



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2017 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi  
Professor II, Lars John Hem

# **Lekkasjereduksjon på vanddistribusjonsnett**

## **- Strategi for Nedre Eiker kommune**

Leakage strategy in water distribution

- Strategy for Nedre Eiker municipality

**Karoline Næs**

Vann- og miljøteknikk  
Fakultet for realfag og teknologi



# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige Universitet (NMBU), ved Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK), under programmet Vann- og miljøteknikk med fordypning VA og vegteknologi. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, og er skrevet høsten 2017.

Temaet i oppgaven er lekkasjereduksjon i vanndistribusjonsnett. Dette er et tema som har gitt meg interesse, ved å innse hvor store utfordringene er nasjonalt og internasjonalt. Da jeg begynte på oppgaven hadde jeg noe kunnskap om temaet, men ikke på langt nær nok. Det har blitt mye lesing, noe frustrasjon, men mest av alt har det vært lærerikt å arbeide med oppgaven.

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Godt vann Drammensregionen og Nedre Eiker kommune, med professor Lars Hem som hovedveileder fra NMBU, REALTEK og René Astad Dupont som biveileder fra GVD. Jeg vil rette en stor takk til disse to for veiledning og tilbakemeldinger. Jeg vil spesielt takke René Astad Dupont for alt av materiell, tilgang til analyser og målinger gjort av GVD. I tillegg vil jeg takke Terje Larsson fra Nedre Eiker kommune med god informasjon om kommunen og gode svar på alle spørsmål jeg har kommet med.

Avslutningsvis ønsker jeg å takke familien og kjæresten min for hjelp og støtte.

Ås, 15. Desember 2017

---

Karoline Næs



# Sammendrag

Lekkasjer er et problem verden over, Norge kan anses som en værsting på verdensbasis når det kommer til mengden vann som lekker ut i grunnen. Her til lands er det god tilgang på vann og relativt rent vann som krever lite rensing. Dette er ikke en selvfølge verden over og derfor har det blitt større fokus på lekkasjereduksjon.

Denne oppgaven tar for seg årsaker til lekkasjer og hvordan det kan jobbes med fokus på optimal lekkasjereduksjon. Videre brukes tiltakene til å se på Nedre Eiker kommune, hvordan lekkasjereduksjon foregår der og hvordan det kan gjøres bedre.

Nedre Eiker kommune er med på et interkommunalt samarbeid som heter Godt Vann Drammensregionen. Underlagt dette samarbeidet er det en fokusgruppe som arbeider med lekkasjereduksjon med hovedplan 2010-2021, der mål og strategi er definert for samarbeidet. For at dette skal bli en suksess, kreves det at samarbeidskommunene arbeider på egenhånd i tillegg.

Siste del av oppgaven blir fremstilt som en case for Nedre Eiker kommune. Der presenteres informasjon om kommunen, hva som har blitt gjort og hvordan situasjonen er i forhold til lekkasjereduksjon per 2017. Ved bruk av teorien rundt lekkasjereduksjon og den tekniske gjennomgangen, som viser hvordan tiltakene kan brukes, utredes en strategi for Nedre Eiker kommune.

Strategien som blir utviklet tar utgangspunkt i IAM's metode med strategisk, taktisk og operasjonelt plan.

Resultatet av strategien er at Nedre Eiker kommune burde utarbeide en egen strategi, og mål for kommunen. Man bør ta utgangspunkt i målene som er utviklet i gjennom samarbeidet i GVD. De kortsiktige tiltakene som er fremstilt i denne oppgaven burde implementeres, som et grunnlag å jobbe ut ifra. Tiltakene er:

- Bedre soneinndeling
  - Med mulig implementering av trykksoner
- Optimalisere dataregistrering i analyseverktøyet GIS for å kunne kvalifisere strategien

- Klassifisere ledningsnettet i kommunen, for å kunne jobbe strategisk med rehabilitering
- Utarbeide økonomisk lekkasjenivå for kommunen
- Ha strengere krav til reparasjoner av private stikkledninger.

# Abstract

Leaking water is a huge problem in the world. Compared in the world, Norway may be seen as one of the top countries with high level of leakage. In Norway, there is good coverage in water resources and it is relatively clean as it is. The amount of water resource is not common throughout the world. Therefore, it has become higher focus on leakage reduction the past decades.

This thesis will focus on the causes of the leakages and how to reduce leakages. As a result of the thesis, the theory of leakage reduction will be implemented in Nedre Eiker municipality, to produce a strategy.

Nedre Eiker municipality is in an inter-municipal cooperation called *Godt Vann Drammensregionen*. In this cooperation, there is a task force working on leakage reduction with a main plan from 2010 to 2021 as a guidance with goals and strategies for all the municipalities. But if these goals are going to be achieved, all the municipalities need to work for leakage reduction on their own as well.

The last part of the thesis will be presented as a case for Nedre Eiker municipality. It begins with a presentation of the municipality of what has been done and how the situation is, in relative to leakage reduction per 2017. With the knowledge from the theory and implementation of leakage reduction techniques, a strategy will be formed for Nedre Eiker municipality.

The strategy builds up on IAM's method with strategic, tactical and operative levels.

The result of the strategy for Nedre Eiker municipality is that they are in need of implementing their own strategy and goals for better results in leakage reduction. But, the implementation should take base in GVD's work. The short-term measures that is shown in the result should be a good start for the implementation. They are:

- Better zone network
  - With implementation of pressure management
- Optimize the data registrations in GIS to qualify the strategy

- Classify the network in order to be able to work strategically with rehabilitation
- Calculate the economical leakage level
- Have more strict requirements of time to repair private leakages.



## Ordliste

AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMR	The Automatic Meter Reading
CARL	Current Annual Real Losses
DIMS	Analyseverktøy koblet opp mot vannmålere (Data integration and business processes)
ELL	Økonomisk lekkasjenivå (Economic leakage level)
EU	European Union
GIS	Geografiske informasjonssystemer
GPR	Groud Penetrating Radar
GUP	Glassfiberarmert umettet polyester
GVD	Godt Vann Drammensregionen
IAM	Infrastructure asset management
ILI	Infrastructure Leakage Index
IWA	International Waterworks Association
MIT	Massachusetts Institute of Technology
mVs	Meter vannsøyle
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige Universitet
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PE	Polyetylen
PI	Ytelsesindikator (Performance Indicator)
PVC	Polyvinylklorid
UARL	Unavoidable Annual Real Losses
VA	Vann og avløp

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	III
Abstract .....	V
Ordliste.....	VII
Innholdsfortegnelse .....	VIII
Figurliste.....	X
Tabelliste .....	XIII
Introduksjon .....	2
Metode.....	3
1 Teori .....	4
1.1 Generelt om lekkasjer .....	4
1.1.1 Hvorfor redusere lekkasjer .....	5
1.1.2 Vanntap.....	6
1.1.3 Typer lekkasjer .....	7
1.2 Vannmengdekontroll.....	9
1.2.1 Topp-ned vannbalanse metoden .....	9
1.2.2 Bunn-opp minimum nattforbruk.....	11
1.3 Lekkasje kontroll.....	12
1.4 Lekkasesøking.....	12
1.5 Analyseverktøy .....	19
1.6 Trykkforvaltning .....	22
1.6.1 Fordeler og ulemper ved trykkreduksjon.....	22
1.6.2 Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde .....	23
1.6.3 Sammenheng mellom trykk og bruddfrekvens .....	25
1.7 Levetid for vannledningsnett.....	27
2 Teknisk gjennomgang .....	32
2.1 Indikatorer på virkelig tap.....	32
2.2 Soneinndeling.....	35
2.3 Implementere trykksoner .....	36
2.4 Erfaringer med lekkasesøking.....	38
2.5 Reparasjon av lekkasjer .....	38

2.6 Lekkasjeøkonomi .....	40
2.7 Strategi og planlegging av lekkasjereduksjon.....	42
2.8 Ny Teknologi .....	44
3 Casestudie.....	46
3.1 Nedre Eiker kommune .....	46
3.2 Hovedplan og mål .....	47
3.3 Vannforbruk .....	49
3.4 Lekkasjer.....	50
3.5 Hva består distribusjonsnettet av .....	53
3.6 Lekkasjesøking.....	54
3.7 Lekkasjereduksjonsstrategi for Nedre Eiker kommune .....	59
3.7.1 Strategisk plan .....	59
3.7.2 Taktisk plan .....	63
3.7.3 Operativ plan .....	66
3.7.4 Gjennomføring av strategien .....	66
3.8 Effekten av lekkasjereduksjon .....	67
4 Diskusjon og Konklusjon .....	68
4.1 Diskusjon rundt strategien .....	68
4.2 Diskusjon rundt effekten av tiltakene .....	69
4.3 Veien videre .....	70
4.4 Konklusjon.....	71
Litteraturliste .....	72
Vedlegg 1.....	A
Vedlegg 2.....	B
Vedlegg 3.....	C
Vedlegg 4.....	D
Vedlegg 5.....	E
Vedlegg 6.....	F
Vedlegg 7.....	G
Vedlegg 8.....	H
Vedlegg 9.....	I

# Figurliste

Figur 1:Illustrasjon av lekkasjemengder i Norges kommuner.[3].....	4
Figur 2: Tabell som viser levert drikkevann fordelt på samfunnssektor( $1000\text{m}^3/\text{år}$ ) og spesifikt vannforbruk i husholdningen(liter/person*dag). Fylke, 2014. [6] .....	6
Figur 3: Ventillytting på alle spindler innenfor et område med forbruk.[11] .....	14
Figur 4: Marklytting. Normalt lydbilde ved metallisk rørmateriale.[11].....	14
Figur 5: Illustrasjon av lekkasjesøk med hydrofoner.[11] .....	15
Figur 6: Illustrasjon av step-test plan med merkede ventiler.[10].....	18
Figur 7: Radargram fra en GPR analyse av rør.[10] .....	18
Figur 8: Hvilke lekkasjesøkingsmetoder som egner seg på stikkledningsnett, distribusjonsnett eller øverføringsnett.[13].....	19
Figur 9: Illustrasjon av AMI system. [15].....	20
Figur 10: Prinsippet med ultralydmålere.[16] .....	21
Figur 11: Forholdet mellom trykk og lekkasjemengde. ....	24
Figur 12: Verdibestemmelse av eksponenten $N_1$ ved å se på ILI og prosentandel av oppdagede lekkasjer. [18].....	25
Figur 13: Bruddraten mot trykk, i forhold til påkjenning.[20].....	26
Figur 14:Fordeling av eksisterende rørmateriale i Norge, 2014. [21].....	27
Figur 15: Fordeling av når ledningsnettet er lagt, beregnet med pr meter ledningsnett. [21]..	28
Figur 16: Internasjonal lekkasjereduksjonsarbeid kategorisert barsert på ILI.[13] .....	33
Figur 17: Komponentene som må tas stilling til for å kontrollere det virkelige tap.[24].....	34
Figur 18: Effekten av å opprette trykkforvaltning.[20].....	37
Figur 19: Levetiden til et ledningsnett med illustrasjon der bruddraten øker drastisk der vanntap og kostnad øker i takt.[10] .....	39
Figur 20: Kostnadseffektivt lekkasjenivå[26] .....	40
Figur 21: PDCA-syklusen.[31] .....	43
Figur 22: Lekkasjelokaliserende robot for vanddistribusjonssystemer.[33] .....	44
Figur 23: Vannforbruk Nedre Eiker kommune [40] .....	49
Figur 24: Fordeling av når rørene i Nedre Eiker er lagt. Tall er hentet fra vedlegg 8. ....	53
Figur 25: Analyse av vannmengden Hovjordet, Gosen i Nedre Eiker komune hentet fra DIMS i GIS .....	55
Figur 26: Vannforbruket ved Møllehof i Nedre Eiker kommune. ....	56

Figur 27: Analyse av vannmengden ved Gomperud i Drammen kommune, med en tydelig lekkasje.....	56
Figur 28: Analyse av vannmengde ved Gomperud i Drammen kommune.....	57
Figur 29: Oversiktskart over permaloggere(sirklene med svart prikk) og oppdagede lekkasjer(lynene) en del av Nedre Eiker kommune. ....	58
Figur 30: Registrerte lekkasjer i Nedre Eiker kommune.....	65



## Tabelliste

Tabell 1: Vannbalanse, topp-ned metoden til IWA.[7] .....	9
Tabell 2: Kostnaden for lekkasjer basert på tall fra Bergen kommune. [27] .....	41
Tabell 3: Lekkasjemengde basert på IWA´s metode for vannbalanse. Tallene er hentet fra vedlegg 1. ....	50
Tabell 4: Lekkasjeberegning basert på nattforbruk i Nedre Eiker kommune .....	50
Tabell 5: Skadetyper som er registrert ved lekkasjer i Nedre Eiker kommune. [41] .....	51
Tabell 6: Årsak til lekkasje registrert ved reparasjon i Nedre Eiker kommune. [41].....	52
Tabell 7: Hvilke reparasjonsmetoder som er benyttet ved lekkasjer. [41] .....	52
Tabell 8: Utfordringer med lekkasjereduksjon i Nedre Eiker kommune. ....	59
Tabell 9: Tiltak som tar utgangspunkt i utfordringene i kommunen.....	61
Tabell 10: Estimert sannsynlig effekt av oppgradert lekkasjekontroll[43] .....	67





# Introduksjon

Rent vann, og nok vann er ingen selvfølge i verden. Det er 783 millioner mennesker som ikke har tilgang til rent vann, og med en befolkningsvekst vil det i fremtiden bli store problemer med å møte vannbehovet. [1]

Med dagens forandringer i forhold til klima vil det i tillegg til befolkningsvekst gi store utfordringer vedrørende vannforsyning. Da er det ikke ideelt at store mengder vann som har blitt rensset og sendes ut på distribusjonsnettet, lekker rett ut i grunnen til ingen nytte. På verdensbasis er det estimert at ca. 46 billioner liter vann lekker ut av distribusjonsnettene daglig.

I Norge er det ikke en like stor utfordring med tilgang til nok vann, slik som det er i flere land i verden. Det er hyppigere tilfeller av ekstremvær i Norge, med mye nedbør, slik at vassdragene er overfylt med nok vann. Vannet som vi i Norge har tilgang på er ofte rent, og krever lite rensing. Men, som i resten av verden er det store mengder rensset vann som renner rett ut i grunnen. I 2014 ble det sendt ut 750 millioner kubikkmeter vann ut på distribusjonsnettet, omtrent hver tredje liter forsvant i form av lekkasjer. I vann- og avløpsteknikk boka er det anslått at kostnader rundt produksjon av lekkasjevann er på ca. en halv milliard i året. [2]

Det er blitt større fokus i Norge og verden rundt god lekkasjehåndtering, men allikevel er det fortsatt store mengder vann som går til spille. Økonomi har en del å si for arbeid med lekkasjehåndtering, noe som stopper flere vannverk og kommuner til å investere mye i tiltak. Av helsemessige årsaker burde det derimot fokuseres på lekkasjereduksjon. Ved at det kan bli innsug i vannforsyningen av avløpsvann, bakterier eller parasitter, sprer det seg fort forurensning i vannforsyningen og kan nå mange mennesker.

I denne oppgaven ser jeg generelt på metoder og teknologi som kan brukes i forbindelse med lekkasjereduksjon i form av teori. Til slutt ser jeg konkret på lekkasjesituasjonen i Nedre Eiker kommune, og kommer med en strategi for veien videre og utfordringer i forhold til å minske lekkasjer.

## Metode

Denne oppgaven er delt inn i tre deler. Først går jeg inn på teorien om lekkasjereduksjon, ser på metoder og arbeid som har blitt gjort i forhold til dette i lang tid. Deretter tar jeg for meg en teknisk gjennomgang. Der fremstilles hvordan tiltakene i teorien kan gjennomføres, økonomi rundt lekkasjer og hvordan gjennomføre en strategi for lekkasjereduksjon. I tillegg ser jeg på noe ny teknologi for lekkasjesøking. Til slutt bruker jeg teorien, og det som har kommet frem i den tekniske gjennomgangen for å komme med en strategi for Nedre Eiker kommune.

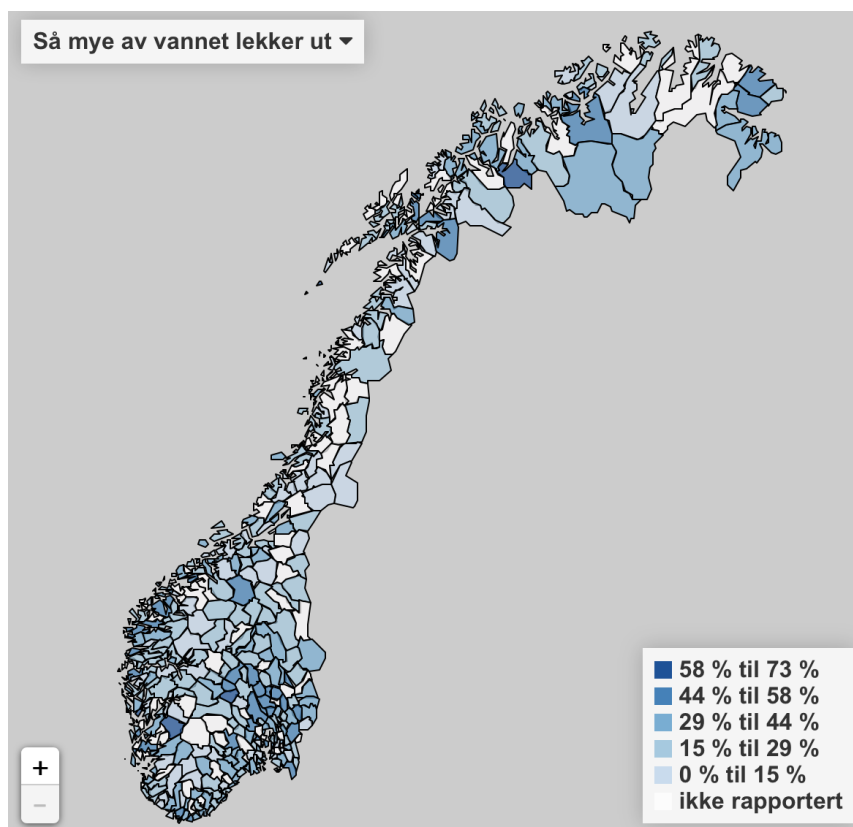
Strategien bygger på grunnlaget av situasjonen slik som den er i Nedre Eiker kommune per 2017, i tillegg til arbeid som har blitt gjort. Jeg tar også stilling til hovedplanen til GVD, hvordan kommunen kan optimalisere lekkasjereduksjonen på best mulig vis. Hovedfokuset til strategien er hva kommunen kan gjøre på egenhånd og målsettinger som kan settes.

# 1 Teori

## 1.1 Generelt om lekkasjer

I Norge går det hver dag rent drikkevann rett ut i grunnen. Hull i ledningsnettene til vannverkene og private stikkledninger er noe av årsaken til lekkasjer. Ut i fra beregninger, er det estimert at vannverk har lekkasjer fra under 10% og opptil over 60%. Overvåking med nyere teknologi og mer fokus på lekkasjer, har gitt vannverkene et mye mer realistisk bilde på hvor store mengder rensset vann som går til spille på grunn av lekkasjer.

Figur 1 viser lekkasjesituasjonen i Norge i 2015. Det er flere kommuner i landet som har lekkasjer på over 50%, der rent drikkevann renner rett i grunnen og inn i avløpsnettene.



Figur 1: Illustrasjon av lekkasjemengder i Norges kommuner. [3]

Lekkasjer kan deles inn i fire ledd i hvordan en lekkasje utvikler seg fra start til slutt dersom ikke lekkasjen blir reparert. [4]

- Små tap – små lekkasjer opptil 5 liter/min som lekker ut av et lite hull eller en feil i en kobling.

- lekkasje/medium tap – en mengde vann som lekker ut av en åpning, med estimert utstrømning på 90 liter/min.
- Brudd/stort tap – estimert utstrømning av bruddet på 315 liter/min.
- Komplette ødeleggelse – hele rørstrekningen blir ødelagt.

### 1.1.1 Hvorfor redusere lekkasjer

I Norge har en tidligere ikke hatt så stort fokus på lekkasjereduksjon. Vi har mye nedbør som gir oss nok tilgang til vann året rundt. Lekkasje av vann byr derimot på utfordringer:

- Store vannmengder i grunnen kan føre til nedsenkning i bakken, og ødeleggelse av veier.
- Det må renses større mengder avløpsvann på grunn av at lekkasjevannet tas opp i avløpsnett
- Vannverkene må rens mer vann for å dekke behovet til husholdninger, kommunale hus og industri i tillegg til mengden lekkasje.
- Ved åpninger inn i drikkevannsledninger kan det oppstå innsug av partikler og i verste fall sykdomsfremkallende bakterier, virus og parasitter.

Det er flere fordeler en kan peke på i forhold til lekkasjereduksjon, økonomiske, politiske, miljømessige, lovregulerende, teknologiske og kanskje aller viktigst helsemessige årsaker.

Ved å redusere lekkasjer på ledningsnett, reduserer man automatisk kostnader rundt vannforsyning. Fordelen er at det kreves mindre mengder rensert vann ut på distribusjonsnett. I tillegg til kostnadene rundt drikkevannsforsyning, reduseres mengden avløpsvann som krever rensing på grunn av at vannet som lekker ut i grunnen blir tatt opp i avløpssystemet. Når det sendes mindre vann på distribusjonsnett, blir det mindre belastning på ledningsnett. Service og driftskostnader på pumper, basseng og rørsystemer reduseres.

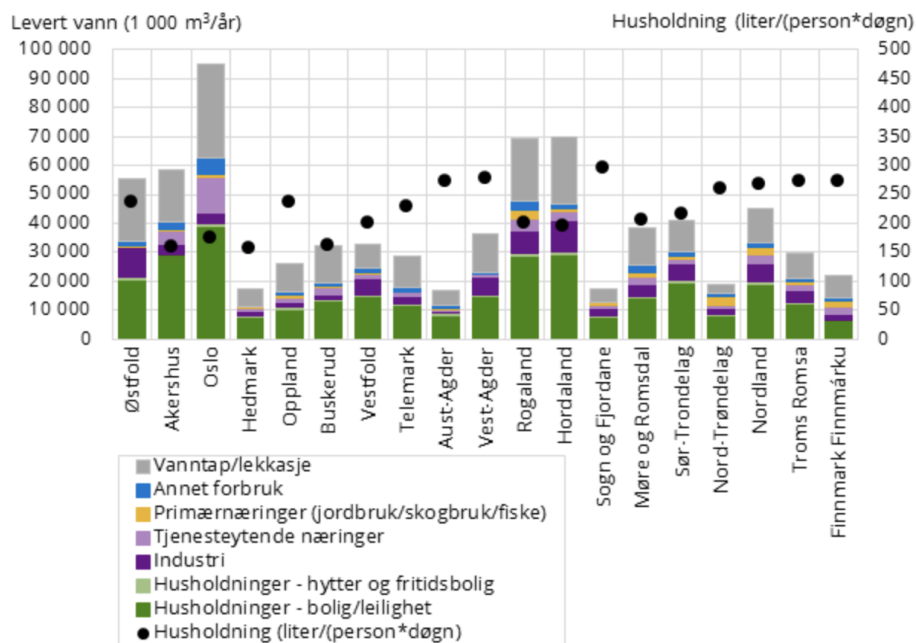
De siste årene har vi på verdensbasis fått mye større fokus på klima- og miljøutfordringer. Dermed kan vi se på lekkasjeprosblematikken politisk og miljømessig, en ønsker å opprettholde bærekraft og fronte grønne løsninger.

Den aller viktigste motivasjonen for å jobbe mot lekkasjer er faren for innsug av forurenset vann på distribusjonsnett. Det kan føre til store sykdomsutbrudd.

Regjeringen har i sine nasjonale mål for vann og helse vedtatt at det innen 2020 bør være mindre enn 25% lekkasje i vannforsyningsnett. [5]

### 1.1.2 Vanntap

Ut ifra figur 2 kan vi se at det er store mengder vann som tapes i lekkasjer i fylkene i Norge. I gjennomsnitt var det målt en lekkasjemengde på 32 % i Norge i 2014. Dette er en datainnsamling fra vannverkene som leverer vann til kommunene. Målingene er ikke alltid konkrete, men ofte en grov vurdering hos hvert enkelt vannverk.



Figur 2: Tabell som viser levert drikkevann fordelt på samfunnssektor(1000m<sup>3</sup>/år) og spesifikt vannforbruk i husholdningen(liter/person\*dag). Fylke, 2014. [6]

Dersom man ser på vanntapet i Norge kontra andre land, så er det stor forskjell. Andre vestlige land har et estimert vanntap på 8-20%. Det er variasjon i hvor stor grad et land eller område fokuserer på lekkasjeprosjektene. Land med dårlig økonomi sliter ofte med etterheng av vedlikehold og rehabilitering. Den største faktoren for fokus på

lekkasjehåndtering er nok tilgang på rent vann. I tillegg har politisk styring, regulering og sanksjoner en del og si. Om vannverket er offentlig eller privat har også betydning. [7]

### 1.1.3 Typer lekkasjer

Alle rør oppfører seg forskjellig i forhold til hvilken type materiale det er laget av. Det vil si at brudd kan skje på flere forskjellige måter, og reparasjonen av lekkasjen skjer ut ifra typen rørbrudd. Under angis ulike typer brudd. [7]

#### *Splitt*

Rørmaterialer i stål og PVC har en tendens til å få en sprekk horisontalt på ledningen. Dette kan forårsakes av overtrykk i nettet, en defekt i rørveggen eller ekstern skade. I PVC rør har det oppstått flere meter lange sprekker av denne typen.

#### *Ring sprekk*

Ring sprekk kjennetegnes ved at den vertikalt bryter røret. Grått støpejerns rør er mest utsatt for dette, siden det er sprøtt materiale. Det er større sjanse for at en ring sprekk skjer i rør med liten diameter.

#### *Korrosjonshull*

Alle typer rør som er av metall har en stor sjanse for å få hull på grunn av korrosjon. I stålrør kan det starte som et lite hull, og vokse seg større. I grått støpejerns rør kan en større del av veggen bryte på grunn av skadene korrosjonen gjør, i tillegg til trykk mot den svake delen. Denne typen hull er en av de mest vanlige, da vi har bløtt vann i Norge som er korrosivt for en rekke metaller.

#### *Lekk i pakning*

Der stikkledningene blir koblet på distribusjonsnettet er det lett for at det kan oppstå skader. Dersom det er bevegelse i stikkledningen, så kan koblingen få skader. Det øker også faren for korrosjon.

### *Lekk i feste/skjøt*

I fester/skjøt kan det fort oppstå lekkasjer dersom det ikke har blitt satt sammen skikkelig. Ved høyt trykk på ledningsnettets kan det være skjøten ikke klarer å håndtere det.

### *Lekkasjer på beslag*

Alle hovedarmaturer avhenger av mekaniske ledd, og er da en potensiell kilde til lekkasje. Det innebærer brannhydranter, linje ventiler, lufteventiler og flens muffe.

## 1.2 Vannmengdekontroll

For å finne ut hvor mye vann som går til spille har IWA utformet to beregningsmetoder for å finne ut estimert mengde vanntap. Det er topp-ned vannbalanse metode og bunn-opp minimum nattforbruk metode.[8]

### 1.2.1 Topp-ned vannbalanse metoden

Denne metoden går ut på hvor mye vann det er registrert sendt ut til et gitt område. I Norge er dette for eksempel en kommune. Når en vet hvor mye vann det er gått ut på distribusjonsnettet, så kan en trekke i fra hvor mye vann en vet er blitt brukt. Det innebærer fakturert/målt forbruk til privatpersoner, næringsliv og fakturert/ikke målt forbruk. Denne metoden er fremstilt i tabell 1. [7]

Tabell 1: Vannbalanse, topp-ned metoden til IWA.[7]

Total vannmengde(mengde vann målt ut fra vannbehandlingsanlegg)	Legalt forbruk	Legalt forbruk, fakturert	Fakturert, målt forbruk	Fakturert vannmengde	
			Fakturert, ikke målt forbruk		
		Legalt forbruk, ikke fakturert		Ikke fakturert, målt forbruk	Ikke fakturert vannmengde
				Ikke fakturert, ikke målt forbruk	
	Vanntap	Tilsynelatende tap		Illegalt forbruk	
				Vannmålerfeil	
		Virkelig tap(lekkasje)		Lekkasje/overløp bassenger	
				Lekkasje offentlige ledninger	
	Lekkasje private ledninger				



Faktorene som inngår i dette regnestykket er som følger:

### *Autorisert forbruk*

- Legalt forbruk, fakturert
  - Fakturert, målt forbruk
    - Denne kategorien gjelder for hushold og andre autoriserte forbrukere som har vannmålere
    - Identifiserer forbruket til husstandene
    - Identifiserer forbruket til ikke-husstander
    - Konverterer månedlig forbruk eller kvartal forbruk til gjennomsnittlig daglig forbruk
  - Fakturert, ikke målt forbruk
    - Denne kategorien gjelder for hushold og andre autoriserte forbrukere som ikke har vannmengdemålere
    - Det blir gjort en estimering for mengden vann som inngår i denne kategorien. Den ser for eksempel på mengden vann som blir brukt per person i husholdningen.
- Legalt forbruk, ikke fakturert
  - Her inngår målt og ikke målt forbruk innenfor autoriserte brukere. Det vil si kommunale bygninger, parker, brannvann.
  - Identifisere og estimere forbruket som går til urbane områder (slum etc)
  - Identifisere og estimere forbruket til selskaper/foretak som går til rengjøring og flushing

### *Vanntap*

- Virkelige tap
  - Lekkasje fra vannreservoarer
    - Dette kan måles ved en falltest i reservoaret. Det er mest gunstig å gjennomføre dette om natten da en stenger innløp og utløp og så måler hvor mye reservoaret synker over tid.
  - Overløp fra reservoarer
    - Dette tapet skyldes dårlig kontroll på innløp til reservoaret og defekte flyteventiler. Tapet som skjer i form av overløp kan måles når

vannmengden i reservoaret er på topp, da måler en hvor mye vann som overstiger.

- Lekkasje fra overføringsnett
  - Denne lekkasjemengden kan måles ved å bruke clamp-on målere som måler volumstrømmen og da eventuelt endringen, som tilsier at det er lekkasje.

### 1.2.2 Bunn-opp minimum nattforbruk

Denne metoden tar for seg beregninger av lekkasjenivå ved minimum nattforbruk. IWA's ligning er slik:

$$\begin{aligned} \text{Lekkasjemengde} \left( \frac{l}{\text{time}} \right) & \quad (1.1) \\ & = (\text{målt nattforbruk} \\ & \quad - (\text{dråpetap} + \text{boligforbruk} \\ & \quad + \text{næringsforbruk})) \\ & \quad * \text{time til dag trykkfaktor} \end{aligned}$$

Ved å beregne lekkasjemengde ved hjelp av nattforbruket, kan en få en indikasjon på mengden vann som lekker ut her og nå. Denne metoden egner seg ikke til å gjøre estimeringer for lekkasjemengde over lengre perioder, slik som ved beregning med vannbalansen.

Beregningen gjøres som vist i formel 1.1 ovenfor. Der en tar for seg målt mengde vann som er brukt i løpet av natten, trekker fra det vannet som går til dråpetap, boligforbruk og næringsforbruk og ganger med time til dag trykkfaktor. I tillegg er det andre faktorer slik som tappinger som også må trekkes fra nattforbruket. Når denne beregningen er gjort, sitter en igjen med lekkasjemengden.

## 1.3 Lekkasjekontroll

En viktig del av lekkasjeproblematikken er å arbeide med aktiv lekkasjekontroll. Det vil si at man systematisk søker etter lekkasjer uten at de er synlige. De fleste kommuner har faste personer som utfører arbeidet og sørger for detaljert oversikt over hvor lekkasjene befinner seg, hvor store de er og om lekkasjen kan føre til større skader. [8]

Noen vannverk jobber etter passiv lekkasjekontroll, som vil si at de ser kun på innrapporterte lekkasjer eller lekkasjer som kommer opp til overflaten. Denne formen for lekkasjehåndtering anses som dårlig praksis, da det fører til store ødeleggelser og vanntap. [7]

Aktiv lekkasjekontroll kan deles inn i to forskjellige metoder, det er lekkasjeidentifikasjon og lekkasjelokalisering. Ved lekkasjeidentifikasjon vil en påvise at det er lekkasje eller lekkasjer innenfor et avgrenset område. Dette arbeidet utføres ved at man bruker overvåkningsmetoder på et avgrenset område. Etter at en har identifisert en lekkasje innenfor et område, begynner lekkasjelokalisering. Lokaliseringen foregår hovedsakelig i felt og deles inn i grovlokalisering og finlokalisering.

En lekkasje kan kjennetegnes ved at den tar vann, gir fra seg lyd og ved store lekkasjer kan det gi lokal nedsenkning i grunnen. Disse faktorene utnyttes ved lekkasjesøking.

## 1.4 Lekkasjesøking

Aktiv lekkasjekontroll kan deles inn i grovlokalisering og finlokalisering. Ved mistanke om lekkasje i ledningsnett, begynner man søket etter hvor lekkasjen er. Første steg i prosessen er grovlokalisering, dette innebærer vannmengdemåling i mellom to punkter eller lydregistrering i mellom kummer. Disse stegene gjennomfører en før man analyserer rørstrekingen nøye for finlokalisering av lekkasjen. [9]

### *Vannmengdemåling*

Vannmengdemåling brukes for å grovlokalisere en lekkasje og gi en indikasjon på lekkasjens størrelse. Denne metoden foregår ved at vannverket som distribuerer vannet til området har en soneinndeling med vannmålere plassert ut på ledningsnett. Ved registrering av

vannmengden i sonene kan en få analyser av vannmengden i løpet av dager, uker, måneder og år. Når det oppstår avvik ut i fra målingene ved at vannmengden øker kraftig, indikerer det at det er en lekkasje der.

Vannmengdemåling kan også gjøres manuelt ved å plassere vannmengdemålere i hver sin ende av et rør og registrere innløpsmengden og utløpsmengden. Da finner en ut om det forsvinner vann på veien.

### *Finlokalisering*

Ved påvisning av lekkasje i et rør, begynner prosessen med å finne eksakt lekkasjested. Denne prosessen kan gjøres på forskjellige måter, men krever presisjon da man helst ikke vil grave opp større områder for å utbedre lekkasjen.

### *Lydregistrering*

Flere metoder for lekkasjelokalisering baserer seg på lydregistrering. Disse metodene forutsetter at lyden til lekkasjen kan forplante seg i rørmaterialet eller vannet som føres igjennom rørstrekket og frem til lyttepunktet. Lyttemetodene forklares nærmere under.

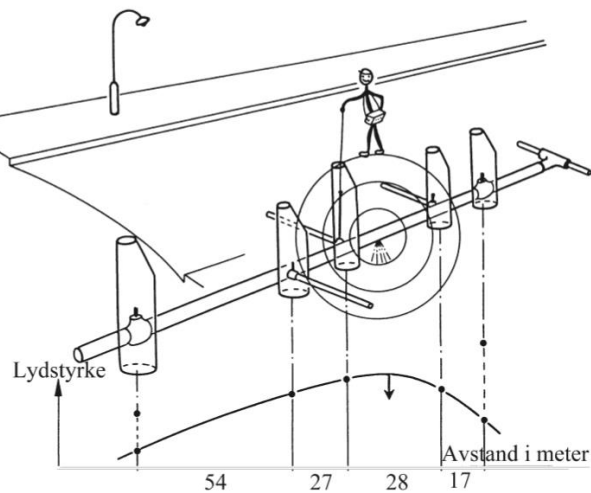
### *Manuell lyttestav*

Ved bruk av en lyttestav, med stetoskop, som er laget av metall, tre eller plastikk går en person og lytter etter lekkasjer. Det brukes ingen elektroniske hjelpemidler, bare en persons hørsel. Denne metoden egner seg best når det er rør av metall, med diameter mellom 75 mm til 250 mm og med et trykk på mer enn 10 mVs. Det er derimot ikke materialet til røret og trykket som avgjør om en kan finne lekkasjen, men massen rundt røret har mye å si for om lyden forplanter seg. I tillegg er det gunstig med lite lyd rundt og en erfaren lytter. [10]

### *Ventil- og marklytting*

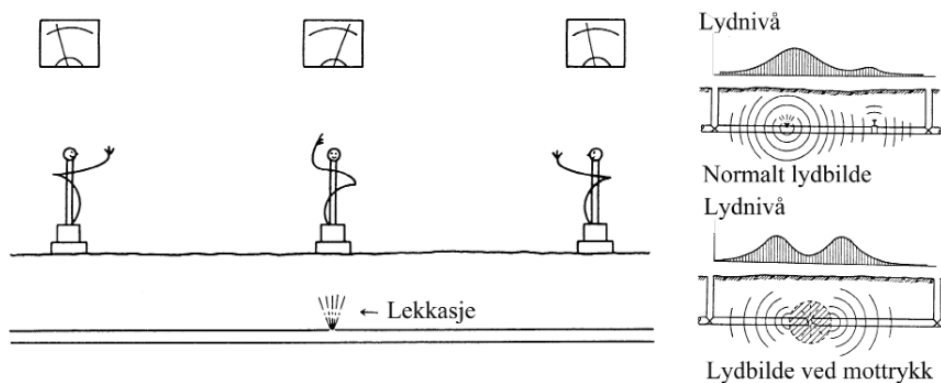
Dette er den mest brukte metoden for lekkasjesøking hvor en bruker lytteutstyr. Denne metoden avhenger av lekkasjelydens energi for å kunne høre seg til lekkasjen. Det er også en fordel at det ikke er mye ekstra støy rundt som kan forstyrre lyden til lekkasjen. Denne metoden gjennomføres oftest om natten for bedre presisjon i lyttingen.

Ventillytting avhenger at det ikke er noe støy fra pumper, kjente lekkasjer, reduksjonsventiler og tappinger da det kan være forstyrrende. Som vist i figur 3 lyttes det på ventilene i kummene eller direkte på rørmaterialet i kummen. Det har dermed mye å si hva slags rørmateriale det er i forhold til om lyd fra lekkasjen forplanter seg. Rør av plast og glassfiber egner seg dårlig til ventillytting. Ved bruk av rør av asbestsement, betong og metall kan man høre lekkasjene svært godt. [11]



Figur 3: Ventillytting på alle spindler innenfor et område med forbruk.[11]

Marklytting fungerer ved at man går med lytteutstyr over bakken for å finne eksakt lekkasjepunkt. Dette er en mye brukt metode fordi lekkasjelyden forplanter seg gjennom bakken og opp til overflaten. Det er mulig for erfarne lyttere å lokalisere nøyaktig lekkasjepunkt med ca 0,1 m avvik.

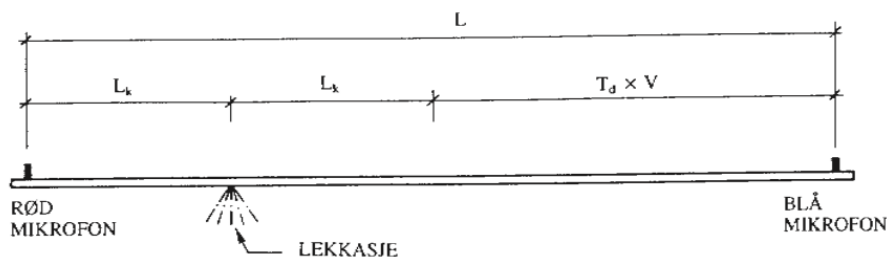


Figur 4: Marklytting. Normalt lydbilde ved metallisk rørmateriale.[11]

Som ved ventillytting har rørmaterialet en innvirkning på hvor mye lyd lekkasjen vil gi fra seg. I tillegg så har det noe å si hva grunnen rundt røret består av. Er det hovedsakelig leire og sand, forplanter lyden seg dårligere enn om det er grus og mer porøse materialer. I figur 4 vises det hvordan lydnivået utfolder seg i forhold til hvor lekkasjen er.

### Akustisk korrelasjon

Denne metoden baserer seg på at en måler lydfrekvensene en lekkasje gir i fra seg i to punkter. Mikrofonene plasseres på hver ende av den ledningstrekingen som skal søkes på og da måles tidsforsinkelsen av lydbildet for å kunne beregne avstanden til lekkasjen. Alle beregningene gjøres av korrelatoren, men den er avhengig av å få informasjon om rørtype, veggtykkelse og rørets ytre diameter for å kunne beregne lekkasjelydens forplantningshastighet,  $V$ . [11]



Figur 5: Illustrasjon av lekkasjesøk med hydrofoner.[11]

For å beregne lekkasjepunktet på et vannrør ved bruk av akustisk korrelasjon må en vite lengden på røret mellom hydrofonene, lengden mellom rør og lekkasje og lekkasjelydens forplantningshastighet, som en finner i en tabell. Tidsforsinkelsen  $T_d$  måler korratoren som vist i figur 5.

Ved informasjon om disse parameterne kan en lokalisere lekkasjen ved bruk av formel 1.2.

$$L_K = \frac{L - T_d \times V}{2} \quad (1.2)$$

Der:

$L_k$  = Lengden mellom mikrofon og lekkasjen.

$L$  = Lengden mellom mikrofonene.

$V$  = Lekkasjelydens forplantningshastighet.

$T_d$  = Tidsforsinkelse, målt med en korrelator.

Denne metoden for lekkasjesøking fungerer svært godt på harde materialer, men det er mer problematisk med plastrør, eller rør som er svært lange. En er veldig avhengig av at lyden forplanter seg til begge lydloggerne for å kunne beregne lydforsinkelsen. Det er også en fordel å måle på samme type materiale i mellom hydrofonene, det oppstår problemer med lokaliseringen da lyden forplanter seg forskjellig i ulike materialer.

Fordelen med denne metoden er at den ikke er like avhengig av om det er forstyrrende støy i omgivelsene.

Innenfor korrelerende målemetoder så kan en også benytte seg av flerpunktskorrelasjon, slik at en kan lokalisere flere lekkasjer i samme søket. Dette blir forklart nærmere i de to neste metodene.

#### *Korrelasjon med akselerometer*

For å gjennomføre korrelasjon med akselerometre plasseres det to sensorer på rørfittings, de trenger ikke å være i kontakt med vannet. Når sensorene er plassert på hver sin side av en antatt lekkasje, responderer akselerometrene på akselerasjon i strømmingen. Denne metoden fungerer mest effektivt på rør av metall, dette skyldes hurtig demping av høyfrekvente signaler i ikke-metalliske rør. Derimot er denne metoden svært brukervennlig og kostnadseffektiv, slik at det er en attraktiv metode å bruke. [10]

#### *Korrelasjon med hydrofoner*

Lekkasjesøking med hydrofoner egner seg godt ved følgende situasjoner:

- Plastikkør
- Store diametre
- Rør med store avstander mellom tilgjengelige rørtilgangspunkter
- Når det er mye støy i bakgrunnen, for eksempel mye trafikk.

Dermed egner hydrofoner seg svært godt i disse tilfellene, da en plasserer hydrofonen direkte i vannet som strømmer i rørledningen. Hydrofonen får kontakt med vannet i kummer i gjennom brannhydranter for eksempel.

### *Gassdeteksjon*

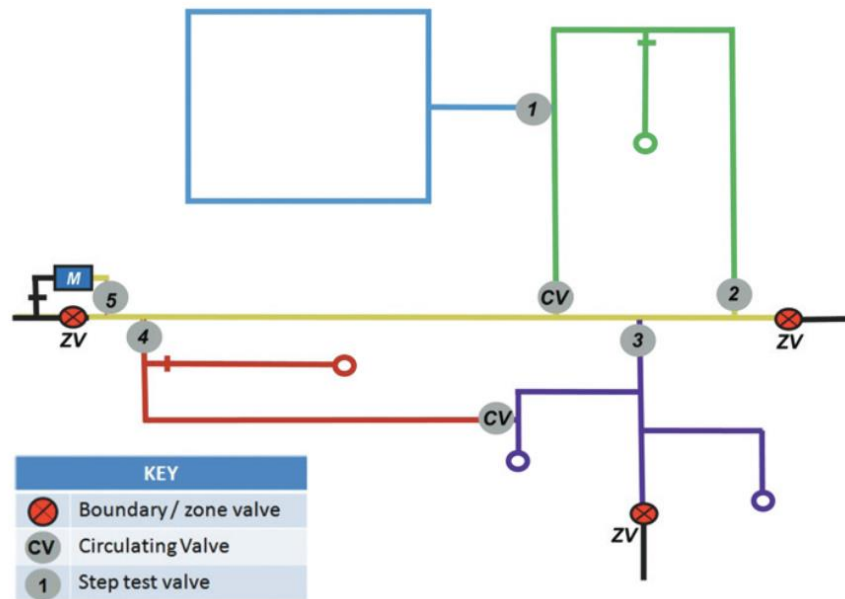
Dette er en metode som kan brukes på stikkledninger og små lekkasjer på opptil 1 l/s. Denne metoden går ut på å stenge av røret til det sammenhengende rørsystemet, og fylle strekningen med gass. Dette kan enten gjøres ved å tømme røret for vann eller tilføre gassen under trykk. Deretter søker man over bakken etter gassen. Problemer som kan oppstå er at det er tette markoverflater med for eksempel leire eller asfalt, som fører gassen andre steder enn der lekkasjen er når den oppdages over bakken. [11]

### *Step-testing*

Dette er en effektiv metode for lekkasjelokalisering der de konvensjonelle, akustiske prinsippene ikke egner seg. Denne testen går ut på at målesonene deles opp i seksjoner der sonene blir isolert i bestemt rekkefølge. Det forutsettes at vannforbruket i området er målt med mobile målere. Ved å estimere vannforbruk til hver sone ved beregning, kan en finne forventet reduksjon i innstrømming til sonen. Dersom den målte/observerte innstrømmingen avviker fra den estimerte ved fall, så indikerer det at det er lekkasje innenfor den målte sonen.

Det krever en del planlegging for denne type testing for at det skal bli vellykket. Det må være en optimal inndeling i soner(step). For få seksjoner gjør det vanskelig å stedfeste lekkasjer og for mange seksjoner gir lite utslag på innstrømmingsmåleren. En må også lokalisere alle ventilene som inngår i testen, slik at en får lukket det som skal lukkes og får gjort det i riktig rekkefølge i forhold til seksjonene. Det er også stor fordel å gjennomføre testen om natten ved lavest forbruk. I figur 6 er det fremstilt step-testing i et rørsystem. [12]





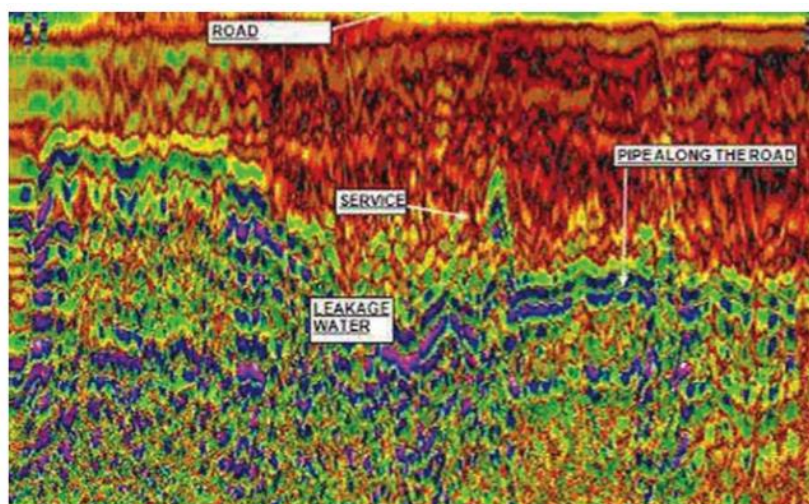
Figur 6: Illustrasjon av step-test plan med merkede ventiler.[10]

### Georadar

GPR(Ground penetrating radar) eller georadar, benytter radarpulser for å avbilde grunnen.

Dette fungerer ved at elektromagnetisk stråling reflekteres tilbake i forhold til strukturer ved grensesnitt. GPR kan ta bilder helt ned til 5m under overflaten ved optimale forhold.

Strålingen som blir fanget opp konverteres til et tverrsnitt av grunnen. Dersom denne metoden skal brukes, kreves det erfarne operatører for å avlese radargrammet som vist i figur 7. [4]



Figur 7: Radargram fra en GPR analyse av rør.[10]

Hvilke type rør de forskjellige lekkasjesøkingsmetodene egner seg til er vist i figur 8.

Leak detection methods		Suitability for		
		Service pipes	Distribution mains	Trunk mains
Acoustic techniques	Basic Listening stick	Yes	Yes	
	Electronic listening stick	Yes	Yes	
	Leak noise correlator		Yes	Yes
	Noise loggers		Yes	
	Multi acoustic sensor strip	Yes	Yes	
	In pipe sounding			Yes
Non-acoustic techniques	Gas injection	Yes	Yes	
	Ground penetrating radar	Yes	Yes	Yes
	Infrared photography			Yes
	In pipe hydraulic plug	Yes		

Figur 8: Hvilke lekkasjesøkingsmetoder som egner seg på stikkledningsnett, distribusjonsnett eller øverføringsnett. [13]

## 1.5 Analyseverktøy

Det er flere gode tradisjonelle metoder for lekkasjesøking som har eksistert i mange år. En ser derimot at en del av metodene blir vanskeligere å bruke med nye rørmaterialer og mye utenomstøy ved søking. Med dagens teknologi har en derfor begynt å jobbe mot ”smartere” løsninger som ikke krever at mennesker går rundt og søker. Det er allerede analyseverktøy på markedet som måler vannmengde og trykk og sender det videre til et sentralbord for informasjon.

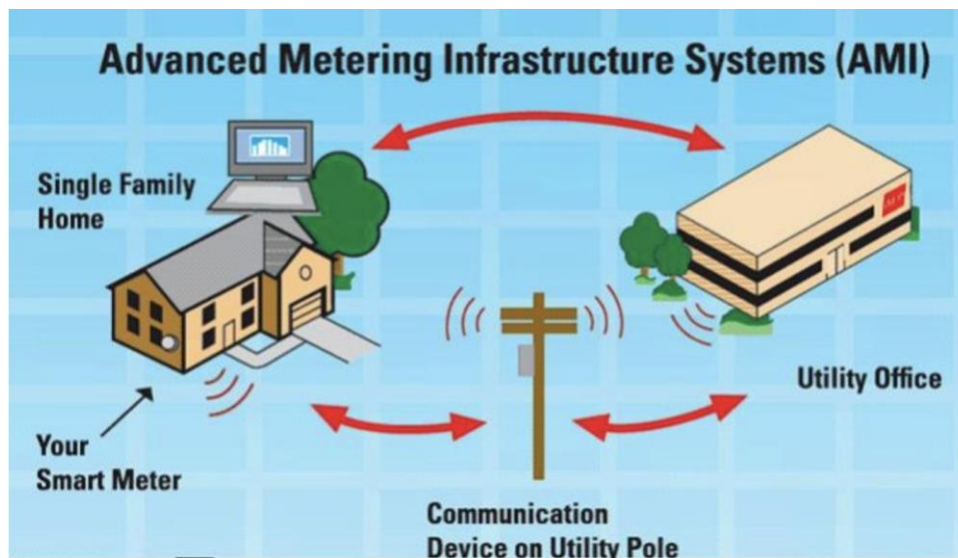
### Vannmålere

De siste årene har flere kommuner i Norge innført smarte vannmålere i alle hjem. Dette er et tiltak for å få sanntids vannmåling i hvert enkelt område. På markedet fins det to forskjellige smarte vannmålersystemer. [14]

- AMI - Advanced Metering Infrastructure
- AMR- The Automatic Meter Reading

Tidligere har vannmålere blitt lest av manuelt og nummeret har blitt skrevet ned på papir. AMR er en oppgradering der vannmåleren sender informasjonen til en database enten ved at en går nære nok eller kjører forbi med en avleser, eller sender informasjonen på et fikset nettverk. Ulempen med denne metoden for vannmåling er at det er enveiskommunikasjon, fra vannmåleren til et avlesningsprogram. En kan ikke gi en kommando til vannmåleren fra programmet og vannmålere i samme sone kan ikke kommunisere sammen.

AMI er en oppgradering fra AMR system der en kan ha toveiskommunikasjon i et fikset nettverk som illustrert i figur 9. Vannmålerne kommuniserer seg i mellom, med endepunktene og avlesningsprogrammet det er koblet opp mot. AMI er et kraftigere verktøy som gjør det lettere å få avlesninger av verdier i alle typer områder, utfordrende strekninger, landlige sletter og travle bysentre.

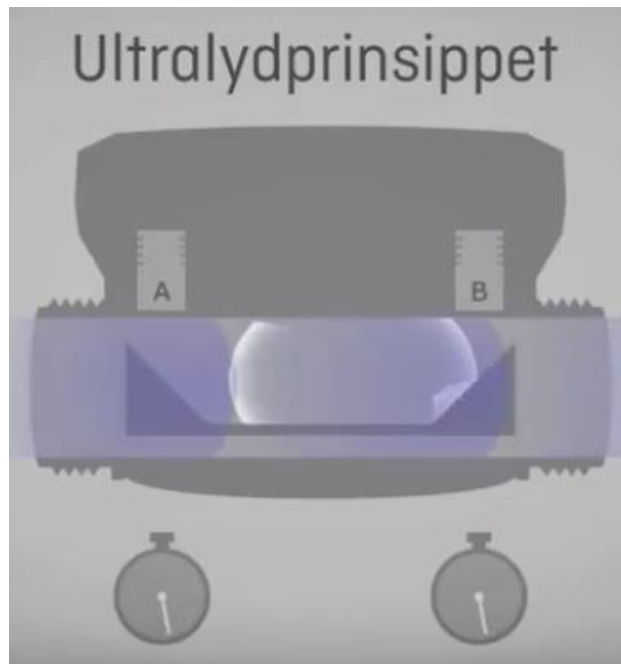


Figur 9: Illustrasjon av AMI system. [15]

Ved bruk av AMI system kan hele distribusjonsnettets overvåkes konstant med timesintervaller i målingene. Ved utvikling av måleutstyret, har de klart å produsere store regneark til informasjonsrike tabeller og diagram. Dette gjør det enklere for vannverket å oppdage de små lekkasjene i sanntid i stedet for når det har nådd overflaten etter flere år. Lekkasjelokaliseringsteknologien har blitt smartere, der en har kart- og alarmfunksjonalitet, som bruker algoritmer til å stedfeste lekkasjer. Det resulterer i at det blir billigere å reparere lekkasjer, ved at de utbedres når de er små i motsetning til store hull. Det er en forskjell på å sette en klemme på lekkasjen enn og måtte skifte ut en del av røret, evt. hele rørstrekningen.

### *Ultralyd smarte vannmålere*

Vannmålere som er basert på ultralyd, bruker lydbølger til å kalkulere hastigheten til vannet som strømmer igjennom røret. Som vist i figur 10, måles tidsdifferansen på lydbølgene som treffer vanngjennomstrømningen. Deretter beregnes flyten og mengden vann som renner igjennom. [16]



*Figur 10: Prinsippet med ultralydmålere.[16]*

Fordelen med denne typen vannmåler er at den er svært nøyaktig og måler veldig små gjennomstrømninger også. Ved at det er en smart vannmåler, kan den fjernavleses i stedet for å manuelt lese av med jevne mellomrom. Det som er en stor fordel med denne typen vannmåler er at den har integrerte alarmer som kan fortelle om det er en liten lekkasje i rørsystemet, eller om det er et brudd. Ulempen med vannmåleren vist i figur 10 er at den blir et eget ledd i røret med skjørt, som kan skape fare for lekkasjer. Det er utviklet målere som bruker ultralydprinsippet som kan festes på utsiden av røret, disse heter clamp-on.

## 1.6 Trykkforvaltning

Trykkforvaltning er sett på som en av de mest fundamentale tiltakene en kan gjøre i en lekkasjestrategi. Ved hjelp av laboratorietester er det påvist en sammenheng mellom flytraten til en lekkasje og trykket på det aktuelle vanddistribusjonsnettet.

I Norge er det bestemt at trykket på vannledningsnettet skal være mellom 20 mVs til 80 mVs. Dersom trykket er over 60 mVs og skal inn på private stikkledninger er det krav om at det installeres trykkreduksjonsventil eller pumpe, slik at trykket reduseres til under 60 mVs. [2]

### 1.6.1 Fordeler og ulemper ved trykkreduksjon

Trykkforvaltning er en av de fundamentale elementene i en lekkasjestrategi. Noen positive og negative erfaringer fra trykkreduksjon er som følger: [10]

- Lekkasjemengden er en funksjon av trykket, så hvis trykket reduseres så reduseres lekkasjemengden.
- Strømningshastigheten fra alle lekkasjer reduseres, så det vil redusere det totale tapet.
- Reduserer trykket på eksisterende lekkasjehull, slik at det ikke blir større.
- Forbruket blir redusert, da det er lavere leveringstrykk.
- Det er vist at det er lavere bruddfrekvens ved trykkreduksjon.
- En må passe på å ikke redusere trykket for mye, slik at ikke brannhydranter kan levere tilstrekkelig med vann.
- Det er vanskeligere å oppdage bakgrunnslekkasjer
- Det oppstår problemstillinger knyttet til forbrukere med ulike behov til trykk. Dvs, sårbare abonnenter, høye blokker, sprinkleranlegg og industri.

Det er mange faktorer som inngår ved optimal trykkforvaltning. utfordringen er å opprettholde et tilstrekkelig trykk for å forsyne stamnettet og trykksoner, og i tillegg opprettholde krav til sikkerhet og kvalitet. De problemstillingene som oppstår da, er:

- Servicenivå. Er det kommunen sitt ansvar å levere bra nok trykk til toppetasjen i høyblokker? Abonnementen kan ha ansvar for dette selv.
- Opprettholde tilstrekkelig leveringssikkerhet.

- Definere sårbare abonnenter og tilfredsstille deres behov.
- Ha tilstrekkelig driftstrykk og resttrykk ved brannvannsuttak.
- Innfri krav til sprinkleranlegg.

### 1.6.2 Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde

Som nevnt over er det en sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde. Dette forholdet er uttrykt ved ligning 1.3. [8]

$$Q = K * A * \sqrt{2 * g * P} \quad (1.3)$$

Der:

Q = vannføring[m<sup>3</sup>/s]

K = kontraksjonskoeffisient[dimensjonsløs]

A = arealet til lekkasjehullet[m<sup>2</sup>]

g = tyngdens akselerasjon[9,81 m/s<sup>2</sup>]

P = trykk[mVs]

som viser forholdet mellom vannføringen, i gjennom åpningen med et areal og vanntrykk som strømmer igjennom rørledningen. I tillegg er det en kontraksjonskoeffisient(K) som har en verdi mellom 0,5 – 0,95. Forutsatt at lekkasjehullet er konstant, så er lekkasjemengden proporsjonal med vanntrykket. Ved beregning av formel 1.3 kan en finne ut at dersom vanntrykket reduseres 50%, så reduseres lekkasjemengden med 30 %.

Den enkleste måten å fremstille effekten av trykkreduksjon i forhold til lekkasjemengde er å se på forholdet mellom trykket før(P<sub>0</sub>) og etter(P<sub>1</sub>) reduksjonen, og lekkasjemengden før(L<sub>0</sub>) og etter(L<sub>1</sub>). Dette fremstilles ved ligning 1.4: [17]

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad (1.4)$$

Der:

L<sub>1</sub> = lekkasjemengde etter trykkendring[m<sup>3</sup>/s]

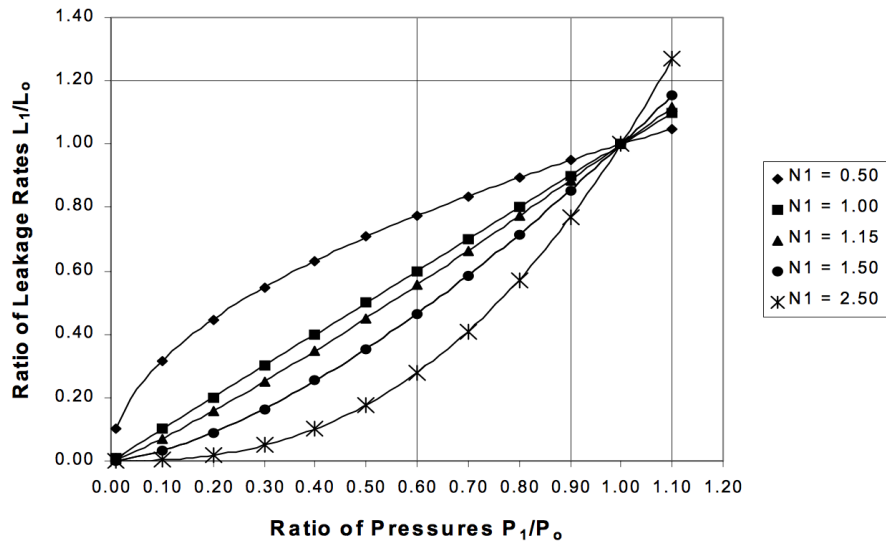
L<sub>0</sub> = lekkasjemengde før trykkendring[m<sup>3</sup>/s]

$P_1$  = trykk etter[mVs]

$P_0$  = trykk før[mVs]

$N_1$  = kraft-lov eksponent[dimensjonsløs]

Dette forholdet mellom trykkendring og lekkasjemengde er avhengig av eksponenten  $N_1$ , dette er fremstilt i figur 11.



Figur 11: Forholdet mellom trykk og lekkasjemengde.

Eksponenten  $N_1$  avhenger av rørsystemet en ser på, den kan enten måles eller beregnes for nøyaktig verdi. Thornton og Lambert fremstilte en empirisk likning for  $N_1$  på rørsystemer med lite bakgrunns lekkasjer.  $N_1$  kan beregnes slik:

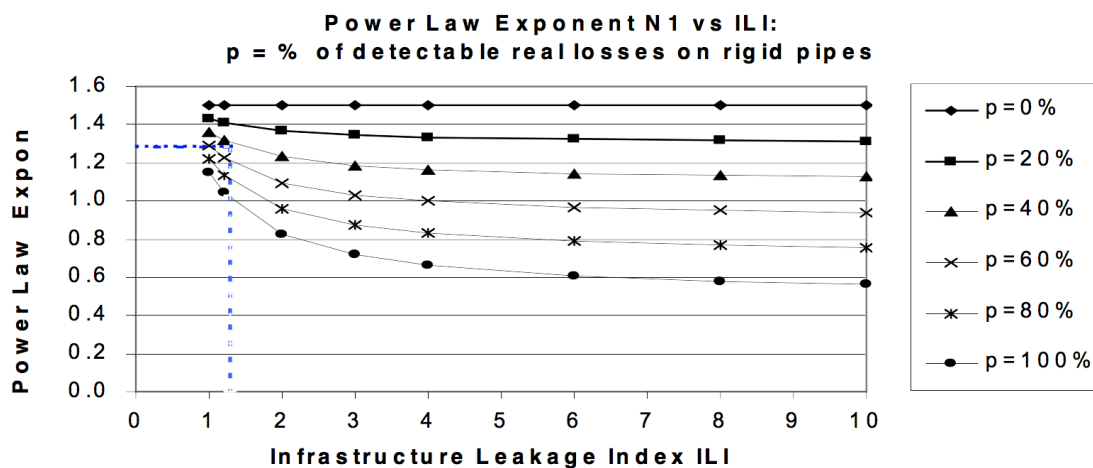
$$N_1 = 1,5 - \left(1 - \frac{0,65}{ILI}\right) * \frac{p}{100} \quad (1.5)$$

Der:

$N_1$  = kraft-lov eksponent[dimensjonsløs]

$ILI$  = infrastruktur lekkasjeindeks[dimensjonsløs]

$P$  = prosentandel av detekterbart virkelige tap[%]



Figur 12: Verdibestemmelse av eksponenten N1 ved å se på ILI og prosentandel av oppdagede lekkasjer. [18]

N1 kan variere i verdi mellom 0,5 til 2,5. Der stive rørsystemer, slik som stålrør og duktilt støpejern har en N1 verdi på 0,5. Rør som er sensitive for trykkfluktusjon, myke rørmaterialer(plast), kan ha en N1 verdi opptil 2,5. Dersom det er store sammensatte systemer har N1 en verdi på ca. 1 som gir et lineært forhold mellom trykk og lekkasjemengde. Ut ifra flere tester i felt har en derimot funnet ut at N1 generelt varierer med en verdi mellom 0,5 og 1,5. Dersom en vil estimere verdien til N1 ved kjennskap til infrastrukturens lekkasjeindeks og prosentandelen funnet lekkasjer kan en bruke diagrammet i figur 12 til å lese av verdien.

I tillegg kan en fastslå at forbrukskomponenten vil reduseres ved trykkreduksjon, spesielt for abonnemeter som er koblet direkte på det trykksatte distribusjonsnettet. Mengden vann som for eksempel renner ut av kraner og toaletter som lekker vil bli mindre ved lavere trykk.

### 1.6.3 Sammenheng mellom trykk og bruddfrekvens

Det er i liten grad kartlagt forholdet mellom trykk og bruddfrekvens, de fleste tester som har blitt gjennomført ser kun på bruddfrekvens. I de testene er det sett på en helhetlig sammenheng mellom alder, rørmateriale, aksialtrykk, grunnforholdene, kvalitet rundt installasjon og trafikklast i tillegg til dybden røret er lagt.[18]

I noen nyere tester hevder fagmiljøet etter forsøk at det er en betydelig reduksjon i bruddrate som følge av trykkreduksjon. Forholdet mellom bruddfrekvens og trykkreduksjon er fremstilt i formel 1.6, der det er en kraft-lov eksponent N2 som blir innført.



$$\frac{B_1}{B_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_2} \quad (1.6)$$

Der:

$B_1$  = bruddfrekvensen etter trykkreduksjon

$B_0$  = bruddfrekvens før trykkreduksjon

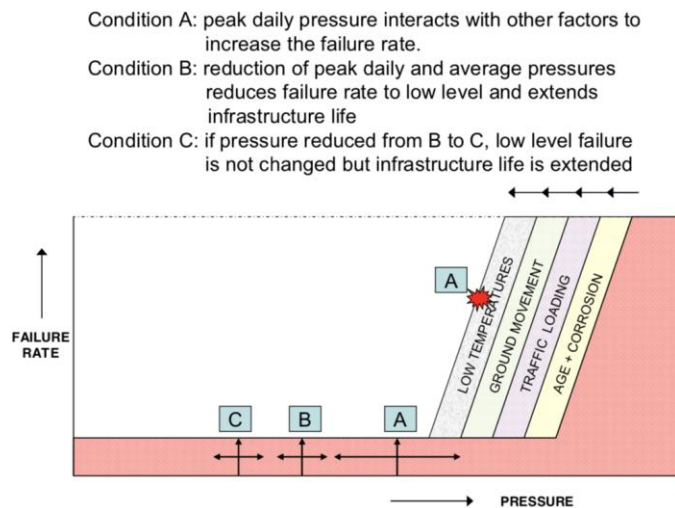
$P_1$  = trykket før trykkreduksjon

$P_2$  = trykket etter trykkreduksjon

$N_2$  = kraft-lov eksponent

Etter noen tester ble det estimert av Thornton og Lambert(2005) at verdien til  $N_2$  kan være i mellom 0,5 til 6,5.[19] Dersom dette forholdet blir testet bedre ut og får en mer nøyaktig tilnærming, kan de gi økonomiske fordeler for vannverk og vanddistributører.

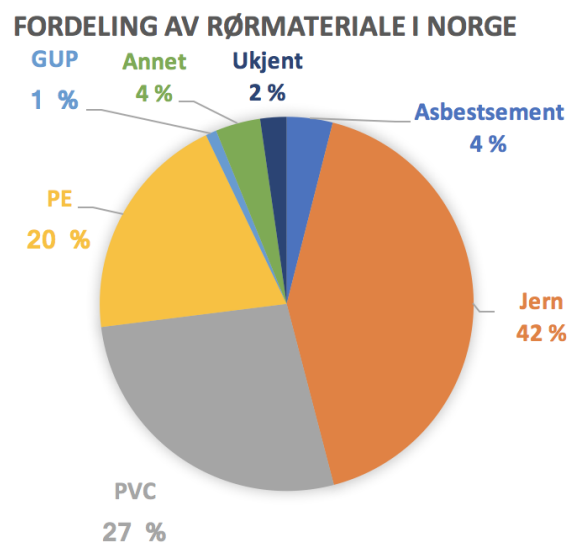
I figur 13 er det fremstilt effekten av trykket i forhold til bruddraten, tatt hensyn til ytre påkjenninger av røret. Denne viser at kombinasjonen av faktorer i sammenheng med trykket kan resultere i varige variasjoner i bruddfrekvens. Små reduksjoner i trykktransienter eller gjennomsnittstrykk kan resultere i store reduksjoner i bruddfrekvens i noen tilfeller, mens det er ingen reduksjon i bruddfrekvens i andre tilfeller. Det er individuelt fra sted til sted. [20]



Figur 13: Bruddraten mot trykk, i forhold til påkjenning.[20]

## 1.7 Levetid for vannledningsnett

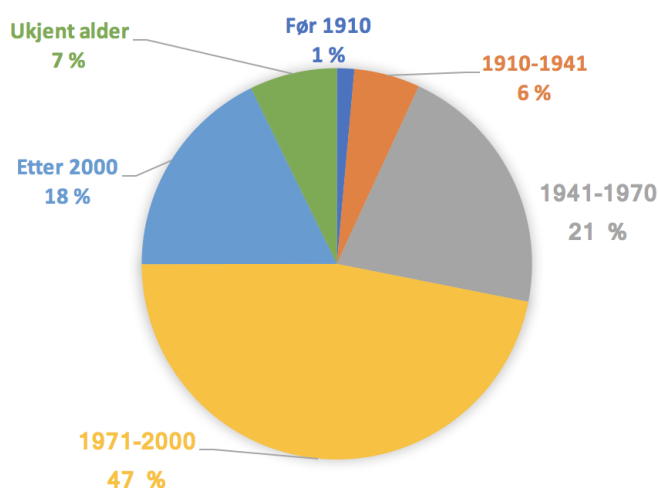
De første rørledningene som ble lagt slik som vi kjenner dem i dag, ble lagt etter 1850. Det tok flere år før det kom noe krav til utførelse etter århundreskiftet 1900. Ledningene begynte å bli belastet av kjøretøy og trikker, derfor ble de første beregningene for ytre last en faktor. I starten tok de hensyn til dybden røret ble lagt i og friksjonen til gjenfyllingsmassene. Etterhvert ble det utviklet modellverktøy for belastning av kjøretøy og belastning på fleksible rør. Nå brukes det empiriske modeller og metoder basert på elementanalyse for å beregne nøyaktig virkning av ytre last. [2]



Figur 14: Fordeling av eksisterende rørmateriale i Norge, 2014. [21]

Fra begynnelsen av vannledningsnettets historie fra 1850-tallet ble det lagt rør av duktilt støpejern. Som vi kan se av figur 14 er 42% av ledningsnettets i Norge duktilt eller grått støpejern. Det ble hovedsakelig brukt duktilt eller grått støpejernsrør frem til 1970-tallet. Fra 70-tallet kom rør av termoplast på markedet, og de har dominert siden.

### FORDELING AV NÅR LEDNINGSNETTET ER LAGT



Figur 15: Fordeling av når ledningsnett er lagt, beregnet med pr meter ledningsnett. [21]

I hvilket år ledningsstrekningen ble lagt har en stor innvirkning på holdbarheten i forhold til brudd og korrosjonsproblemer. I starten var det lite kunnskap om hvilken innvirkning massene rundt hadde på rørstrekningen, og behandlingen røret fikk i det den skulle legges i bakken. Det har også vært en utvikling i hva rørene har bestått av for å hindre korrosjon og rust.

Fra 1850-tallet og frem til 2. verdenskrig ble grøftene der ledningsnett ligger gravd ut for hånd, nøyaktig tilpasset med utsparinger for ledningsmuffer. Etter 2. verdenskrig ble det derimot viktig å bygge ut ledningsnett raskt, så da begynte det å graves grøfter med gravmaskin. Det ble dypere og bredere grøfter i tillegg til at rørene fikk en tøff behandling i forbindelse med arbeidet. Fyllmassene ble gjerne brukt fra omgivelsene, og kunne bli dumpet på rørene i grøfta med lastebil. Dette foregikk frem til ca. 1970, så rørnett som ble lagt i denne perioden har hatt store problemer med brudd. I figur 15 kan vi se at 21 % av dagens ledningsnett ble lagt i perioden 1941-1970. Fra 1970 ble det tilgjengelig med innvendig TV-inspeksjon. Dette førte til at en fikk ny kunnskap og kontroll på ledningsnett. Denne kunnskapen førte til stort fokus på hvordan ledningene ble lagt, hvilke masser som ble brukt rundt og behandlingen av rørene i anleggsfasen.

### *Funksjonskrav til rør*

Ved valg av rørmateriale, er det funksjonskrav som en må ta hensyn til ved dimensjonering. Den dimensjonerende levetiden skal være 100 år, så da må materialet være motstandsdyktig mot interne og eksterne påkjenninger, slik som kjemisk og mekanisk art. De største utfordringene er innvendig trykk, trykkstøt, hydrauliske krefter i bend, overganger, T-rør, innvendig erosjon, termiske spenninger, frost, utvendig jordtrykk, trafikklaster, punktlaster, korrosjon og setninger i grunnen. Det er også viktig å ta stilling til grøfta røret skal ligge i. Disse faktorene for valg av rørmateriale er fremstilt i VA/miljø blad nr. 30: [22]

- Type grøft (jordgrøft, fjellgrøft, borehull, no-dig)
- Bunnens beskaffenhet (ujevnheter, massefordeling, type løsmasser)
- Grunnvannstand (spesielt viktig i lekkasjebildet med tanke på innlekking)
- Grunnens aggressivitet/korrosjon
- Belastning (dype grøfter, trafikk, frost og dårlige fyllmasser)
- Type installasjon

### *Årsak til ledningsbrudd*

Årsaker til at det blir brudd på rør er mange: [10]

- Alder på røret
- Rørets diameter – store diametere opererer med forskjellig trykk og påkjenning, det er såpass forskjell at sannsynligheten for ødeleggelse er større enn ved mindre diametere.
- Rørmateriale – det er stor forskjell i motstand mot last og påkjenning for forskjellige materialer.
- Rørlengde – økende lengde øker sjansen for brudd.
- Antall observerte brudd – det er viktig å kjenne til hvor hyppig det har vært brudd og hvordan røret har oppført seg. Dersom det har vært et høyt antall brudd, er røret mer utsatt for flere.
- Trykket i røret – dersom det er høyt trykk eller hyppig endringer av trykket, øker sjansen for brudd i røret. Derfor er det viktig å opprettholde noenlunde uniformt trykk.
- Temperatur rundt røret – Det er mye bevegelse i bakken grunnet temperatur, dermed har det en del å si for sjansen for brudd.

- Omgivelser – det har noe å si hva som er i området rundt, hvis det for eksempel er industri i nabolaget blir rørene utsatt for ugunstige belastningsforhold, som kan øke sjansene for brudd.
- Trafikklast – rør som blir lagt under veier med stor trafikk har økt sjanse for brudd, på grunn av lasten. Sjansen øker mye dersom rørene ikke er langt under bakken.
- Lastpåføring fra byggeplass – Det er en stor påkjenning for rør under en byggeplass, dette kan føre til brudd.
- Grunnmasser – massene som befinner seg rundt røret påvirker kvaliteten ved at tørre masser kan forårsake brudd ved at det blir bevegelse i grunnen. Som motsetning kan våt masse forårsake erosjon.



## 2 Teknisk gjennomgang

### 2.1 Indikatorer på virkelig tap

Det er ingen standard for hvilken metode som skal brukes for å beregne og estimere virkelig tap i form av lekkasjer i vannverk. De mest brukte ytelsesindikatorene, PI, for beregning av virkelige tap er:

- Vanntap i form av prosentandel av vannmengde sendt inn i systemet
- Volumtap per lengdeenhet av rørrnett per tidsenhet
- Volumtap per eiendom per tidsenhet
- Volumtap per stikkledning per tidsenhet
- Volumtap per lengde av systemet(hovedledningsnett og privat ledningsnett) per tidsenhet.

Valg av metode som brukes for beregning av virkelig tap gjøres ofte på grunnlag av hvilke parametere vannverket eller kommunen har tilgjengelig, eller tradisjonene til landet. [23]

I henhold til EU's rapport om god praksis for lekkasjehåndtering[13] er de mest egnede PI for å kvantifisere lekkasjemengde:

- Volum per an boring per år, dag eller time.
- Volum per km av hovedledningsnett per år, dag eller time.
- Volum per betalende eiendom per år, dag eller time.

Det er noe diskutert blant fagfolk om å beregne vanntap ved prosentandel av vannmengde sendt ut i systemet, er en god metode. Det er store forskjeller på distribusjonsnett, dette kan derfor ha betydning for om det blir et realistisk bilde på lekkasjetap ved å uttrykke det i prosent. Det er påvist at mange lekkasjetilfeller skjer i skjøten mellom hovedvannledning og stikkvannledninger. En kan innføre PI beregninger for lekkasjer ved å se på liter/stikkvannledninger(antall)/dag og liter/km/dag.

I tillegg anbefales det å se på sammenhengen mellom CARL(current annual real loss) og UARL(unavoidable annual real loss). Disse parameterne tar for seg flere faktorer for å gi et bilde på situasjonen i systemet en ser på. Det tar for seg antall anboringer, plassering av

vannmåler til eiendommene og gjennomsnittlig driftstrykk. Forholdet mellom CARL og UARL blir en dimensjonsløs parameter ILI(Infrastructure Leakage Index). UARL beregnes som vist i formel 2.1. [13]

$$UARL = (6,7 * Lm + 0,256 * Nc + 9,13 * Lp) * P \quad (2.1)$$

Der:

UARL = uunngåelig årlig virkelig tap[m<sup>3</sup>/år]

Lm = total lengde på distribusjonsnett[km]

Nc = antall påkoblinger med stikkledninger[n]

Lp = total lengde fra hovedvannledning til private vannmålere [km]

P = midlere trykk[mVs]

CARL beregnes for eksempel ved tradisjonell metode med IWA's vannbalanse. Når en da har verdiene CARL og UARL kan ILI beregnes som vist i formel 2.2.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (2.2)$$

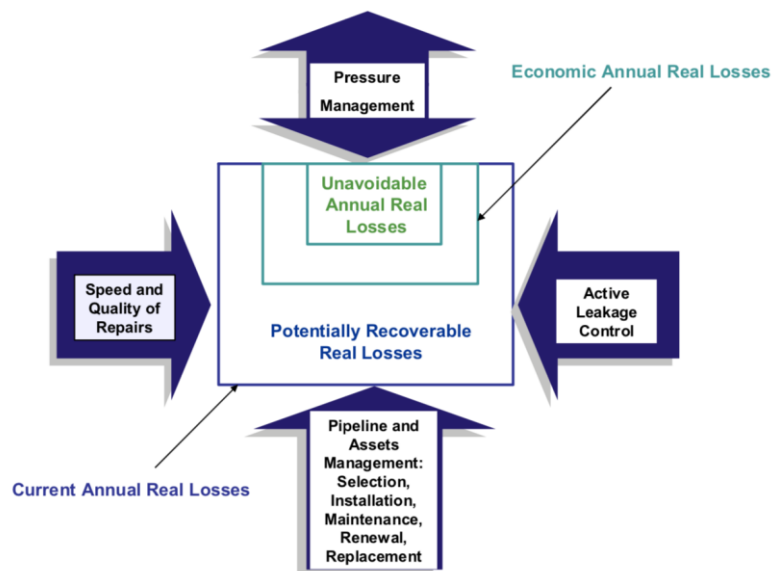
Ved å se på ILI-verdien som blir beregnet, kan en ut ifra figur 16 klassifisere arbeidet i form av lekkasjereduksjon i systemet en beregner for. Det klassifiseres også i forhold til om det er i- eller u-land

Low and Middle Income Countries ILI range	High Income Countries ILI range	Leakage Performance Category LPC	Calculated ILI for this System	General description of Leakage Performance(LPC) Categories (LPC limits for Low and Middle Income Countries are double those for High Income Countries)
Less than 3	< 1.5	A1	1.3	Further loss reduction may be uneconomic unless there are shortages; careful analysis needed to identify cost-effective improvement
3 to < 4	1.5 to < 2	A2		
4 to < 6	2 to < 3	B1		Potential for marked improvements; consider pressure management, better active leakage control practices, and better network maintenance
6 to < 8	3 to < 4	B2		
8 to < 12	4 to < 6	C1		Poor leakage record; tolerable only if water is plentiful and cheap; even then, analyze level and nature of leakage and intensify leakage reduction efforts
12 to < 16	6 to < 8	C2		
16 to < 24	8 to <12	D1		
24 or more	12 or more	D2		Very inefficient use of resources; leakage reduction programs imperative and high priority

Figur 16: Internasjonal lekkasjereduksjonsarbeid kategorisert barsert på ILI.[13]



I figur 17, er det en illustrasjon som er mye brukt internasjonalt for å demonstrere de essensielle prinsippene som må tas stilling til for å drive effektiv økonomisk forvaltning av virkelige tap.



Figur 17: Komponentene som må tas stilling til for å kontrollere det virkelige tap.[24]

## 2.2 Soneinndeling

Tradisjonelle åpne distribusjonssystemer som maksimerer gjennomstrømningen og har fri flyt fra alle vannkilder, kan skape store problemer for operatørene. Problemene som oppstår er miksing av vann fra forskjellige vannverk, og forskjell i trykk på systemet som møtes på et tidspunkt. Åpne systemer kan også være sårbare med tanke på brudd i strømtilførsel, lite informasjon fra distribusjonsnettet og mangel på kontroll. Ved å dele inn distribusjonsnettet i flere soner, gjør en det enklere å forstå nettverket. En kan få bedre analyser av trykk og flyt profiler, samt identifisere problemområder. [7]

Soner kan for eksempel deles inn i områder med diskret trykk, det kan eksempelvis være en sone som ikke kan ha tilførsel via tyngdekraften. Den sonen kan bli isolert med endeventiler og en trykkøkningspumpe for å forsyne sonen med vann. Dersom et område har flere vannkilder, kan det være gunstig å dele inn i soner tilhørende en vannkilde, slik at det ikke oppstår problemer med kvaliteten på vannet på grunn av miksing av to kilder.

Hvis en skal opprette soner i et distribusjonsnett er det ikke bare å stenge noen ventiler her og der, for å skille områdene. Det er viktig å finne soner ut i fra at det blir naturlig hydrauliske og geografiske grenser. Eksempler på slike grenser kan være jernbane, elver, kanaler og hovedveier. Videre er det noen punkter som er viktig i forhold til å dele inn i soner:

- Ha en vannkilde, for å minimere sjansen for dårligere kvalitet på vannet
- Ha et innløp for vannforsyningen, slik at en styrker nøyaktigheten av strømningsmåling og lekkasjedata.

Nedenfor er det en steg for steg oppskrift på hvordan en oppretter soner:

- Identifisere mulige grenser til sonen ved bruk av kart, kart over rørnett og inspeksjon av området.
- Gjennomføre en kontroll av den foreslåtte sonen, det inkluderer å sjekke status og tilstand av grenseventilene.
- Samle data om soneegenskapene (antall hus, industri etc.)
- Måle strømmingen og trykket i distribusjonsnettet i sonen ved analyser eller tester i felt.

- Isolere sonen og samle data over vannmengde og trykk på dagtid ved å bruke vann- og trykkmålere.
- Kalkulere ønsket måleformat.
- Evaluere potensialet til trykkforvaltning.
- Installere utstyr.
- Markere grenseventilene tydelig.

## 2.3 Implementere trykksoner

Effekten av å implementere trykksoner i distribusjonsnett har fått mye oppmerksomhet fra tidlig 2000-tallet. Det har vist god effekt ved å minske vanntapet og minimere bruddfrekvensen til ledningsnett. Derfor kan det være svært fordelaktig å implementere trykksoner i distribusjonsnett. [25]

For å implementere trykksoner er det fremstilt en 4-steps strategi som forklarer hvor en skal begynne.

- Steg 1: Vurdere sannsynligheten for trykkforvaltningsmulighetene, basert på type forsyning, om det er tyngdekraft eller pumper, og hva gjennomsnittstrykket er.
- Steg 2: Begynne med undersøkelser og antakelser om effekten av trykkforvaltning i enkelte deler av systemet.
- Steg 3: Identifisere mulighetene for å oppnå økonomisk operasjonstrykk, for å redusere frekvensen av nye lekkasjer, og strømningshastigheten for lekkasjer.
- Steg 4: Velg den trykkforvaltningen som passer best for systemet.

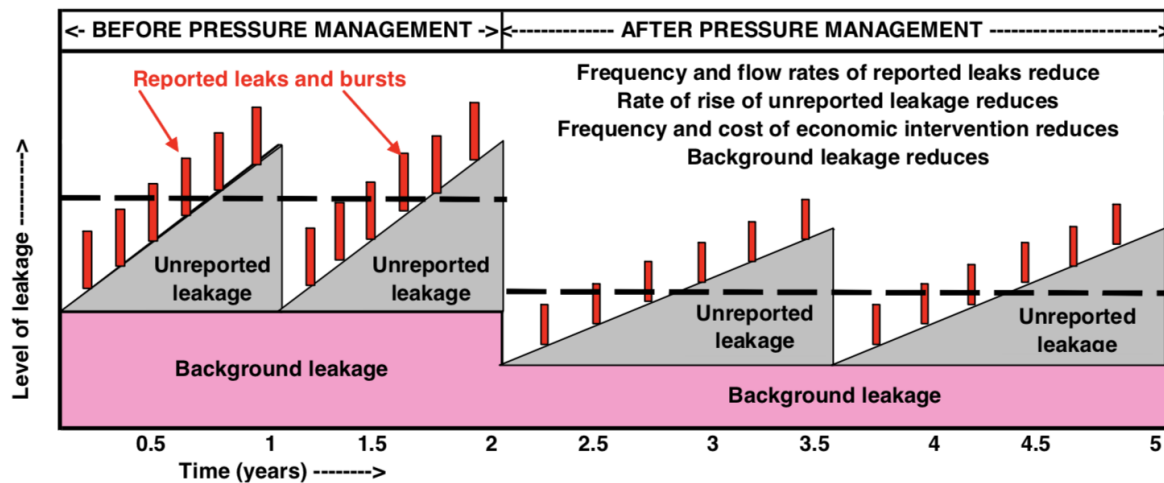
Vurderingen rundt implementering av trykkforvaltning kan enklere gjennomføres ved bruk av dataanalyser som kan fremstille sannsynligheten til tiltakene. Da er det lettere for de driftsansvarlige å vurdere eventuelle tiltak før de settes i gang.

Trykkforvaltning i et ledningssystem kan gjøres på forskjellige måter. Men, det er viktig å ikke redusere trykket så mye at det går utover forbrukerne eller brannvann. Forskjellige måter å føre trykkforvaltning er:[10]

- Fast trykkregulering i utløp

- Tidsmodulert trykkontroll
- Strømningsmodulert trykkontroll
- Lukket system og hydraulisk kontroll.

Effekten av å begynne med trykkforvaltning kan ha en del å si for vannmengden som renner ut uten å bli oppdaget, i tillegg til at det blir færre brudd på ledninger. Figur 18 er en illustrasjon på effekten. [20]



Figur 18: Effekten av å opprette trykkforvaltning.[20]

## 2.4 Erfaringer med lekkasjesøking

Norsk Vann har utredet en rapport som tar for seg erfaringer med lekkasjekontroll. [8] I denne rapporten kommer det frem at metoder med god erfaring er korrelatorer, marklytting og lytting i kummer. Det er derimot noe problemer med disse metodene ved søk på plastledninger. Da benyttes ofte korrelator med hydrofoner og marklytting i tillegg, for kontroll.

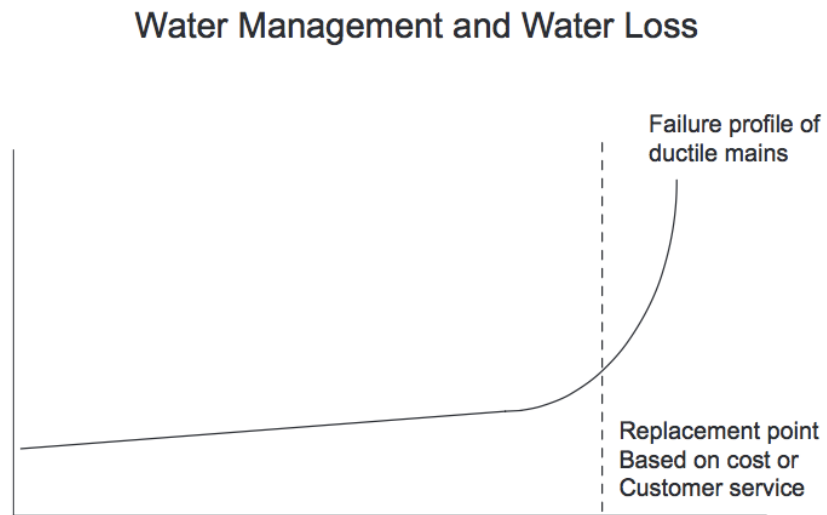
Metoder som har gitt dårlig erfaring er flere. Ventilstengning er vanskelig på grunna av fare for trøkkløst nettverk med undertrykk og innsug av forurensninger. På grunn av stopp i vannstrømmen eller at den blir snudd kan det også bli en ulempe med at vannet er brunt når det kommer til forbrukeren. Som en løsning kan stengeventilen strupes i stedet, for å avdekke forbruk i en sone. Flere metoder med dårlig erfaring er lydloggere på grunn av høy følsomhet for støy rundt. Korrelator på plastledninger, vanskelig å treffe lekkasjepunktet på plastledningen. Lytting i kummer med plastrør. Å bruke metoden med gass på tette flater er det dårlige erfaringer med.

## 2.5 Reparasjon av lekkasjer

I det en har funnet ut at det er lekkasje på et rør, begynner prosessen med å reparere lekkasjen. En reparasjon kan være å feste en klemme over lekkasjehullet, kutte ut den delen det er brudd i og erstatte den med en ny del eller fitting. Det kan også være tilfeller der en bruker en treplugg eller tape til å tette lekkasjen. Dersom en konkluderer med å bytte ut større deler eller hele ledningen kan en gjøre det ved å fylle det eksisterende røret med strukturell eller semi-strukturell liner. [10]

I sin helhet er det en konstant jobb å holde et distribusjonsnett vedlike og opprettholde sikkerheten rundt vanddistribusjonen. Dersom en har oppdaget en lekkasje, starter prosessen med å se på kostnaden rundt å reparere eller skifte ut et rør. Det koster å reparere lekkasjer og erstatte rør, så en må alltid ta stilling til kostnaden og fordelene ved å skifte det ut. Utfordringen er å reparere lekkasjen før kostnaden blir større ved å måtte skifte hele røret når

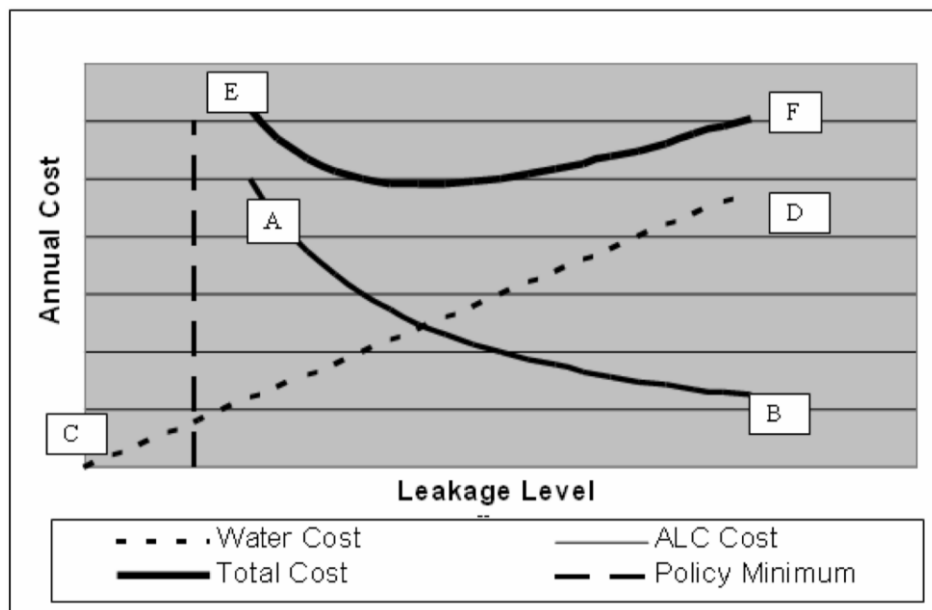
hullet kan ha blitt for stort til reparasjon. I figur 19 ser man sammenhengen med at økt kostnad og vannmengde øker i takt med økt bruddrate.



Figur 19: Levetiden til et ledningsnett med illustrasjon der bruddraten øker drastisk der vanntap og kostnad øker i takt.[10]

## 2.6 Lekkasjeøkonomi

I form av god drift rundt lekkasjereduksjon er det viktig å utrede hva som er økonomisk lekkasjenivå, ELL, for kommunen eller vannverket. Det vil si hvilken lekkasjemengde som tilsier at det ikke er kostnadseffektivt å investere mer i aktiv lekkasjekontroll. I figur 20 er det fremstilt sammenhengen mellom kostnad og lekkasjenivå i forhold til lekkasjemengde, aktiv lekkasjekontroll og total kostnad. Bunnpunktet i kurven for total kostnad, er det økonomiske lekkasjenivået. [7]



Figur 20: Kostnadseffektivt lekkasjenivå[26]

Verdien for ELL som beregnes, er ikke fastsatt som en verdi i lang tid. Det må tas hensyn til faktorer som at det er forskjell på årstider som påvirker bruddraten. Dersom det utføres tiltak i form av trykkreduksjon, reparasjon av lekkasjer og nye metoder for lekkasjereduksjon vil det påvirke verdien til ELL.

ELL er en beregning som må gjøres individuelt for hvert område, vannverk eller kommune. Det kan ikke tas utgangspunkt i beregningene som er gjort for et annet område, da lokale faktorer spiller inn i verdien til ELL.

### Direkte kostnader

I Bergen har det blitt gjort beregninger på hvor mye en lekkasje på en størrelse med en pennespiss vil koste. Det er fremstilt i tabell 2, denne beregningen er basert på et veldig lite hull, for å få frem hvor stor kostnad de små lekkasjene kan utgjøre. [27]

Tabell 2: Kostnaden for lekkasjer basert på tall fra Bergen kommune. [27]

Lekkasje pr.	Time	Dag	Uke
m <sup>3</sup>	2,5	60	420
Pris på vann pr m <sup>3</sup>	5,63 kr	5,63 kr	5,63 kr
Kostnad	13,40	322,00 kr	2251,00 kr

Det er de små lekkasjene som er de vanskeligste å oppdage. Det tar ofte flere år før de blir oppdaget i form av at det har gått fra å være en liten lekkasje til å bli et stort brudd på ledningen.

Norsk vann har utredet en rapport angående investeringsbehov i vann- og avløpssektoren. Her kom det i 2012 frem at investeringsbehovet for oppgradering av distribusjonsnett for vann er på 97 milliarder kr, for å nå en akseptabel standard. [28]



## 2.7 Strategi og planlegging av lekkasjereduksjon

Vannforsyningsforvaltning er hele tiden noe en må jobbe med. Selv om røret ligger under bakken og forsyner vann, betyr det ikke at det er problemfritt og ikke krever vedlikehold. Internasjonalt er det et populært begrep som omhandler vannforsyning, Infrastructure Asset Managing(IAM). Hovedelementene i dette er å optimalisere ytelse ved å ha fokus på og minimalisere kostnader og risiko ved vannforsyningen. [29]

I arbeidet med å forvalte infrastrukturen, er det 4 hovedelementer en burde ta stilling til for å jobbe mot den beste praksisen. [30]

1. Hvor er vi i dagens situasjon og hva slags service skal vi levere?
2. Hva er det vi forvalter i forhold til infrastruktur?
3. Hvor vil vi være på lang sikt?
4. Hvordan kommer vi oss dit?

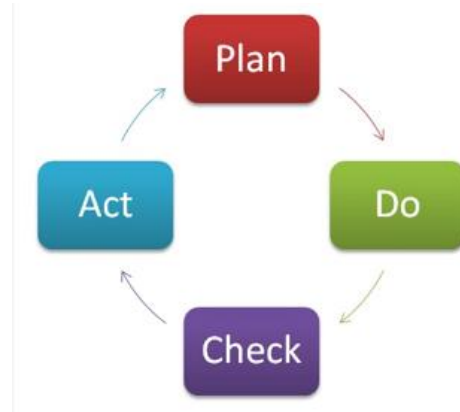
For å jobbe med en IAM profil må det planlegges i forskjellige nivåer. Det er strategisk nivå, som går inn på langsiktige planlegging rettet mot å etablere strategiske prioriteringer i forhold til mål, økonomiske rammer og nødvendig systemytelse. Taktisk nivå, der en jobber med å videreføre målene som er satt i strategisk plan og komme med konkrete tiltak. Til slutt er det operasjonell plan, der alle tiltakene planlegges og blir satt i drift.

For å effektivisere IAM strategien er det viktig å legge et grunnlag ved å sette inn en kapitalforvaltningspolitikk, utvikle implementerings- og overvåkningsplaner for å oppnå målrettede servicenivåer og kravspåregning. Man må også få en god forståelse av tilstanden til alle elementene i distribusjonsnettet og indentifisere potensielle farer og konsekvenser dersom de feiler.

I IAM analysen kan en implementere PDCA strategi. *Plan, Do, Check, Act* som vist i figur 21. Dette er en syklus som jobber mot å hele tiden forbedre seg. Disse fire stegene beskrives som essensielle punkter for å kontinuerlig jobbe med å forbedre seg, noe enhver bedrift burde ha fokus på. Prinsippene er som følger [31]:

- Planlegge: identifisere og analysere problemstillingen.

- Utføre: Utarbeide og prøve ut en potensiell løsning.
- Evaluere: Mål hvor effektiv løsningen var, samt analyse av forbedringsmulighet.
- Handle: Implementere løsninger.



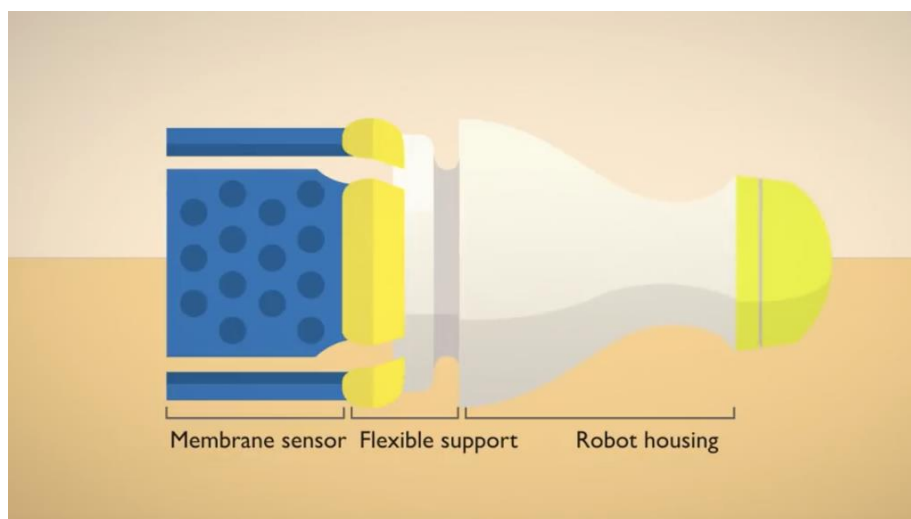
*Figur 21: PDCA-syklusen.[31]*

## 2.8 Ny Teknologi

De metodene som eksisterer for lekkasjesøking og blir hyppig brukt nå til dags, egner seg ikke like godt til å finne lekkasjer i rør av plast. De rørene som legges nye nå, eller skiftes ut er stort sett av PVC eller andre plastmaterialer. Dermed er det på tide å komme med ny teknologi i tillegg til det som allerede eksisterer. En av utfordringene i dag er å finne de små lekkasjene, derfor er dette noe som fokuseres på i nyere teknologi.

### “Badminton-flua”

Forskere ved MIT har jobbet med en ny metode for lekkasjesøking ved bruk av en robot som er formet som en badminton flue. Den skal gjøre søk etter lekkasjer i rørsystemet ved at den føler seg fram til lekkasjehull. Måten den lokaliserer lekkasjer på, er ved at membransensorene fyller røret og “føler” veggen. Når sensoren treffer et lekkasjehull registreres det i minnet og opp mot et kart nøyaktig hvor lekkasjen er. Formen på roboten er vist i figur 22, i tillegg ser en de forskjellige delene roboten består av.[32]



Figur 22: Lekkasjelokaliserende robot for vanddistribusjonssystemer.[33]

Lekkasjesøket foregår inne i røret, og er en analyse av rørveggen. Det er en god måte å finne lekkasjer fra rør av plast. Den er programmert slik at membransensorene skal kjenne forskjell på et lekkasjehull og en ujevnhet i røret. Siden den er fleksibel, er det mindre sjans for at den kan sette seg fast dersom det er mye grums og gjengroing i røret.

Fordelen med denne teknologien er at søket kan gjøres når som helst i løpet av dagen, da den baserer seg på vannstrømningen som er i røret. Det kan også skape problemer fordi en ikke har kontroll på hvor "badminton-flua" går, og den kan bli ført et annet sted enn forventet.

Prosjektgruppen har gjennomført 14 tester med roboten, der det har vært suksess hver gang. Den har også klart å påvise lekkasjer så små som  $6,31 * 10^{-5} m^3/s$  i testene som har blitt utført.

### *LeakSeek*

Ved NMBU er det satt i gang en arbeidsgruppe som ser på potensialet til en ny form for lekkasjesøk som baserer seg på bruk av ultralyd til å søke etter lekkasjer. Ultralydmålere eksisterer allerede, men formålet med dette prosjektet er å gjøre måleren liten i størrelse, og clamp-on. Det vil si at det er en liten måler som settes på røret utvendig, som kan måle vanngjennomstrømningen. I tillegg er den smart og kan kommunisere med en app eller datamaskin. I prinsippet skal den festes på eksisterende rør, eller så kan den integreres i nye. [34]

Motivasjonen til dette studiet er å finne de små lekkasjene som en ikke oppdager så lett ved de tradisjonelle metodene. I tillegg så ses det på muligheten for at denne sensoren kan måle kvaliteten på vannet.

Det er satt i gang en testrigg for dette prosjektet med gode resultater og det vil i nærmeste fremtid testes på eksisterende distribusjonsnett i Norge.

## 3 Casestudie

### 3.1 Nedre Eiker kommune

Nedre Eiker kommune ligger sør i Buskerud, innover dalen fra Drammen mot Hokksund. Kommunen er delt i to med Drammenselven som renner igjennom. Bebyggelsen sprer seg sør-nord fra elva og oppover dalsidene. Det er per 3. kvartal 2017 24 865 innbyggere i kommunen, med en forventet vekst til 28 595 innbyggere i 2030.[35]

Drikkevannsforsyningen kommer fra Glitrevannverket som eies av kommunene Nedre Eiker, Drammen, Lier og Røyken. I tillegg leverer vannverket vann til Frogn kommune og deler av Sande kommune. Det er fire vannbehandlingsanlegg som driftes, og leverer vann til ca. 145 000 mennesker. Dette samarbeidet ble vedtatt i 1968, og deretter begynte utbyggingen utover 70-tallet. I 1978 stod vannbehandlingsanlegget ved Glitre klart til å forsyne kommunene. Visjonen til Glitrevannverket er å sikre sunt og godt vann for generasjoner gjennom miljøfokusert, kompetent og systematisk forvaltning av våre kilder og vannforsyningssystem. [36]

I tillegg er kommunen med i et interkommunalt samarbeid, utviklingsprogrammet *Godt Vann Drammensregionen*. Arbeidet ble originalt startet av Glitrevannverket og dets samarbeidskommuner i 2004, i 2006/07 ble 7 kommuner til med på prosjektet. I første omgang ble det utviklet en hovedplan fra 2005-2015, nå er det en hovedplan for tidsrommet 2010-2021 som gjelder. Innenfor dette samarbeidet er det utviklet en egen arbeidsgruppe som fokuserer på lekkasjereduksjon, da det er kommet frem at lekkasjeprosenten er mellom 40-50%.

Denne lekkasjegruppen arbeider etter en firedelt strategi: (GVD, nettside)

- Systematisk lekkasjesøk
- Ledningsfornyelse
- Redusert vanntrykk
- Reparasjon av lekkasjer

Med en lekkasjemengde på opptil 50% og befolkningsøkning, kan det bli knapphet av vann i Drammensregionen i 2035. Dermed er det et viktig arbeid som er satt i gang med lekkasjefokus.

## 3.2 Hovedplan og mål

Hovedmålene til GVD er som følger: [37]

1. Redusere lekkasjemengden fra 50% i 2004 til 30% i 2020.
2. Redusere forbruket, hver husstand skal ha vannmålere innen 2013(2015)

Videre i hovedplanen til GVD er noen av hovedutfordringene i forhold til vann på avveie fremstilt i punktene under: [38]

- Vannverkene må levere nesten dobbelt så mye vann ut på nettet som forbrukerne har behov for, da omtrent halvparten av drikkevannet lekker ut før det når abonnentene
- En stor andel av dette lekkasjevannet finner veien inn i avløpsnettet og overbelaster dette.
- Overvann fra nedbør tilfører fellesledninger for avløpsvann og overvann slik at ledningsnettet overbelastes ytterligere med overløpsutslipp som resultat.
- Det behandles nesten 3 ganger så mye vann ved renseanleggene, som forbrukerne har levert. Det fortynnede avløpsvannet medfører dårligere renseeffekt ved renseanleggene.

Utfordringer til kommunene som kommer frem i forhold til situasjonen som er beskrevet over er:

- Dagens vannforsyningskapasitet kan over tid bli for liten, ved befolkningsvekst.
- Unødig sløsing med drikkevannsressursene.
- Redusert kapasitet i vannledningsnettet for hagevanning og sløkkevann.
- Overbelastning av avløpsnettet, med påfølgende overløpsutslipp og utlekking som medfører forurensning av badeplasser og jordvanningsanlegg.

Deretter kommer det frem strategier som det skal arbeides med:

- Det totale vannuttaket i samarbeidskommunene skal som et minimum stabiliseres på dagens nivå, slik at befolkningsvekst møtes med tilsvarende reduksjoner i lekkasjetapene.
- For å kunne måle og rapportere på utviklingen i lekkasjetapene, tas det sikte på å installere vannmålere i alle boligeiendommer innen 2015. Tiltaket kombineres med utstrakt bruk av sonevannmålere, fjernovervåking og oppsøkende lekkasjeteam.

Til slutt settes det opp veivalg for vann og avløpsløsninger i spredt bebyggelse – boliger/fritidshus:

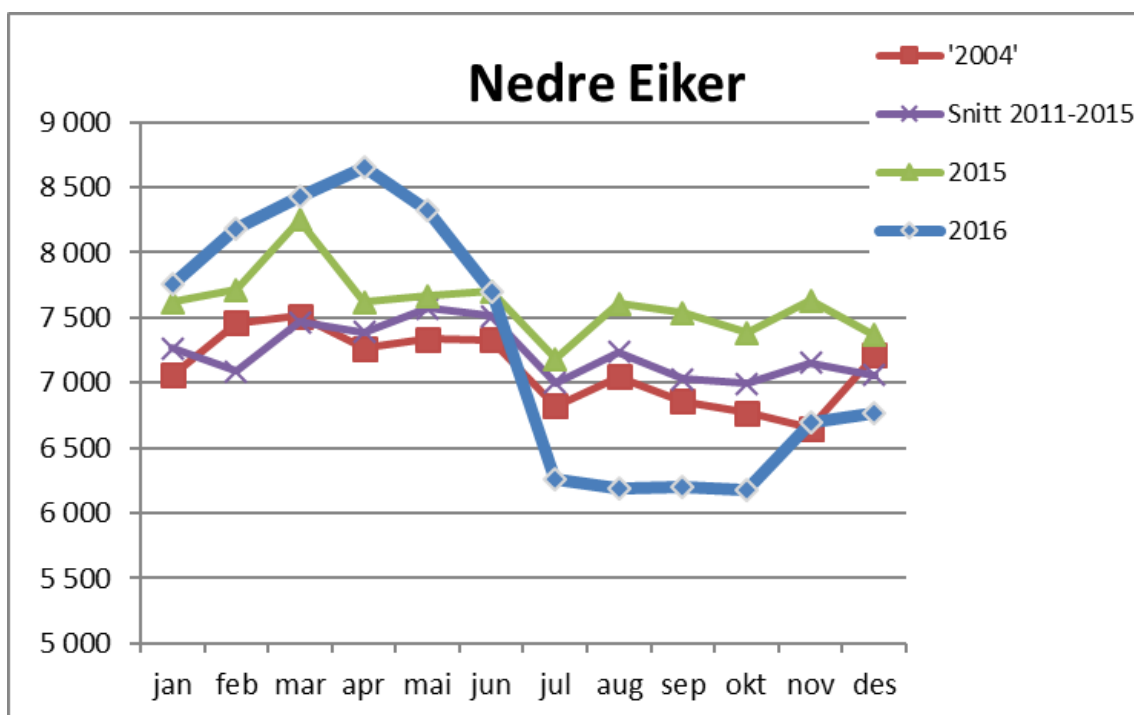
- Denne planen legger til grunn at kommunene skal utøve et høyt kommunalt engasjement for å sikre viktige samfunnshensyn.
- Graden av kommunalt engasjement må likevel alltid tilpasses lokale forutsetninger og forhold
- Viktig for valg av løsning i det enkelte tilfelle er bl.a. totaløkonomi og funksjonalitet med hensyn til brukerinteresser og tilgang til slokkevann.

Ut i fra denne hovedplanen, ble det iverksatt en fokusgruppe på lekkasjereduksjon. De jobber med å iverksette følgende tiltak, vannmålere i private boliger, i kombinasjon med sonevannmålere, fjernovervåking og oppsøkende lekkasjeteam for å beregne og reparere lekkasjer.

I tillegg til disse målene som er satt opp i GVD's hovedplan, har Nedre Eiker kommune satt seg som mål å opprette forbrukssoner, enkelt og greit for å få oversikt over lekkasjer. [39]

### 3.3 Vannforbruk

I hovedplanen for vann og avløp har de satt vannmengden i 2004 som en verdi som helst ikke skal overstiges. Målet er å få vannmengden under det nivået i alle samarbeidskommunene. Under i figur 23 kan vi se hva 2004 nivået er satt opp mot vannforbruket i 2015, 2016 og et gjennomsnitt fra 2011 til 2015. Her kan vi se at vannforbruket i 2016 var langt over ønsket 2004-nivå de første 6 månedene før det er et betraktelig mindre vannforbruk fra juni/juli. Årsaken til at vannforbruket minket såpass, er at kommunen jobbet med å tette lekkasjer i sommermånedene.



Figur 23: Vannforbruk Nedre Eiker kommune [40]

Arbeidet som ble gjort med å tette lekkasjer utgjorde en stor forskjell og viste raskt resultater på vannforbruket til kommunen.

Spesifikt forbruk i Nedre Eiker kommune var i 2016 123 l/pe/døgn.



### 3.4 Lekkasje

GVD beregner lekkasjemengden ved å bruke beregning basert på vannbalanse, topp-ned metoden til IWA, og ved å se på nattforbruket, bunn-opp til IWA. Beregningene som er gjort blir fremstilt i delkapitlene under. Deretter kommer det frem tall rundt søking etter lekkasjer og reparasjon.

#### *Vannbalansen(topp-ned)*

Dette er basert på IWA's beregning av lekkasjemengde basert på vannbalanse. Tallene som er i tabell 3 er hentet fra vedlegg 1 der det også er beregnet prosentandel avvik som er antatt i forhold til tallene som en har målt og beregnet.

*Tabell 3: Lekkasjemengde basert på IWA's metode for vannbalanse. Tallene er hentet fra vedlegg 1.*

	Min	Middels	Maks
Levert vann [m <sup>3</sup> /år]	2 608 429	2 661 662	2 714 896
Legalt forbruk [m <sup>3</sup> /år]	1 319 628	1 394 027	1 515 005
Lekkasjemengde [m <sup>3</sup> /år]	1 040 191	1 241 019	1 381 959
Lekkasje [%]	38	47	53

#### *Nattforbruk(Bunn-opp)*

Ut ifra beregninger av nattforbruk ser lekkasjesituasjonen slik ut, se tabell 4 der det er tatt i betraktning med avvik i målinger og beregninger. Tallene er hentet fra vedlegg 2.

*Tabell 4: Lekkasjeberegning basert på nattforbruk i Nedre Eiker kommune*

	Min	Middel	Max
Levert vann[m <sup>3</sup> /år]	2 688 564	2 743 433	2 798 302
Observert nattforbruk[m <sup>3</sup> /år]	1 592 069	1 768 965	1 857 413
Legalt nattforbruk[m <sup>3</sup> /år]	182 384	346 704	560 734
Reel lekkasjemengde[m <sup>3</sup> /år]	945 390	1 303 740	1 535 443
Lekkasje [%]	34	48	57

Ut ifra beregning av lekkasjemengde både ved bruk av vannbalansemetoden og nattforbruksmetoden ser vi at lekkasjemengden i Nedre Eiker kommune ligger på ca. 47-48%, tatt utgangspunkt i middelveidien av beregningene. Disse tallene er ifra 2016.

### *Antall lekkasjer*

Fra arbeidet med lekkasjesøking som begynte igjennom GVD samarbeidet i 2004, er det funnet 316 lekkasjer på private og kommunale rørledninger. Der 217 av lekkasjene er kommunale og 99 av lekkasjene er private. Tall er hentet fra vedlegg 4. Av disse lekkasjene er det 19 som ikke er rapportert reparert. Reparasjonstiden på de kommunale lekkasjene repareres raskere enn de private. Kommunen har som mål å reparere kommunale lekkasjer innen 24 timer, mens på private får de pålegg om å reparere lekkasjer dersom det har gått et par måneder uten at noe har blitt gjort.

Det er også registrert hvilken skadetype som har forårsaket lekkasjen som er fremstilt i tabell 5 under.

*Tabell 5: Skadetyper som er registrert ved lekkasjer i Nedre Eiker kommune. [41]*

<b>Skadetype</b>	<b>Nedre Eiker kommune</b>
Tverrbrudd	63
Tæring	0
Utsprunget flak	0
Langsgående brudd	9
Bom (ikke lekkasje)	3
Lekk i/ved fittings	3
Lekk i/ved pakning	16
Lekk i ventiltopp	0
Rusthull	75
Utglidning	1
Flere rusthull	3
Annet	0

Videre er det fremstilt registrert lekkasjeårsak i tabell 6.

Tabell 6: Årsak til lekkasje registrert ved reparasjon i Nedre Eiker kommune. [41]

Lekkasjeårsak	Nedre Eiker kommune
Setning i grunn	51
Utvendig korrosjon	65
Skade i pakning	18
Innvendig korrosjon	2
Sprukket rør	0
Skade i fittings	3
Skollinger	9
Utilstrekkelig tilspenning	1
Gravearbeid	2
Skade i armatur	3
Utglidd skjøt	6
Annet	0

De metodene som er brukt ved reparasjon av lekkasjer som er registrert, vises i tabell 7. Her ser vi at den mest brukte reparasjonsmetoden er klammer over lekkasjehullet.

Tabell 7: Hvilke reparasjonsmetoder som er benyttet ved lekkasjer. [41]

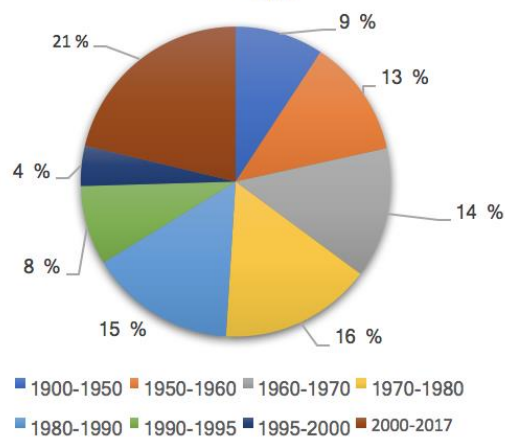
Reparasjonsmetode	Nedre Eiker kommune
Rep. klamme	115
Innskjøting	13
Utskifting av rørlengde	0
Utskifting av fitting	2
Annborringsklamme	0
Reparasjon av fittings	1
Tilstramming	0
Innskjøting med skjøtemuffe	0
Annet	3

Det er to typer brudd som har størst utslag i Nedre Eiker kommune, det er tverrbrudd på gråjernsrør og rusthull på galvrør.

### 3.5 Hva består distribusjonsnettene av

Nedre Eiker kommune har oversikt over hvilke typer rør som er lagt i fra 1900 som vist i vedlegg 8. Her kan vi se at PVC er det mest brukte materiale med 49681 m, etterfulgt av duktilt støpejern med 43686 m, og grått støpejern med 34510 m.

**Fordeling av årsintervall rørene i Nedre Eiker er lagt**



Figur 24: Fordeling av når rørene i Nedre Eiker er lagt. Tall er hentet fra vedlegg 8.

I figur 24 er det delt inn i prosentvis fordeling av årsintervall ledningsnettene er lagt. Prosentandelen som er lagt før 1980, er 52% av det totale ledningsnettene. I perioden fra etterkrigstiden til 1970 ble 27 % av ledningsnettene lagt. Dette er den mest kritiske perioden i forhold til rørens holdbarhet, når det gjelder rør som er lagt i Norge.

### 3.6 Lekkasjesøking

Hovedarbeidet med lekkasjesøking i Nedre Eiker kommune er ut i fra GVD samarbeidet. Der brukes det DIMS som et analyseverktøy for grovlokalisering av lekkasjer.

#### *Vannmålere*

I Nedre Eiker kommune er det omtrent 100% dekning på vannmålere i private boliger. I forhold til lekkasjeutredning er dette et essensielt tiltak. Det gir god kjennskap til vannforbruket i kommunen og kan brukes som et aktivt verktøy til måling av lekkasjer. Det er i tillegg installert vannmålere i strategiske kummer i kommunen. Informasjonen fra vannmålerne i kummene sendes til en database og en kan analysere tallene i forhold til om det er en lekkasje i området. Verktøyet som brukes er DIMS og blir forklart under.

Vannmålerne som hovedsakelig er i bruk i kommunen er ringstempelmålere, i tillegg er det noen vingehjulsmålere. Fordelen ved bruk av ringstempelmålere er at de kan måle svært lavt vannforbruk, som for eksempel rennende toalett i motsetning til vingehjulsmålere. [42]

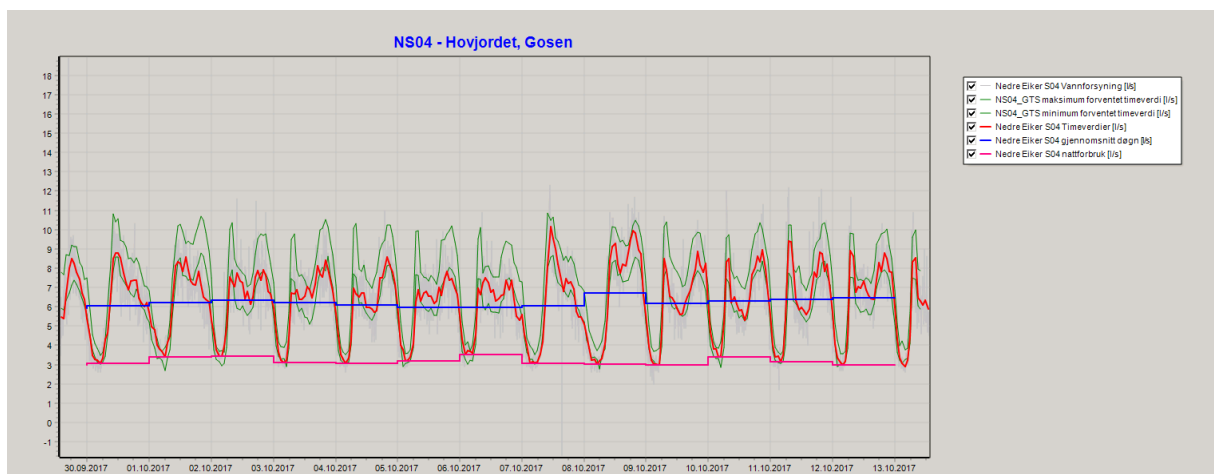
Vannmålere har begrenset levetid og vil med årene miste effekten. Det er derfor viktig etter 10 års bruk å sjekke om det er nødvendig å skifte de ut. Ringstempelmålere kan kobles opp mot fjernavlesning.

Fra og med 2017 skal det kun bli installert fjernavleste ultralydmålere i Nedre Eiker kommune. Disse målerne kan ha en levetid på opptil 16 år og kan gi informasjon dersom det er lekkasje eller brudd i systemet. Ultralydmålerne har også en batterilevetid på opptil 16 år, og trenger kun å skifte batteriene i motsetning til andre vannmålere som må byttes med en ny. Disse målerne kan føre til mer nøyaktig avlesning av vannforbruket. I tillegg kan de varsle om noe ikke er som det skal.

## DIMS

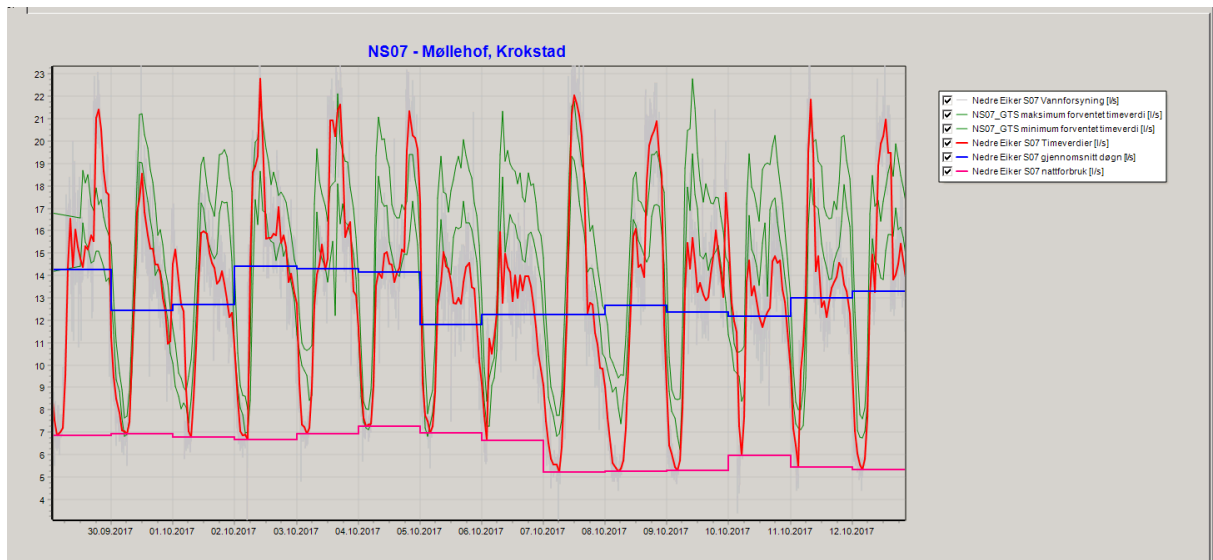
Dette verktøyet brukes for å samle inn data i forbrukssoner og deretter bearbeides informasjonen ved å overvåke vannforbruket i forbrukssonen. Flere lekkasjer har blitt lokalisert på bakgrunn av dette verktøyet. Denne metoden krever at en har hatt analyser over lengre perioder, gjerne et år. Dette verktøyet er basert på vannmålere og kommunikasjon mellom disse og databasen. Det kan oppstå problemer og man får ufullstendige analyser.

I figur 25 er det tatt et skjermbilde av vannmengdeanalysen for Hovjordet i Nedre Eiker kommune som viser normal drift. Perioden er fra 30/09/17 til 13/10/17. En kan lese ut i fra dette diagrammet hva som er forventet maks og minimum timesverdi for vannforbruket, de grønne kurvene. Dersom alt er normalt vil den røde kurven, som er målt timesverdi ligge i mellom forventet maks og minimums timesverdi.



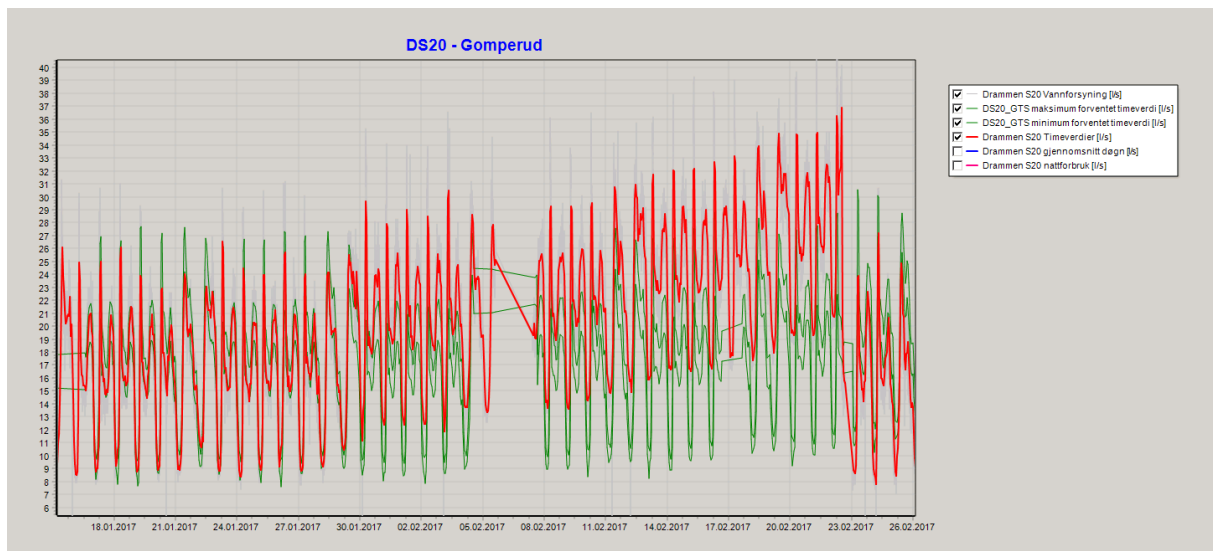
Figur 25: Analyse av vannmengden Hovjordet, Gosen i Nedre Eiker kommune hentet fra DIMS i GIS

I figur 26, ser vi et eksempel på at en lekkasje har blitt reparert. Mest sannsynlig har det vært en lekkasje der i en lengre periode som ikke har gjort stort utslag på analysene, men vi kan legge merke til at den er reparert. Det ser vi fra 06/10/17 at målt vannmengde blir lavere enn forventet minimumsverdi. I tillegg ser vi at målt nattforbruk er en del lavere enn forventet fra dette tidspunktet.



Figur 26: Vannforbruket ved Møllehof i Nedre Eiker kommune.

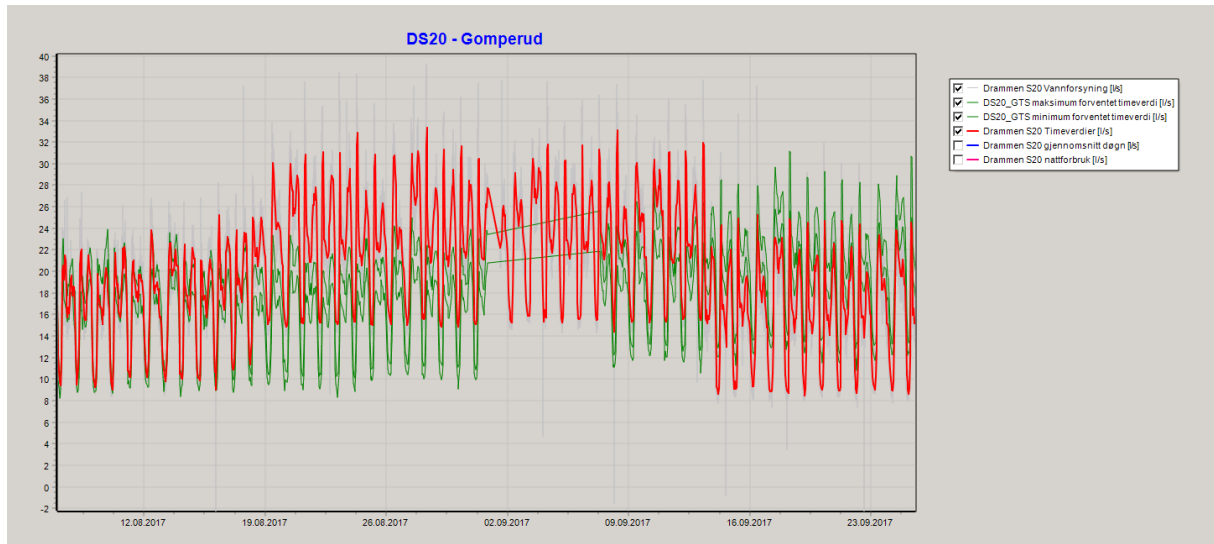
I figur 27 er det eksempel på en lekkasje som plutselig blir veldig stor. Det kan ha vært en liten lekkasje over en lengre periode, men så blir det brudd på røret rundt 30/01/17. Vannforsyninga øker mye og timesverdien ligger langt over forventet maksimal timesverdi. Nesten en måned etter ser en at lekkasjen er reparert ca. 23/02/17 og vannforsyningen minker til mer normalt nivå.



Figur 27: Analyse av vannmengden ved Gomperud i Drammen kommune, med en tydelig lekkasje.

I figur 28, ser vi at det igjen oppstod en lekkasje i et rør ved Gomperud rundt 19/08/17, dette er samme området som vist i figur 27. Denne lekkasjen skjer ganske plutselig, og har jevn flyt

frem til den er reparert 16/09/17. Selv om det ser ut som at lekkasjen oppstår plutselig, har det ofte i slike situasjoner vært en liten lekkasje over lengre tid som ikke har gjort utslag på analysen.



Figur 28: Analyse av vannmengde ved Gomperud i Drammen kommune.

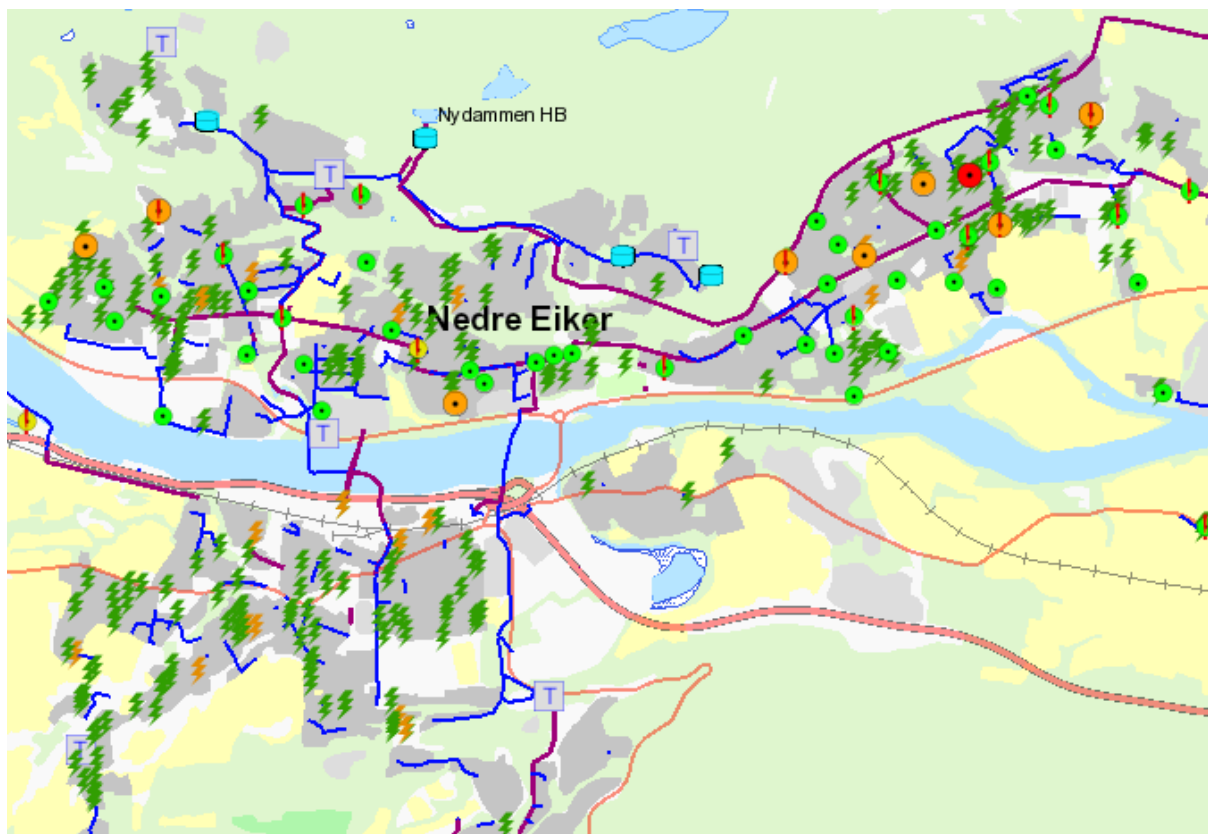
For å bruke DIMS til grovlokalisering av lekkasjer må det være en inndeling av forbrukssoner i Nedre Eiker. I vedlegg 6 er det et kart som viser forbrukssonene som benyttes i forhold til grovlokalisering av lekkasjer hos GVD.

### Permaloggere

Permaloggere gjør det enkelt og effektivt for vannverk og kommuner å overvåke ledningsnett for lekkasjer. Det er lydloggere som plasseres på rørfittings med en sterk magnet og lytter etter lekkasjer i rørsystemet rundt. Denne loggeren kan sende informasjonen den fanger opp direkte til datasentralen den er koblet opp mot. Dersom den oppdager en lekkasje sender den ut varsel.

Som vi kan se i figur 29 er det flere sirkler med grønn, oransje eller rød farge, dette er permaloggene som er plassert ut. Grønn betyr at det ikke er noe lekkasje, oransje betyr at det er oppdaget en lekkasje og rød betyr at det er oppdaget en ny lekkasje der nå. Som vi kan se på figuren er det flere av sirklene som har en rød strek i mellom og det betyr at loggeren ikke er i drift nå. Det kan være at batteriet er tomt eller den har mistet kontakten med datasystemet.





Figur 29: Oversiktskart over permaloggere(sirklene med svart prikk) og oppdagede lekkasjer(lynene) en del av Nedre Eiker kommune.

Det er ikke plassert loggere i hele kommunen i tilstrekkelig mengde, for å få god effekt av tiltaket. Hele tettstedet Mjøndalen i kommunen har ikke målere.

På dette kartet kan vi også se alle lekkasjer som har blitt funnet og registrert i GIS systemet. De grønne "lynene" har blitt reparert, mens de som er gule ikke er reparert enda. Dette er en fin oversikt å ha da en kan analysere ledningsnettets med antall lekkasjer hvert rør har hatt og om det er risiko for at det vil oppstå flere lekkasjer.

### Finlokalisering

Det er en egen arbeidsgruppe på 3 personer som jobber for GVD med finlokalisering av lekkasjer, det er da fordelt på kommunene i samarbeidet. I 2016 brukte de 12,5 % av tiden i Nedre Eiker kommune.

## 3.7 Lekkasjereduksjonsstrategi for Nedre Eiker kommune

I Nedre Eiker kommune har det vært fokus på lekkasjereduksjon i forhold til samarbeidet med Godt Vann Drammensregionen. I dette kapittelet vil jeg kun ta stilling til arbeid fra Nedre Eiker kommune sin side, men ta utgangspunkt i arbeidet som er gjennomført igjennom GVD.

Strategien som blir utarbeidet, vil ta utgangspunkt i teorien som er fremstilt tidligere i oppgaven for en optimal lekkasjereduksjon. Strategien bygger på IAM's 3 nivåer, strategisk plan, taktisk plan og operativ plan. I tillegg vil PDCA-prinsippet ligge i grunnen slik at det fører til en syklisk prosess.

Grunnlaget for denne strategien er informasjonen og materialet jeg har fått tilgang til igjennom kontaktpersoner i GVD og Nedre Eiker kommune.

### 3.7.1 Strategisk plan

I arbeidet med strategisk plan for lekkasjereduksjon vil jeg begynne med å beskrive utfordringene i kommunen. Se tabell 8.

Fargekodene som er brukt i tabell 8 er:

- Rød → Utfordringer på kortsikt, innen 2 år
- Gul → Utfordringer på midlere tidsperspektiv, 2-5 år
- Grønn → Utfordringer på langsikt, 5-10 år

Tabell 8: *Utfordringer med lekkasjereduksjon i Nedre Eiker kommune.*

<b>Aktiv lekkasjekontroll</b>
<u>Soner og soneregnskap</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- Det er lagt godt grunnlag for bruk av soner til grovlokalisering av lekkasjer i kommunen. En del jobb gjenstår for å optimalisere sonene og opprette flere soner for og få tilstrekkelige målinger.</li><li>- Beregne ILI for kommunen.</li><li>- Beregne økonomisk lekkasjenivå.</li></ul>

	<p><u>Lekkasjeidentifikasjon</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Igjennom GVD blir det brukt et godt verktøy, DIMS for å identifisere området en lekkasje er i. Men, det kreves bedre soneinndeling, målere som fungerer og gir tilstrekkelig informasjon.</li> </ul>
	<p><u>Lekkasjelokalisering</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- På grunn av lekkasjeidentifikasjonen, er det lettere å avgrense området lekkasjelytterne skal arbeide i. Det kan derimot resultere i at områder ikke blir søkt i uten identifikasjon i dataverktøyet.</li> <li>- På grunn av størrelsen på kommunen, er det ikke økonomisk forsvarlig å ansette fulltids lekkasjesøkere på egenhånd.</li> <li>- Det er plassert ut permaloggere i kommunen. Disse krever mer vedlikehold og flere søkepunkter burde opprettes i hele Nedre Eiker.</li> </ul>
<b>Vannmengdekontroll</b>	
	<p><u>Usikkerhet i beregning av lekkasjemengde</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Det er stor usikkerhet ved beregning av prosentandel lekkasje gjennom GVD. Oppretting av flere målesoner og mer nøyaktig målinger kan bedre dette.</li> </ul>
	<p><u>Mangel på kost/nytte analyse</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Igjennom GVD er det satt lekkasjemål som gjelder for alle kommunene i samarbeidet. Nedre Eiker har ingen egne mål når det gjelder lekkasjereduksjon eller kost/nytte analyse rundt lekkasjemengde.</li> </ul>
<b>Trykkforvaltning</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trykkforvaltning er ikke eksisterende i kommunen. Dette bør det tas stilling til om man skal jobbe med. Med tanke på høydeforskjellene i kommunen, kan det være et viktig arbeid for å oppnå bra nok trykk i høydene.</li> <li>- Dette kan implementeres i sammenheng med utredning av forbrukssoner.</li> </ul>
<b>Reparasjon av lekkasjer</b>	
	<p><u>Reparasjon på offentlig ledningsnett</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kommunen har gode rutiner for reparasjonstid av lekkasjer på kommunale ledninger, med mål om reparasjonstid på under 24 timer.</li> </ul>
	<p><u>Reparasjon på private stikkledninger</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dersom lekkasjesøkerne finner en lekkasje på det private nettet, sendes det ut varsel til eieren. De får en frist på et par måneder til å reparere lekkasjen. Hvis</li> </ul>

dette ikke blir gjort, sendes det ut pålegg om utbedring med 3 ukers frist. Denne praksisen kan bli strengere.

### **Fremtidige utfordringer**

- Ledningsnettets eldes, det krever fornying av distribusjonsnett.
- Forvaltning av VA digitaliseres. Det krever optimal drift og vedlikehold av de teknologiske verktøyene.
- Befolkningsvekst og tilflytning, distribusjonsnett må bygges ut og kunne levere nok vann til hele kommunen
  - o Se mot nyere teknologi ved utbygning.

Tiltak som er nødvendige for å jobbe mot god forvaltning med vandrdistribusjon blir fremstilt i tabell 9. Grunnlaget for tiltakene er hentet fra teorien og blir fremstilt for Nedre Eiker kommune.

Fargekodene som er brukt i tabell 9 er:

- Rød → Tiltak på kortsikt, innen 2 år
- Gul → Tiltak på midlere tidsperspektiv, 2-5 år
- Grønn → Tiltak på langsikt, 5-10 år

*Tabell 9: Tiltak som tar utgangspunkt i utfordringene i kommunen.*

### **Aktiv lekkasjekontroll**

- Etablere mål for aktiv lekkasjekontroll
- Etablere forbrukssoner
  - o Utvikle kunnskap og oppdatere soner
  - o Forvalte målinger og bruke de aktivt.
- Soneregnskap
  - o Opprette gode metoder for bruk av soneregnskap
  - o Jobbe ut i fra beregningene som eksisterer i GVD med PI, for å få mer nøyaktige lekkasjemengder.
- Aktivt bruke og forbedre analyseverktøy for lekkasjeidentifikasjon
  - o Samle alle målinger og data inn i ett dataverktøy
  - o Bruke analysene aktivt for å identifisere lekkasjer i en sone.
- Lekkasjelokalisering

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se mot ny teknologi for grovlokalisering og finlokalisering av lekkasjer</li> <li>○ Effektivisere søkene ved å tilpasse lokaliseringsteknologi med type søk og materiale det skal søkes i.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beregne økonomisk lekkasjenivå</li> </ul>
<b>Vannmengdekontroll</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fastsette mål</li> <li>- Få mer nøyaktige målinger og estimeringer til komponentene for beregning av lekkasjemengde med IWA´s metoder. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kartlegge alt offentlig forbruk</li> <li>○ Oppdatere vannmålere</li> <li>○ Kvantifisere lekkasjemengde privat og offentlig</li> </ul> </li> <li>- Uttrykke PI ved bruk av IWA´s vannbalansemetode</li> </ul>
<b>Trykkforvaltning</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- I sammenheng med soneinndeling burde det tas stilling til å opprette soner som vil kunne drifte god trykkforvaltning. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Prioritere områder som har behov for trykkoptimalisering</li> <li>○ Begynne smått i form av et pilotområde og arbeide videre ut i fra dette</li> <li>○ Sette mål for trykkoptimaliseringen</li> <li>○ Jobbe ut ifra disse målene.</li> </ul> </li> <li>- Ved å implementere trykkforvaltning, kan lekkasjemengden reduseres. I tillegg vil forbruket i husstander med høyere trykk enn nødvendig reduseres.</li> </ul>
<b>Reparasjon av lekkasjer</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effektivisere reparasjon av lekkasjer både offentlig og privat.</li> <li>- Stille strengere krav til reparasjonstid for private lekkasjer.</li> </ul>
<b>Fremtidige utfordringer</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En plan på utskiftning i forhold til tilstand til rør burde utredes. Dette kan gi stort utslag for lekkasjereduksjonen.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Å jobbe mot at vannmengden skal holdes stabil som den er i dag i forhold til befolkningsvekst. Befolkningsvekst og lekkasjemengde skal være proporsjonal.</li> </ul>

Per 2017 har Nedre Eiker kommune visjoner og mål om optimal drift av forbruksområder som det skal arbeides med i 2018. Målene som er fremstilt i kapittel 3.2 gjelder for samarbeidet

GVD. Derfor er det et viktig å se på egne utfordringer og tiltak som kan jobbes med i forhold til lekkasjereduksjon.

### 3.7.2 Taktisk plan

I arbeid med taktisk plan, videreføres tiltakene og målene som ble satt i den strategiske planen, samt komme med konkrete tiltak å jobbe med. Det må tas utgangspunkt i arbeid som er satt i gang i forhold til lekkasjereduksjon og komme med konkrete mål og en plan for videre arbeid.

#### *Soneinndeling*

En viktig del av det taktiske arbeidet for Nedre Eiker kommune blir å jobbe videre med eksisterende tiltak igjennom GVD. Soneinndeling er noe de skal fokusere på fremover, og dette vil bedre kvantifiseringen av lekkasjetap. Bedre soneinndeling, vil gi bedre grunnlag og data for beregning av lekkasjetap ved bruk av IWA's metoder.

For optimal bruk av soner ved identifikasjon av lekkasjer er det viktig at analyseverktøyet som brukes fungerer optimalt, slik at man får all informasjon som er nødvendig. Det vil være en konstant jobb å holde databanken og analyseverktøyet ved like. Kommunen bør legge til rette slik at alle verktøyene en har kan utvikle seg i takt med teknologien.

Ved beregning av ILI kan en klassifisere hvor kommunen står i forhold til lekkasjereduksjon. En grov beregning av ILI for Nedre Eiker kommune vil få en verdi på:  $ILI = 6,6$ .

Beregningen som er gjort er vist i vedlegg 9. For beregningen sin del ble det antatt et gjennomsnittstrykk på 40 mVs. En mer eksakt verdi for ILI må verifiseres av Nedre Eiker kommune. Men, hvis en tar utgangspunkt i denne verdien kan en se ifra figur 16 at denne verdien blir kategorisert som C2. Dette vil si at det er dårlig lekkasjehåndtering, noe som er akseptabelt dersom det er god tilgang på vann og det er billig, men det er fortsatt behov for å analysere mengden og årsaken til lekkasjer.

### *Trykksoner*

Ved siden av å se på inndeling av forbrukssoner vil det være gunstig for lekkasjemengden å se på muligheten for å opprette trykkforvaltning samtidig. Ved ny inndeling av soner er det gunstig å dele de inn slik at en kan få en optimal trykkforvaltning innenfor sonene. Det kan by på utfordringer siden det er stor høydeforskjell i kommunen, men kan være verdt arbeidet for å gi godt nok driftstrykk i de høyeste områdene.

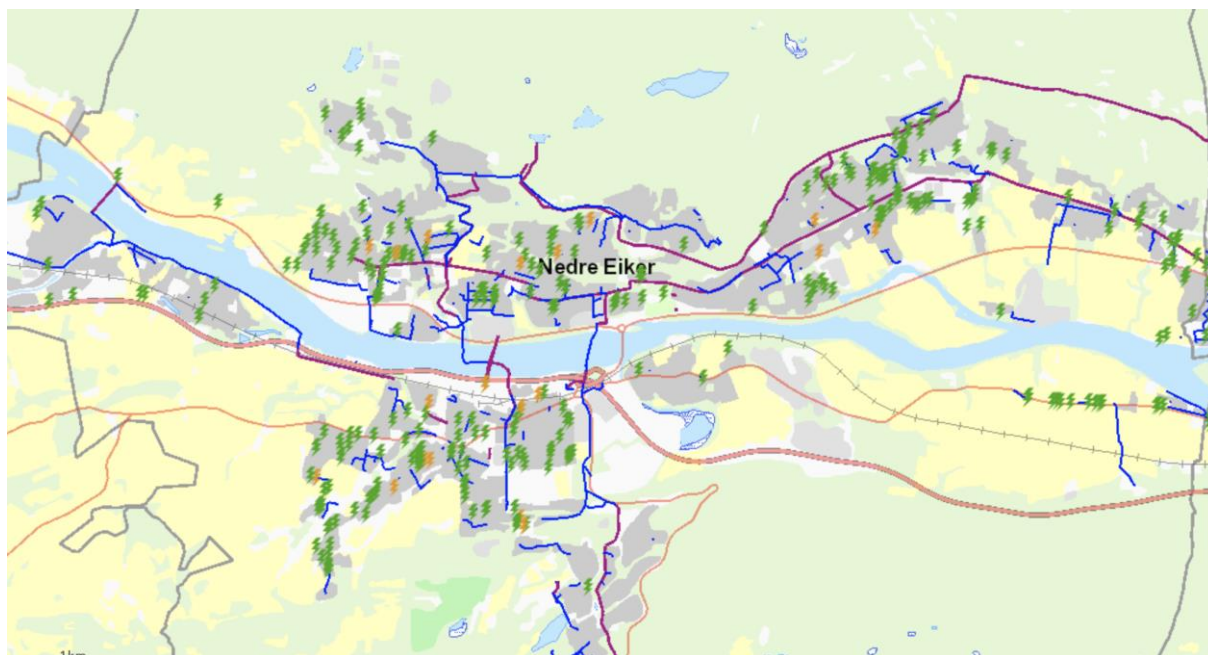
Ved implementering av trykkreduksjon er det derimot viktig å huske på at det ikke blir så lavt trykk slik at det kan bli innsug og vannet blir forurenset. Dette kan gjøres ved å sette en nedre grense på trykkreduksjonen. I forhold til å ha nok trykk, er det viktig å sørge for at det møter kravet om nok trykk til brannvann og sprinkleranlegg.

### *Rehabilitering og reparering*

Plan for rehabilitering og reparasjoner burde utredes og settes innenfor et tidsperspektiv. Hvor lang tid skal det ta før en lekkasje blir reparert. Hvilke ledninger burde skiftes helt med hensyn på alder og antall brudd på røret.

Det eksisterer god oversikt over hvor det har vært brudd på ledninger, og årsaken til bruddene som vist i tabell 5 og 6. Dersom 50% av ledningsnettets er mer enn 50 år gammelt, kreves det 1-2 % utskiftning per år. Det er et mål en kan ha i kommunen i stedet for å måtte gjennomføre store prosjekter når skaden har skjedd.

I GVD's registrering i GIS er det god oversikt over lekkasjene som er funnet i løpet av samarbeidet. Ut i fra disse funnene kan en se hvilke soner som det kan fokuseres på i forhold til rehabilitering. I figur 30 ser en lekkasjene som er registrert i Nedre Eiker kommune, det er god registrering på om den er på kommunal eller privat ledning.



Figur 30: Registrerte lekkasjer i Nedre Eiker kommune.

GVD har også startet med arbeid for å klassifisere ledningene i distribusjonsnettene til flere av samarbeidskommunene. Der ses det på flere faktorer mot hverandre i forhold til kvaliteten på røret, blant annet alder, antall lekkasjer og trykk. Dette arbeidet er noe Nedre Eiker kommune også burde engasjere seg i for å lettere se hvilke rør som vil trenge utskiftning i nærmere fremtid.

Det vil være fordelaktig for lekkasjemengden om Nedre Eiker kommune setter krav til abonnentene for reparasjonstid ved lekkasjer på stikkledninger. Det eksisterer ingen krav nå, annet enn at det sendes ut pålegg om reparasjon dersom det ikke er gjort noe etter et par måneder.

### *Ny teknologi*

Kommunen skal ved behov for utskiftning av vannmålere og sette inn nye, gå over til ultralydmålere med fjernavlesning. Dette vil effektivisere arbeidet med innsamling av data og gi mer nøyaktige målinger. Ved valg av type vannmålere kan det være en fordel å se på clamp-on modeller da disse plasseres utenpå ledningsnettene og ikke som en del av røret. Det forhindrer risikoen i at det kan oppstå lekkasjer i skjøten.



### 3.7.3 Operativ plan

På det operasjonelle plan jobbes det med planlegging av tiltakene og om de blir satt i drift. Det vil si å komme med konkrete utbyggingsprosjekter, lekkasjelokaliseringstøytøy og aktiviteter og gjennomføre tester for trykkoptimalisering i dette stadiet.

Her burde en se mot ny teknologi og løsninger for å optimalisere driften i takt med de målene som er satt. Det viktigste arbeidet en begynner med er å registrere data og drifte dette for å få et konkret og pålitelig bilde av lekkasjesituasjonen. I tillegg vil det hjelpe å ha optimalt datasett for å se på muligheten for suksess med de tiltakene som er fremstilt i den taktiske planen.

### 3.7.4 Gjennomføring av strategien

For at en strategi skal bli en suksess krever det at alle parter jobber sammen mot et felles mål. GVD har sørget for at 9 kommuner har gått sammen for å utrede en felles strategi med mål for samarbeidet. I tillegg til dette samarbeidet er det viktig for enkeltkommunene å jobbe på egenhånd mot mål som kan oppnås i forhold til lekkasjereduksjon for kommunen.

En kan se i figur 23 at vannforbruket til Nedre Eiker kommune minket drastisk i løpet av sommeren 2016 etter at flere lekkasjer ble reparert. Dette viser at konkrete og raske tiltak er viktige for små kommuner. Slike tiltak er nødvendige, men kortsiktige. Ved å arbeide ut i fra en strategi jobber en mot de langsiktige målene også. I tillegg til at strategien kan fornyes med jevne mellomrom.

Lekkasjer vil alltid eksistere i et distribusjonsnett, det er derfor vesentlig å se på kost/nytte for lekkasjemengde. Hvor stor lekkasjemengde kan det være uten at en taper store summer på å måtte produsere mer vann, og rense enda mer avløpsvann enn nødvendig. Det koster også jobbe med aktiv lekkasjekontroll, så det må vurderes hva som e

Det er viktig å huske på at en aldri blir ferdig med å jobbe med lekkasjereduksjon, jobben må gjøres kontinuerlig. Det er viktig å sette realistiske mål, og starte å jobbe ut ifra disse. Hele tiden analysere dataene en har og får underveis, og lære i prosessen.

### 3.8 Effekten av lekkasjereduksjon

Med hensyn på tidligere studier [43] sine angitte sannsynlige effekter, og kvalifisert antagelse bruker jeg de samme sannsynlighetene til beregningen av sannsynlig effekt i Nedre Eiker kommune. Se tabell 10.

Tabell 10: Estimert sannsynlig effekt av oppgradert lekkasjekontroll[43]

Arbeidsmetode	Sannsynlig effekt [%]	Anmerkninger
Vannmengdemåling	2-4	Må ses sammen med on-line
Lekkasjelytting	3-5	Alt påvisningsarbeid samlet
On-line modell	2-4	Forutsetter forvaltningsansvar
Trykkreduksjon	1-3	Må ses sammen med on-line
Rehabilitering av nettet	1-3	Utvelgelse av ledningsobjekter blir stadig vanskeligere
Endrede forvaltningsrutiner stikkledninger	1-3	Mulig kommunal overtagelse av stikkledning innenfor veiområde
GIS-modell for samlet analyse av lekkasjerelaterende forhold	1-2	Krever løpende oppdatering av kartverk og instruksjoner
<b>SUM</b>	<b>11-24</b>	

For å beregne hva effekten av summen til disse tiltakene vil ha på Nedre Eiker kommune tar jeg utgangspunkt i vannmengden, som ble mål til 2 661 662 m<sup>3</sup>/år og lekkasjemengden som ble beregnet til 1 241 019 m<sup>3</sup>/år i 2016. Regner om lekkasjemengden til å bli 40 l/s i denne perioden. Med en sannsynlig effekt mellom 11-24%, kan lekkasjevannmengden reduseres med 4,4 – 9,6 l/s. Det vil si at lekkasjemengden kan reduseres til ca. 33 l/s. Dersom vannforbruket holdes på nivå med 2016 blir lekkasjenivået redusert til 39%. Utrekningene som er gjort er vist i vedlegg 7.

## 4 Diskusjon og Konklusjon

Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i problemet med lekkasjer og hva som kan gjøres for å jobbe mot god lekkasjereduksjon. Problemstillingen i oppgaven var å se på arbeidet Nedre Eiker har gjort i forhold til lekkasjereduksjon og utrede en strategi for veien videre. Nedre Eiker har jobbet med lekkasjereduksjon i form av det interkommunale samarbeidet Godt Vann Drammensregionen. Før dette hadde ikke Nedre Eiker kommune noe strategi eller mål når det gjaldt lekkasjereduksjon.

Arbeidet GVD har gjort i forhold til lekkasjereduksjon har ført til kunnskap og utvikling, samt resultater. Tatt i betraktning er Nedre Eiker en av mange i samarbeidet og det kreves jobb på egenhånd, for enda bedre resultater. GVD gir et godt utgangspunkt for å arbeide strategisk og systematisk med lekkasjereduksjon, men det krever innsats fra hver enkelt kommune.

### 4.1 Diskusjon rundt strategien

Strategien som er utført, er gjort som et sluttprodukt til denne oppgaven. Dette er ikke noe Nedre Eiker kommune har etterspurt, strategien fremstiller tiltak jeg mener er optimale i forhold til tillært kunnskap om kommunen. Dette arbeidet er bygget på grunnlag av kommunikasjon med ansatte i Nedre Eiker kommune og GVD, og teorien rundt lekkasjereduksjon.

Oppbygningen av strategien er gjort på grunnlag av en IAM profil som bygger på strategisk, teknisk og operasjonelt nivå. Denne typen strategi egner seg godt for å jobbe mot kortsiktige og langsiktige mål. I tillegg er det implementert PDCA-prinsippet.

I den taktiske planen er det drøftet rundt konkrete tiltak som kan gjennomføres av kommunen.

En viktig faktor for å jobbe med lekkasjereduksjon er at hele samfunnet må være med på arbeidet mot tapte vannmengder. Der kan Nedre Eiker jobbe med å få lokalsamfunnet med, ved å engasjere til raskere reparasjoner av private lekkasjer. Det er mye vann som renner ut ved at det ikke er satt korte frister for reparasjon. Det kan settes strengere krav, ved å gi konsekvenser for at en lekkasje ikke blir reparert.

Tiltakene som blir fremstilt i strategien deles inn i kategorier i forhold til når tiltakene burde settes i gang. De tiltakene som har kommet frem er basert på hvilke som vil ha god effekt i forhold til kortsiktig og langsiktig planlegging. Effekten av tiltakene blir diskutert videre under.

## 4.2 Diskusjon rundt effekten av tiltakene

Disse sannsynlige effektene som er vist i tabell 11 kan være noe ukorrekte for Nedre Eiker kommune. Disse tallene ble brukt i en masteroppgave som omhandlet lekkasjereduksjon i Oslo kommune, der tiltakene har mye større sannsynlig effekt enn det vil ha mindre kommuner.

I Nedre Eiker kommune er det ca. 100 % dekning på husvannmålere, slik at effekten av å analysere vannmengden har nok mer å si enn 2-4 %. I Oslo kommune er det ikke fokus på husvannmålere, slik at sannsynlig effekt for analysering av vannmengden der er 2-4%. Aktiv lekkasjelytting skjer periodevis i Nedre Eiker kommune, slik at dette tiltaket utgjør kanskje 3-5 % eller mindre. Dersom man får opprettet bedre soner og lytter etter lekkasjer ut i fra identifiserte områder, kan den sannsynlige effekten bli noe høyere.

I GVD brukes det on-line modelleringer i GIS, der kan en føre inn mye informasjon og få god oversikt over distribusjonsnettets med DIMS-målinger i soner for lekkasjeidentifikasjon, og status på permaloggerne. Dette verktøyet kan utgjøre stor effekt i forhold til lekkasjeidentifikasjon, men det krever at alt av kommunikasjon mellom verktøyene og analysene fungerer.

Da det ikke er fokus på trykkforvaltning i Nedre Eiker kommune, kan det utgjøre en forskjell i lekkasjemengden dersom det innføres. Utfordringen med tiltaket er at trykket burde økes i det høyeste områdene i kommune, da det allerede er lavt driftstrykk der. I det store bildet kan det føre til at det holder lekkasjemengden stabil, ved utjevning av reduksjon i trykk. I de lavere områdene i kommunen vil det optimalt bli lavere trykk, mens i de høyere sonene blir det økning.

Ved at Nedre Eiker kommune innfører klassifisering av ledningsnettet som GVD har arbeidet med i andre samarbeidskommuner, kan det gjøre sannsynlig effekt av rehabilitering høyere enn 1-3%. Det vil resultere i systematisk utskiftning og etter min antagelse heve sannsynlig effekt til minst 3-5%. På grunn av størrelsen på Nedre Eiker kommune og vist effekt av aktiv reparasjon av lekkasjer i figur 23, vil jeg påstå den effekten.

For å jobbe med lekkasjereduksjonsstrategi krever det investering fra kommunen. Det er allerede investert penger i GVD samarbeidet, men det må brukes penger på egne tiltak i tillegg. Det vil derfor være gunstig for kommunen å beregne økonomisk lekkasjenivå, for å se hva som er et realistisk mål og oppnå.

### 4.3 Veien videre

Samarbeidet i GVD har lagt godt grunnlag for lekkasjereduksjon i form av aktiv lekkasjekontroll ved bruk av GIS-systemer til analyse av vannmengde og ledningsnett. Det krever derimot at Nedre Eiker kommune legger inn egeninnsats for å få effektivisert disse tiltakene optimalt.

Kommunen har på egenhånd arbeidet med å få godt utbygde soner og vil jobbe en del med dette i 2018. I tillegg til dette vil jeg anbefale å se på muligheten for trykkforvaltning da dette kan gi bedre trykk i de mest utsatte områdene for lavt trykk, og minke lekkasjemengde ved trykkreduksjon.

Sommeren 2016 viste det at bruk av lekkasjesøkere og aktiv reparasjon av lekkasjer har stor innflytelse på den totale vannmengden i kommunen. Dette er noe Nedre Eiker kommune definitivt burde fortsette med. Ved bedre soneinndeling, kan lekkasjesøkerne bli brukt mer effektivt innenfor soner der det er identifisert at det er en lekkasje.

I arbeidet med strategien har jeg tatt utgangspunkt for at denne skal gjelde kun for Nedre Eiker kommune, men bygge videre fra eksisterende tiltak igjennom GVD. De viktigste tiltakene Nedre Eiker kommune burde jobbe ut ifra er:

- Soneinndeling

- Med mulig implementering av trykksoner
- Optimalisere dataregistrering i analyseverktøyet GIS for å kunne kvalifisere strategien
- Klassifisere ledningsnett i kommunen, for å kunne jobbe strategisk med rehabilitering
- Utarbeide økonomisk lekkasjenivå for kommunen
- Ha strengere krav til reparasjoner av private stikkledninger.

Disse tiltakene vil gi en god start i arbeidet med lekkasjereduksjonen, men det vil hele tiden kreve utvikling for å få forbedret lekkasjenivået.

#### 4.4 Konklusjon

Lekkasjer fører til store kostnader. Som man kan lese av i vedlegg 3, hadde Nedre Eiker kommune en direkte kostnad på 2 978 444 kr i 2016 av lekkasjevann. Det er ikke bare økonomi som er en ulempe med lekkasjer, men det kan også være en helsemessig risiko. Vann er noe av det viktigste vi har, det krever effektiv drift og vedlikehold for å levere nok vann og trygt vann.

Igjennom samarbeidet med GVD er det satt som mål å få lekkasjeprosenten ned til 30% totalt innen 2021. Dette målet kan ikke arbeidsgruppen hos GVD oppnå på egenhånd, uten at alle samarbeidskommunen gjør innsats på egenhånd.

Strategien som er fremstilt og diskutert med tanke på tiltakene, kan vise seg å ikke være optimal for Nedre Eiker kommune. Dette kan være på grunnlag av manglende kunnskap om situasjonen i kommunen, kapasiteten til å innføre tiltakene eller misforståelser av hva som er beste praksis.

Uansett er forfatters konklusjon at Nedre Eiker kommune burde utarbeide strategi og mål for egen nytte, som bygger videre fra arbeidet og mål som eksisterer igjennom GVD. De kortsiktige tiltakene som er fremstilt i denne oppgaven burde implementeres, som et grunnlag å jobbe ut ifra.

## Litteraturliste

1. UN. *Water*. 11/12/17]; Available from: <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/>.
2. Ødegaard(red.), H., *Vann- og avløpsteknikk*. 2014: Norsk Vann.
3. Qvale, P., et al. *I denne kommunen forsvinner 73 prosent av vannet ut i ingenting*. 2015; Available from: <https://www.tu.no/artikler/i-denne-kommunen-forsvinner-73-prosent-av-vannet-ut-i-ingenning/193802>.
4. Hamilton, S. and B. Charalambous, *Leak Detection, Technology and Implementation*. 2013: IWA Publishing.
5. Mattilsynet, *Nasjonale mål - vann og helse, vedtatt av regjeringen 22. mai 2014*. 2014.
6. SSB. *Kommunal vannforsyning, 2014*. 2015; Available from: [https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann\\_kostra/aar/2015-06-16](https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostra/aar/2015-06-16).
7. Farley, M. and S. Trow, *Losses in Water Distribution Networks, A Practitioner`s Guide to Assessment, Monitoring and Control*. 2003: IWA Publishing.
8. Flatin A. et. al., *Erfaringer med lekkasjekontroll*, in *Norsk Vann Rapport*. 2009.
9. SCC Prosjektering A/S, *Lekkasjesøking, Grovlokalisering*. VA/miljø blad, 2008(20).
10. Hamilton, S. and R. Mackenzie, *Water Management and Water Loss*. 2014: IWA Publishing.
11. SCC Prosjektering A/S, *Lekkasjesøking, Finlokalisering*. VA/miljø blad, 2008(21).
12. Boulos, P.F. and A.S. Aboujaoude, *Managing leaks using flow step-testing, network modeling, and field measurement*. AWWA, 2011. **103**(2): p. 90-97.
13. Lambert, L., et al., *EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM*. 2015, European Comission.

14. Godwind, A., *Advanced metering infrastructure: Drivers and benefits in the water industry*. WaterWorld, 2016.
15. Leonetti, A. *Advanced Metering Infrastructure Market 2015-2021: Top Key players Cisco Systems, Inc., General Electric Corporation, IBM Corporation & Others*. 2017; Available from: [https://industrytoday.co.uk/pr\\_and\\_marketing/advanced-metering-infrastructure-market-2015-2021--top-key-players-cisco-systems--inc---general-electric-corporation--ibm-corporation---others](https://industrytoday.co.uk/pr_and_marketing/advanced-metering-infrastructure-market-2015-2021--top-key-players-cisco-systems--inc---general-electric-corporation--ibm-corporation---others).
16. Kamstrup. *Multical® 21/flowIQ® 21 xx*. 2017; Available from: [https://www.kamstrup.com/no-no/products-and-solutions/water-meters/residential-water-meter- /](https://www.kamstrup.com/no-no/products-and-solutions/water-meters/residential-water-meter-/).
17. Lambert, L., M. Fantozzi, and J. Thornton, *Practical approaches to modeling leakage and pressure management in distribution systems - progress since 2005*. 2013: 12th international Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013.
18. Pearson, D., et al., *Searching for N2: How does Pressure Reduction Reduce Burst Frequency?* 2005.
19. Thornton, J. and A. Lambert, *Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships*. 2005.
20. Lambert, A. and M. Fantozzi, *Recent Development in Pressure Management*. 2010.
21. Folkehelseinstituttet vannverksregisteret. *2014 MATS-VREG 3 Transportsystem*. 2014; Available from: <https://www.fhi.no/ml/drikkevann/ovrige-artikler/om-vannverksregisteret-vreg/>.
22. Norsk Rørsenter, *Valg av rørmateriell*. VA/miljø blad 2010(30).
23. Hamilton, S., R. Mckenzie, and C. Seago, *A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems*. 2006.
24. Fantozzi, M. and A. Lambert, *Including the effects of pressure management in calculation of Short-Run Economic Leakage Levels*. 2007.



25. Fantozzi, M. and A. Lambert, *Recent developments in predicting the benefits and payback periods of introducing different pressure management options into a Zone or small distribution system*. 2007.
26. Pearson, D. and S. Trow, *Calculating Economic Levels of Leakage*. 2005.
27. Miljø, b.o.t.t., vann- og avløpsetaten. *Stopp lekkasjen!* [cited 2017; Available from: <http://www.elkor.no/konfig/lekkasjeinfo.pdf>].
28. Ødegård, J., M. Persson, and T. Baade-Mathiesen, *Investeringbehov i vann og avløpssektoren, in Norsk Vann Rapport*. 2013.
29. Agency, U.S.E.P. *Asset Management for Water and Waste*. Available from: <https://www.epa.gov/sustainable-water-infrastructure/asset-management-water-and-wastewater-utilities>.
30. Alegre, H. and S.T. Coelho, *Infrastructure asset management of urban water systems*, in *Water Supply System Analysis-Selected Topics*. 2012, InTech.
31. PDCA. *PDCA Cycle(Plan, Do, Check, Act): The Deming cycle and the continuous improvement*. Available from: <https://pdcahome.com/english/267/pdca-cycle-continuous-improvement/>.
32. Chandler, D. *Find leaks while they are easy to fix*. 2017; Available from: <http://news.mit.edu/2017/robot-finds-leaks-water-pipes-0718>
33. PipeGuard/MIT. *MIT Leak Detection Robot for City Water Distribution Systems*. 2017; Available from: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=25&v=CohDhFkyiks](https://www.youtube.com/watch?time_continue=25&v=CohDhFkyiks)
34. Brekmo, V., et al., *Smart Water Tech, A feasibility study - Clamp-On Flow Ultrasonic sensor for monitoring water networks*. 2017.
35. SSB. *Kommunefakta, Nedre Eiker kommune*. 2017; Available from: <http://www.ssb.no/kommunefakta/nedre-eiker>.
36. Glitrevannverket. *Om Glitrevannverket*. Available from: <http://www.glitre.no/om-glitrevannverket/>.

37. Dupont, R.A., *Hva gjøres for å få oversikt over vannforbruket og lekkasjenivået, Norsk vann Fagtreff 2015 - Workshop om vannforbruk*. 2015.
38. Godt Vann Drammensregionen, *Felles hovedplan for vannforsyning og avløp i Drammensregionen 2010-2021*. 2010.
39. Larsson, T., *Personlig kommunikasjon om Nedre Eiker kommune*. 2017.
40. Godt Vann Drammensregionen, *Lekkasjekontroll, Årsrapport 2016*. 2017.
41. Godt Vann Drammensregionen. *Oversikt over lekkasjer og reparasjoner*. 2017; Available from: [http://www.godtvann.no/filarkiv/File/Lekkasjekontroll/Aktiv\\_lekkasjesoek/Lekkasjeregistreringer/Lekkasjeoversikt.htm](http://www.godtvann.no/filarkiv/File/Lekkasjekontroll/Aktiv_lekkasjesoek/Lekkasjeregistreringer/Lekkasjeoversikt.htm).
42. Schmidt, L.M., *Utskiftning av gamle vannmålere*, in *VA-nytt*. 2015.
43. Bosnjakovic, M., *Lekkasjereduksjon på vandistribusjonsnett - Strategi for Oslo kommune*, in *Leakage reduction in water distribution network - Strategy for Oslo municipality*. 2017, Norwegian University of Life Sciences, Ås.

## Vedlegg 1

Oversikt over målinger og beregninger gjort for å finne lekkasjemengde ved bruk av IWA's metode for vannbalanse i 2016. Det er også tatt med usikkerheter til beregningene.

<b>Lekkasjeberegning basert på vannforbruk</b>		<b>Nedre Eiker</b>
	- 2 %	2 608 429
Levert vann [m3/år]		2 661 662
	+ 2 %	2 714 896
Levert vann [l/s]		84
	- 2 %	1 252 772
Fakturert målt forbruk [m3/år]		1 278 339
	+ 2 %	1 303 906
	- 10 %	20 277
"Fakturert" ikke målt forbruk [m3/år]		22 530
	+ 10 %	24 783
Fakturert forbruk [m3/år]		1 273 049
		1 300 869
		1 328 689
Ikke fakturert målt forbruk [m3/år]		0
	- 50 %	46 579
Ikke fakturert ikke målt forbruk [m3/år]		93 158
	+100 %	186 316
Legalt forbruk [m3/år]		1 319 628
		1 394 027
		1 515 005
	min	1 093 424
Vanntap [m3/år]		1 267 635
	maks	1 395 267
	- 50 %	13 308
Ikke legalt forbruk [m3/år]		26 617
	+ 100 %	53 233
	min	1 040 191
Reel lekkaseje [m3/år]		1 241 019
	maks	1 381 959
		38
Lekkasjeprosent fra vannbalanse [%]		47
		53
	min	8,7
Lekkasje per meter ledning (fra VB) [l/m/d]		10,4
	maks	11,6
	min	18
Lekkasje per meter offentlig ledning (fra VB) [l/m/d]		21
	maks	24

## Vedlegg 2

Beregning av lekkasjemengde ved bruk av IWA's metode med nattforbruk i 2016.

<b>Lekkasjeberegning basert på Nattforbruk</b>		<b>Nedre Eiker</b>
	- 2 %	2 688 564
<b>Leverte vann (On line akkumulert) [m3/år]</b>		2 743 433
	+ 2 %	2 798 302
	- 10 %	1 592 069
<b>Observerte nattforbruk [m3/år]</b>		1 768 965
	+ 5 %	1 857 413
	- 80 %	23 461
<b>Person nattforbruk [m3/år]</b>		117 304
	+ 100 %	234 608
	<b>Antall</b>	5
	- 50 %	19 688
<b>Kvalitetstappinger</b>		39 377
	+ 100 %	78 754
	<b>Antall</b>	5
	- 50 %	6 563
<b>Frosttappinger</b>		13 126
	+ 100 %	26 251
	- 25 %	132 672
<b>Annet nattforbruk [m3/år]</b>		176 897
	+ 25 %	221 121
	<b>Min</b>	945 390
<b>Reel lekkasje (Basert på MNF) [m3/år]</b>		1 303 740
	<b>Maks</b>	1 535 443
		34
<b>Lekkasjeprosent fra nattforbruk [%]</b>		48
		57
		7,9
<b>Lekkasje per meter ledning (fra MNF) [l/m/d]</b>		10,9
		12,9
		16,2
<b>Lekkasje per meter offentlig ledning (fra MNF) [l/m/d]</b>		22,4
		26,4

## Vedlegg 3

Her er oversikt over nøkkeltall for kommunene, der den markerte kolonnen er for Nedre Eiker kommune.

<b>Andre nøkkeltall</b>	Nedre Eiker
Folketall	24 718
Personer tilknyttet	24 164
<b>Tilknytningsprosent [%]</b>	98
Abonnenter	8 235
Abonnenter med vannmåler	8 210
Abonnenter med areal	25
Abonnenter med areal og vannmåler	0
<b>Vannmålerdekning [%]</b>	100
Overføringsnett [m]	25 574
Hoved og fordelingsnett [m]	133 958
Registrert stikkledningsnett [m]	60 265
Avstand fra kundepunkt til til kommunal ledning [m]	20
Estimert stikkledningsnett [m]	106 494
Samlet ledningsnett [m]	326 291
Bruttoforbruk per person [l/pe/d]	301
Bruttoforbruk per meter ledning [l/m/d]	54
Spesifikt forbruk [l/pe/d]	123
Registrerte lekkasjer på offentlig ledningsnett	11
Registrerte lekkasjer på privat ledningsnett	14
Registerte lekkasjer	25
Lekkasjer per 100 km ledning [nr./100 km/år]	16
Gjennomført ledningsfornyelse - Lekkasjekontroll [m]	
Ledningsfornyelse ifølge Hovedplan 2010 [mill. kr.]	
Gjennomført ledningsfornyelse - Lekkasjekontroll [m]	
Gjennomført ledningsfornyelse - anndre prosjekter [m]	
Gjennomført ledningsfornyelse - Lekkasjekontroll [mill. kr]	
Gjennomført ledningsfornyelse - anndre prosjekter [mill. kr]	
Gjennomført ledningsfornyelse [% av nett]	
Planlagt ledningsfornyelse - Lekkasjereduksjon [m]	
Planlagt ledningsfornyelse - Andre prosjekter [m]	
Planlagt ledningsfornyelse - Lekkasjereduksjon [mill. kr]	
Planlagt ledningsfornyelse - Andre prosjekter [mill. kr]	
Direkte lekkasjekostnader (2.40 kr./m3) [kr./år]	2 978 444

## Vedlegg 4

Vedlegget viser antall lekkasjer funnet og reparert i Nedre Eiker kommune fordelt på hvilket år, om det er privat eller kommunalt og reparasjonstiden.

**Kommunale lekkasjer** Sist oppdatert: 06.12.2017 12:52:20

	<a href="#">Drammen</a> 0602	<a href="#">Hurum</a> 0628	<a href="#">Lier</a> 0626	<a href="#">Modum</a> 0623	<a href="#">Nedre Eiker</a> 0625	<a href="#">Røyken</a> 0627	<a href="#">Sande</a> 0713	<a href="#">Svelvik</a> 0711	<a href="#">Øvre Eiker</a> 0624	<a href="#">Glitrevannverket</a> 0999	<b>Kommunale</b>
<b>&lt;= 2013</b>											
Lekkasjer:	394	34	89	51	159	62	44	18	77	71	999
Reparert:	384	33	89	51	157	62	44	17	75	71	983
Reparasjonstid (tim):	7404	7404	1349	756	2110	4687	393	661	1508	175	
<b>2014</b>											
Lekkasjer:	33	6	8	9	24	4	1	8	3	10	106
Reparert:	33	6	8	9	22	4	1	8	3	10	104
Reparasjonstid (tim):	3020	3020	96	453	482	10440	33	760	0	426	
<b>2015</b>											
Lekkasjer:	49	6	11	2	12	2	4	6	15	4	111
Reparert:	46	5	11	1	12	2	4	1	13	4	99
Reparasjonstid (tim):	616	616	75	0	42	120	696	143	1286	152	
<b>2016</b>											
Lekkasjer:	42	2	12	1	11	10	6	1	5	2	92
Reparert:	41	2	12	1	6	10	6	0	4	2	84
Reparasjonstid (tim):	768	768	231	0	180	2608	900	0	480	6	
<b>2017</b>											
Lekkasjer:	33	1	6	8	11	17	4	1	8	13	102
Reparert:	1	1	6	4	9	14	2	0	7	11	55
Reparasjonstid (tim):	0	0	66	50	46	493	36	0	0	110	

**Private lekkasjer**

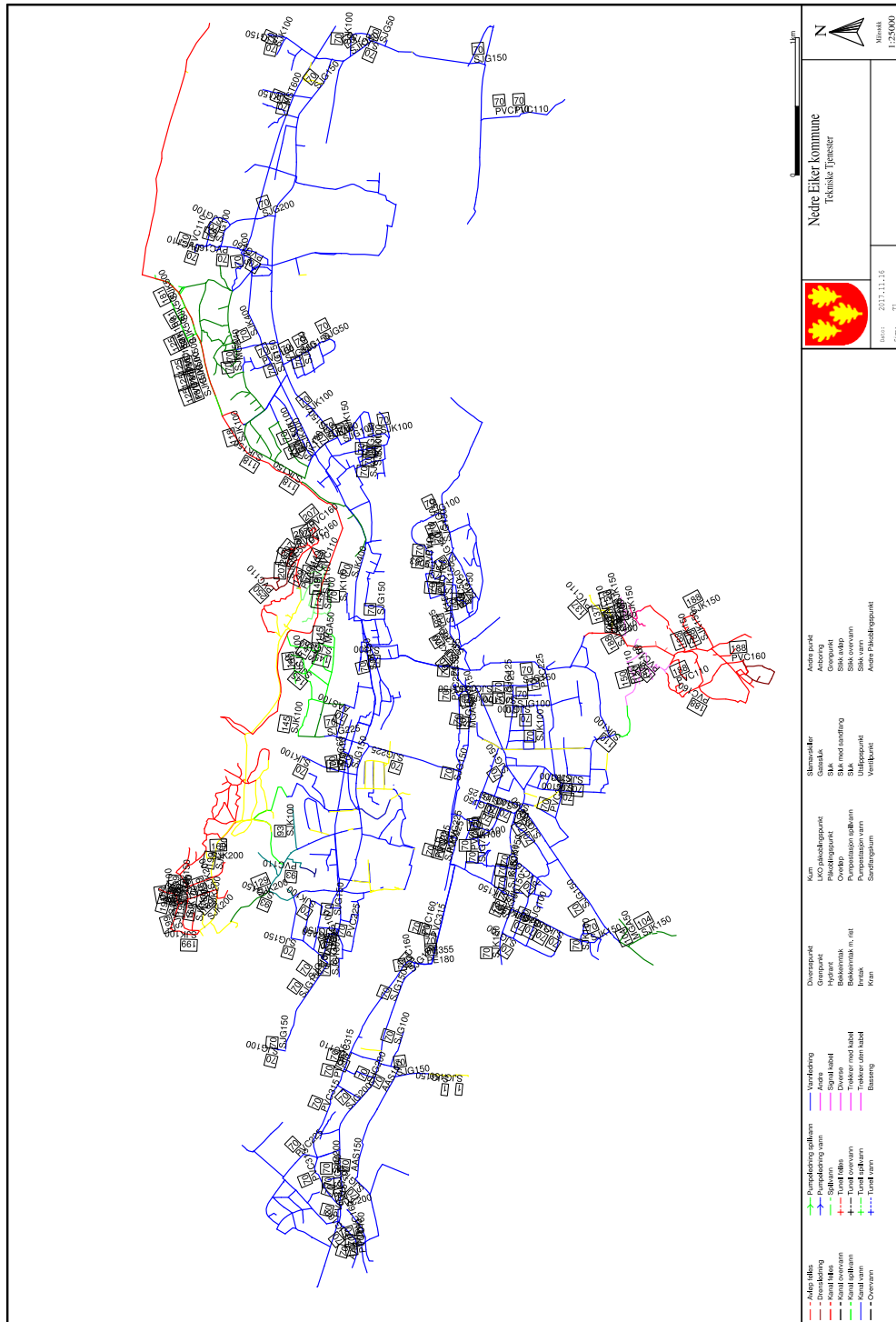
	<a href="#">Drammen</a> 0602	<a href="#">Hurum</a> 0628	<a href="#">Lier</a> 0626	<a href="#">Modum</a> 0623	<a href="#">Nedre Eiker</a> 0625	<a href="#">Røyken</a> 0627	<a href="#">Sande</a> 0713	<a href="#">Svelvik</a> 0711	<a href="#">Øvre Eiker</a> 0624	<b>Private</b>	<b>Totalt</b>
<b>&lt;= 2013</b>											
Lekkasjer:	287	41	186	38	60	52	13	16	93	786	1785
Reparert:	284	32	181	35	60	28	13	15	80	728	1711
Reparasjonstid (tim):	4377	4377	3022	2329	4050	3900	3045	1713	1808		
<b>2014</b>											
Lekkasjer:	41	5	33	2	13	8	2	1	3	108	214
Reparert:	39	5	33	2	11	0	2	0	0	92	196
Reparasjonstid (tim):	6079	6079	1802	64	2691	0	1368	0	0		
<b>2015</b>											
Lekkasjer:	46	5	24	8	2	0	3	4	8	100	211
Reparert:	46	4	19	2	2	0	3	1	0	77	176
Reparasjonstid (tim):	708	708	948	1008	2640	0	264	51	0		
<b>2016</b>											
Lekkasjer:	22	3	30	4	16	9	3	0	2	89	181
Reparert:	22	2	22	4	15	2	2	0	0	69	153
Reparasjonstid (tim):	24	24	615	144	3528	600	24	0	0		
<b>2017</b>											
Lekkasjer:	60	6	16	6	8	9	0	3	0	108	210
Reparert:	49	2	7	3	3	3	0	0	0	67	122
Reparasjonstid (tim):	1200	1200	192	120	1020	296	0	0	0		

# Vedlegg 5

Trykkoversikt i distribusjonsnettet i Nedre Eiker kommune. De forskjellige fargene er:

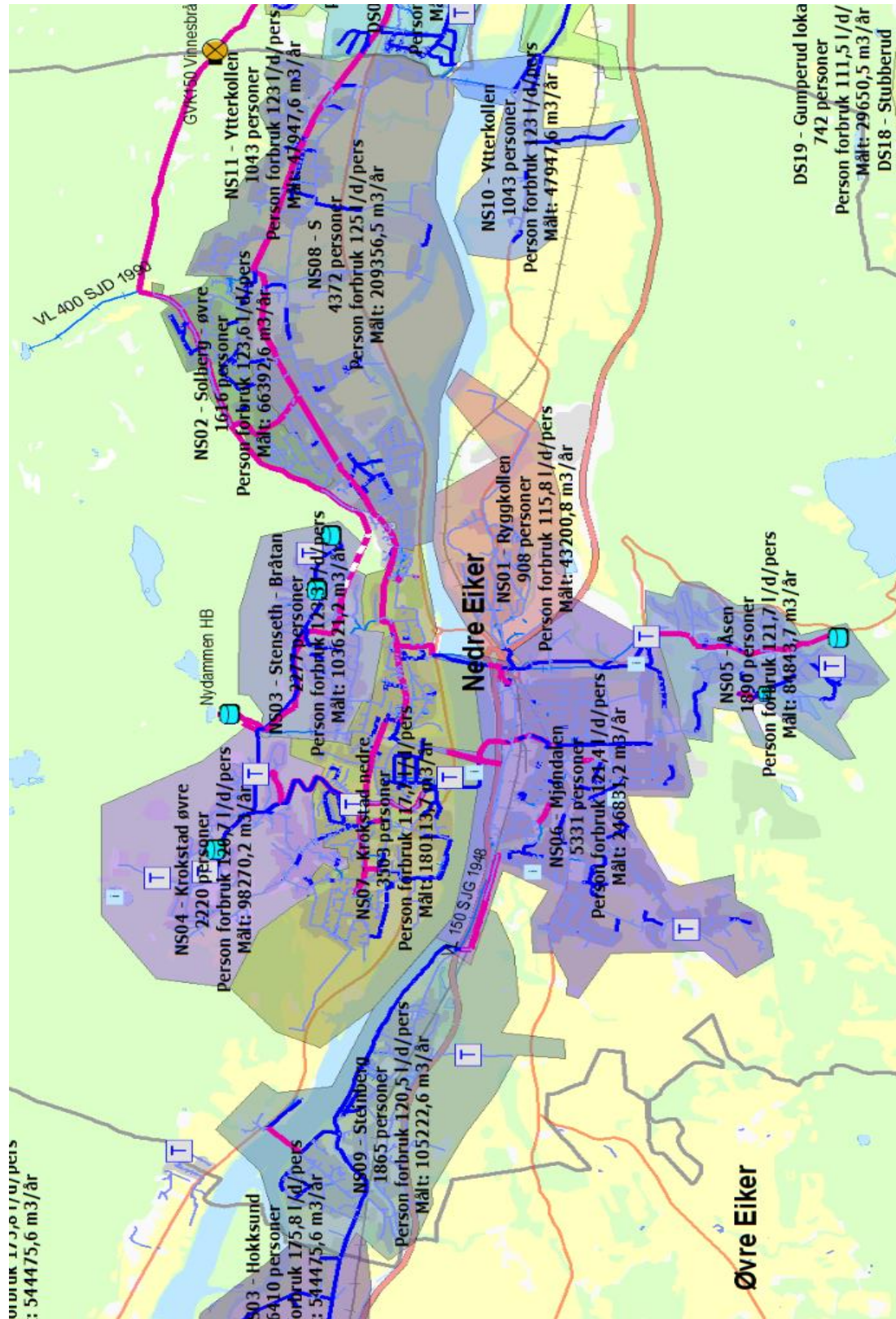
På nordsiden av elva: rød kote 181, gul kote 169, grønn kote 133, blå kote 70.

På sørsiden av elva: rød kote 188, rosa kote 150, grønn kote 110, gul kote 169, blå kote 70.



## Vedlegg 6

Inndeling av sonene i Nedre Eiker kommune som blir brukt til analyseverktøyet DIMS i GVD.





## Vedlegg 7

Beregning av sannsynlig effekt av lekkasjereduksjonstiltak i Nedre Eiker kommune.

Tallene for beregningen er hentet fra vedlegg 1.

Vannmengde: 2 661 662 m<sup>3</sup>/år

Beregnet lekkasjemengde: 1 241 019 m<sup>3</sup>/år

Beregner lekkasjemengden i perioden 2016 til l/s:

$$\frac{1\,241\,019 * 1000l}{365 * 24 * 60 * 60 s} = 39,35 \frac{l}{s} \approx 40 l/s$$

Med en sannsynlig effekt av tiltakene mellom 11-24% blir reduksjonen i lekkasjevannmengde:

$$\text{Reduksjon ved sannsynlig effekt 11\%} = 40 \frac{l}{s} * 0,11 = 4,4 \frac{l}{s}$$

$$\text{Reduksjon ved sannsynlig effekt 24\%} = 40 \frac{l}{s} * 0,24 = 9,6 \frac{l}{s}$$

Beregner middelverdien av reduserende lekkasjemengde

$$\frac{4,4 + 9,6}{2} = 7 \frac{l}{s}$$

$$40 \frac{l}{s} - 7 \frac{l}{s} = 33 \frac{l}{s}$$

Ut i fra vannforbruket i 2016 blir lekkasjenivået redusert til:

$$\frac{33 * 365 * 24 * 60 * 60 m^3/\text{år}}{1000 * 2\,661\,662 m^3/\text{år}} = 0,39 = 39\%$$

## Vedlegg 8

Oversikt over når rør er lagt i Nedre Eiker kommune og hvilket materiale som er brukt.

	1900-1950	1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2017	#Totalt meter
AAS-Asbestement	127	530	624	0	0	0	0	0	1281
MGA-Galvanisert stål	394	449	1526	799	0	0	0	0	3168
MST-Stål	2164	0	778	9	0	3	0	0	2953
PE-Polyet,uspes	0	0	56	0	531	2098	382	1264	4330
PE100-Polyet,uspes	0	0	0	0	0	0	0	1297	1297
PE50-Polyet,høy dens	0	0	0	0	639	0	24	248	910
PE80-Polyet,høy dens	0	0	0	0	0	0	0	2330	2330
PEH-Polyet,høy dens	0	0	0	0	457	0	428	0	885
PEL-Polyet,lav dens	0	0	0	211	928	0	0	47	1185
PVC	0	0	0	3339	16876	8013	5093	16360	49681
RØRDEL	0	0	0	0	8	0	0	5	14
SJ-støpejern uspes	0	78	56	304	0	0	0	0	437
SJG-støpejern grått	10522	15135	7328	1185	22	319	0	0	34510
SJK-støpejern duktilt	341	1851	9581	17407	2906	1734	223	9643	43686
<b>#Totalt</b>	<b>13549</b>	<b>18042</b>	<b>19948</b>	<b>23253</b>	<b>22366</b>	<b>12166</b>	<b>6149</b>	<b>31194</b>	<b>146667</b>

## Vedlegg 9

Beregning av ILI basert på formel 2.1 og 2.2 i oppgaven.

Disse tallene er hentet i fra vedlegg 3:

$$\begin{aligned}L_m &= \text{hoved og fordelingsnett} + \text{øverføringsnett} = 25574\text{m} + 133958\text{m} \\ &= 159,532 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_p &= \text{registrert stikkledningsnett} + \text{estimert stikkledningsnett} \\ &= 60265\text{m} + 106265\text{m} = 166,759 \text{ km}\end{aligned}$$

$$N_c = 8235 \text{ abonnenter}$$

$$P = \text{antar en verdi på } 40 \text{ mVs for beregningen}$$

Beregning av UARL, se formel 2.2:

$$UARL = (6,7 * 160 + 0,256 * 8235 + 9,13 * 166,759) * 40 = 187981,36\text{m}^3/\text{år}$$

Verdien til CARL er hentet i fra vedlegg 1 for beregnet lekkasjemengde i 2016:

$$CARL = 1241019\text{m}^3/\text{år}$$

ILI blir da, se formel 2.1:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} = \frac{1241019}{187981,39} = 6,6$$







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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway