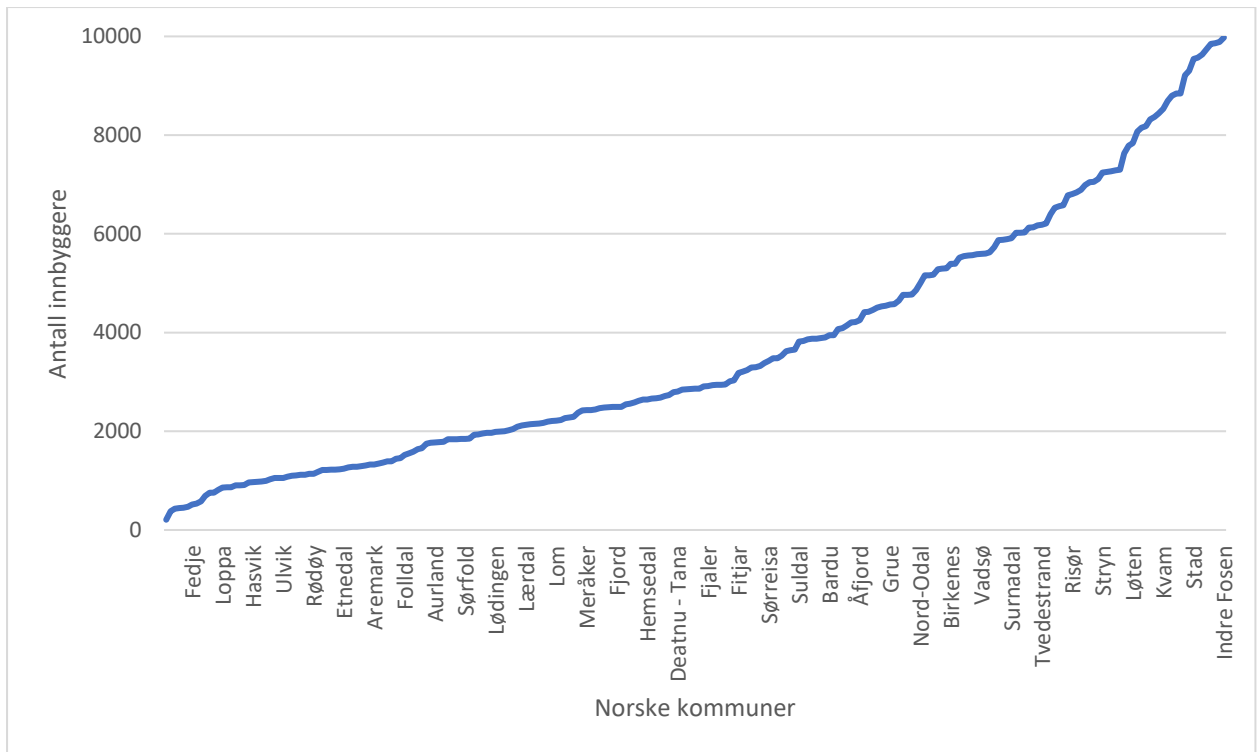
Figur 56: Kommuner med antall innbyggere på 50 tusen eller flere (Statistisk sentralbyrå, 2023).



Figur 57: Kommuner med antall innbyggere mellom 20 og 50 tusen (Statistisk sentralbyrå, 2023).



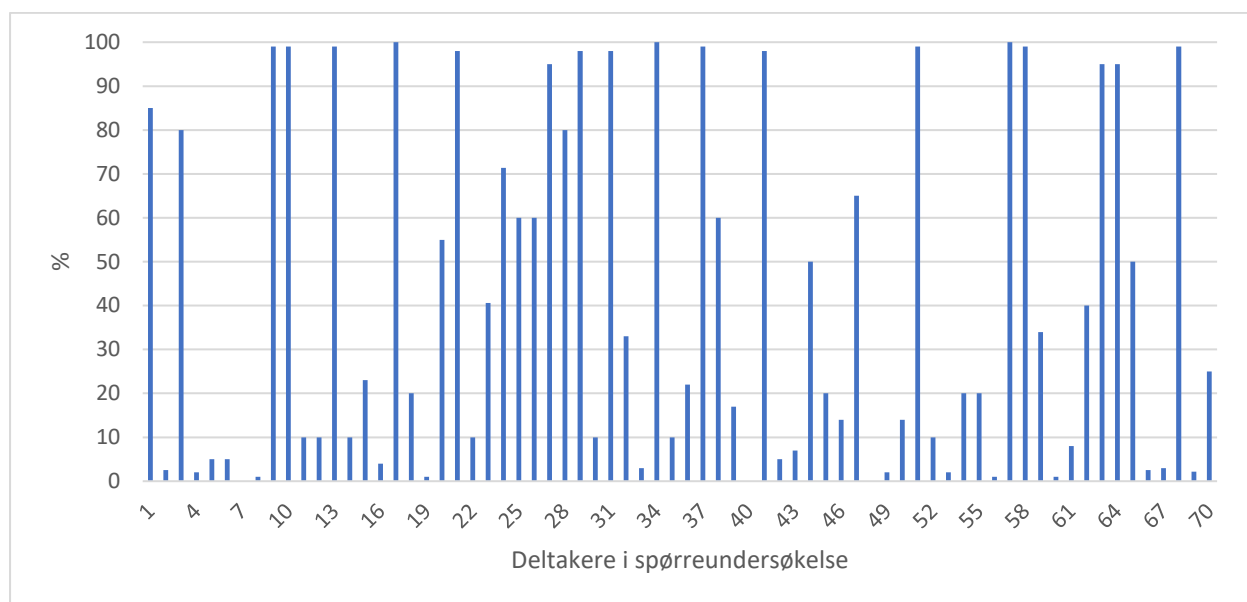
Figur 58: Kommuner med antall innbyggere mellom 10 og 20 tusen (Statistisk sentralbyrå, 2023).



Figur 59: Kommuner med antall innbyggere på 10 tusen eller færre (Statistisk sentralbyrå, 2023)

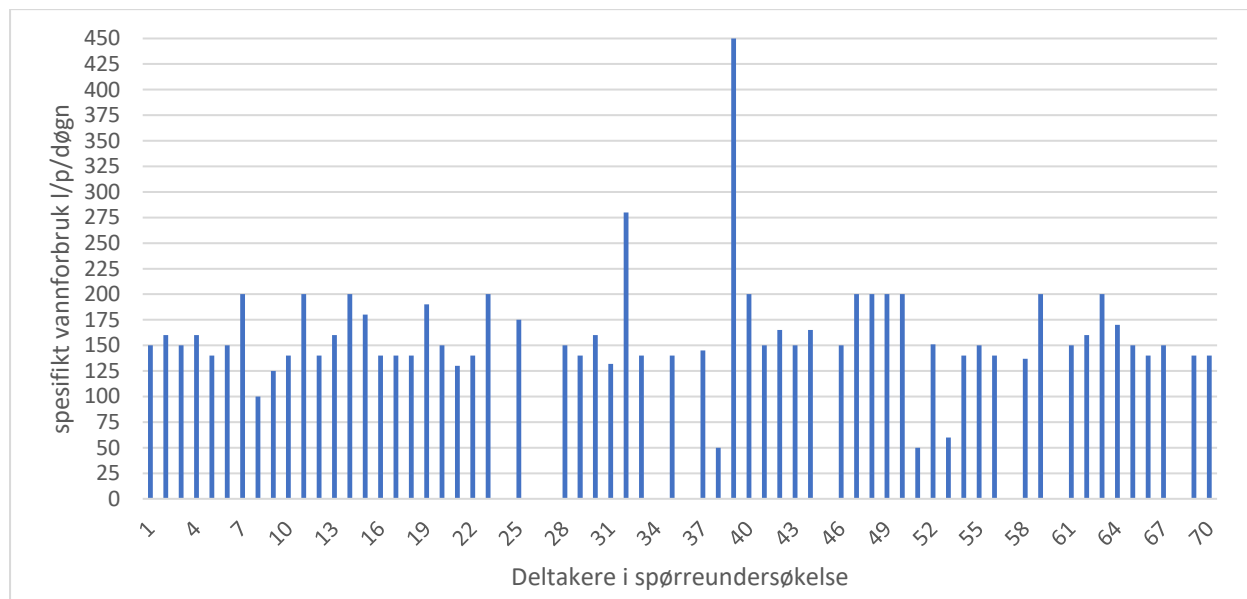
Noen flere figurer fra spørreundersøkelsen sortert i samme rekkefølge som de ble mottatt (1-70):

Spørsmål 2 om vannmålerdekning:



Figur 60: Vannmålerdekning basert på respondenters svar i spørreundersøkelsen-spørsmål 2 i spørreundersøkelsen fra 1 til 70.

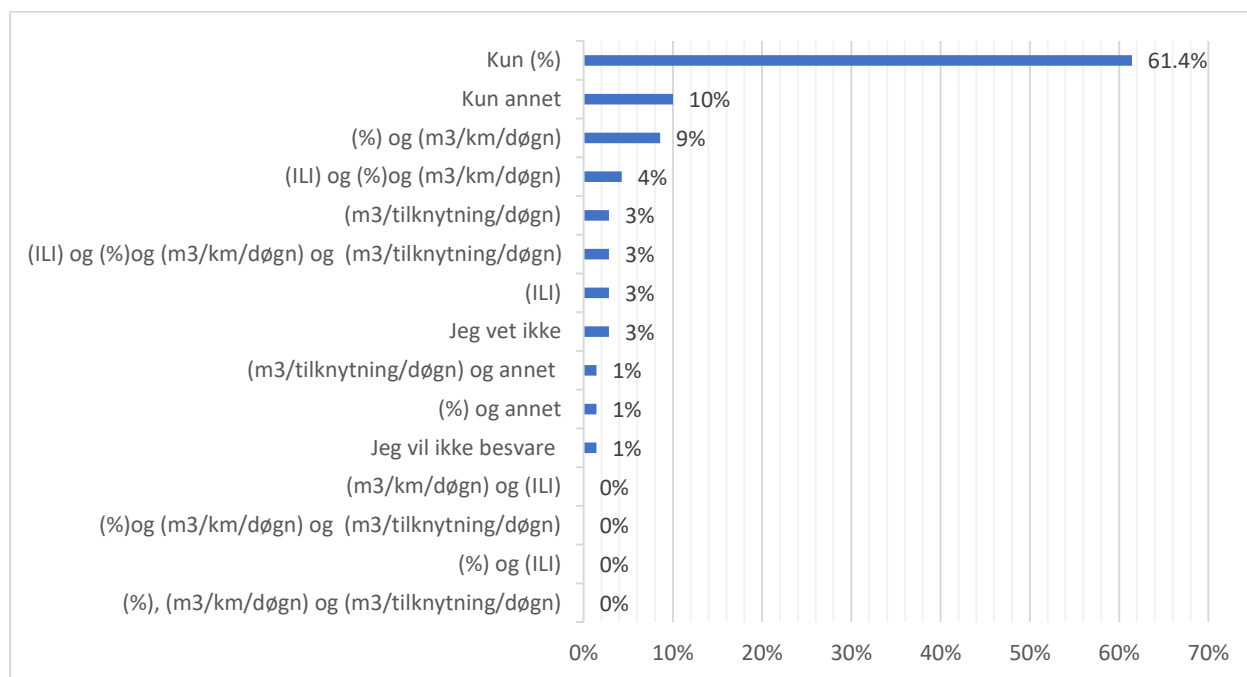
Spørsmål 3 om vannforbruk som kommunene legger til grunn i sine vanntapsberegninger:



Figur 61: Oversikt over spesifikt vannforbruk som er lagt til grunn i vanntapsberegninger som respondenter benytter og som besvarte i spørsmål 3.

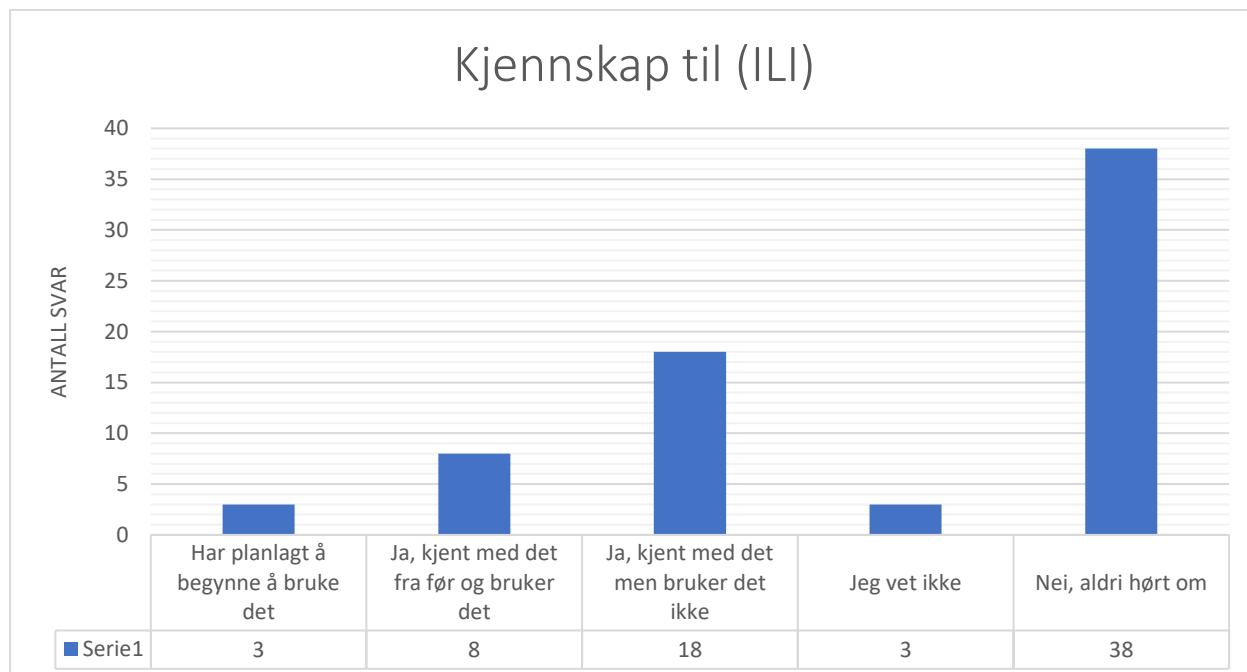


Spørsmål 4 om mål for lekkasjeomfang som kommunene for å følge med på utviklingen i lekkasjeomfanget:



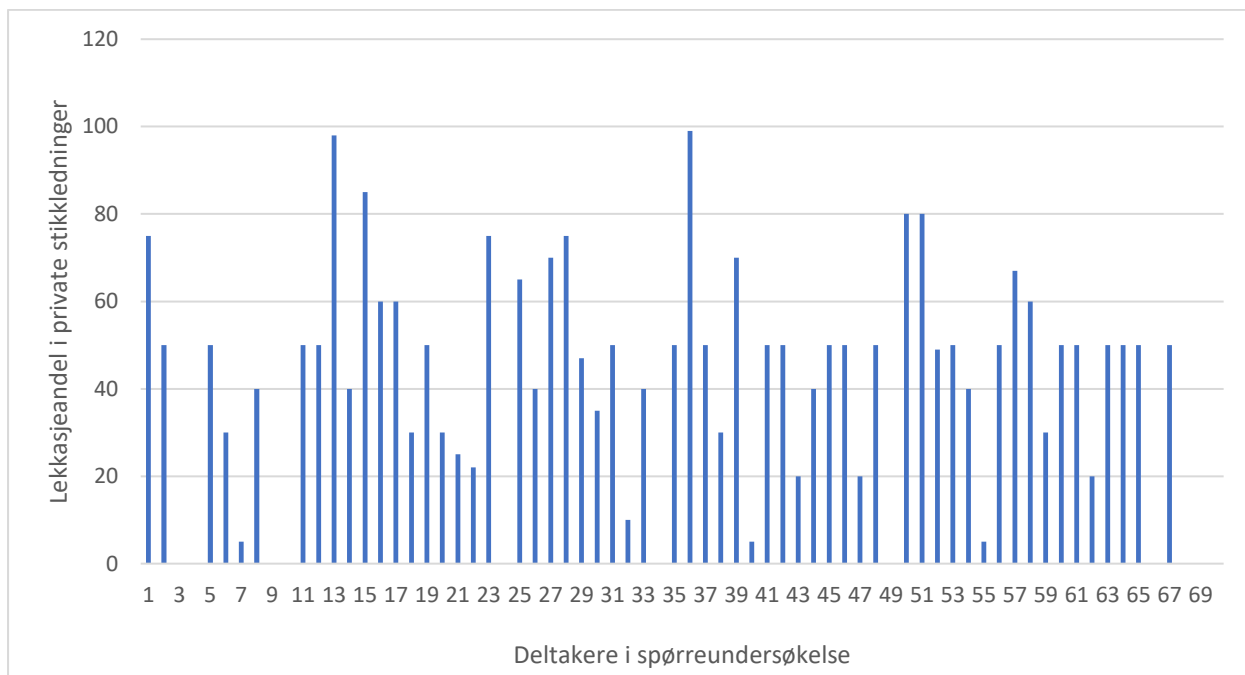
Figur 62: Oversikt over prosentandel for hver av lekkasjemålene basert på svar i spørreundersøkelsen.

Spørsmål 5 om kjennskap til ILI som mål for lekkasjeomfang:



Figur 63: Antall svar for hvert lekkasjemål som ble mottatt i forbindelse med spørsmål om kjennskap til (ILI) i spørreundersøkelsen.

Spørsmål 7 om andel tapt vann som skyldes private ledninger:



Figur 64: Respondenters estimat på andel lekkasje som skyldes privat infrastruktur.





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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway