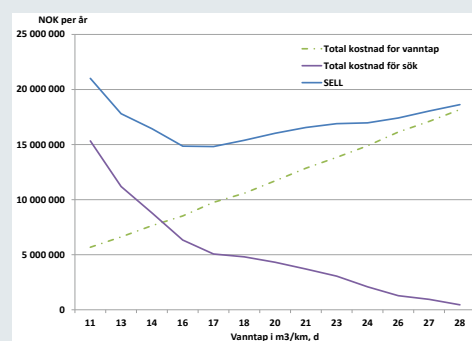
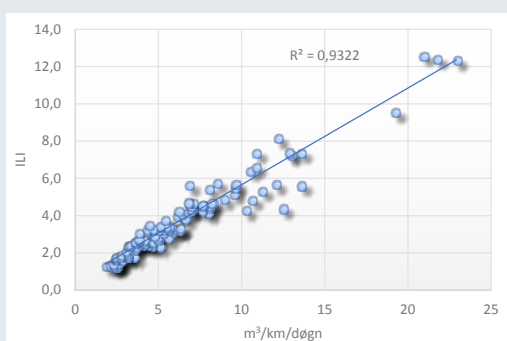
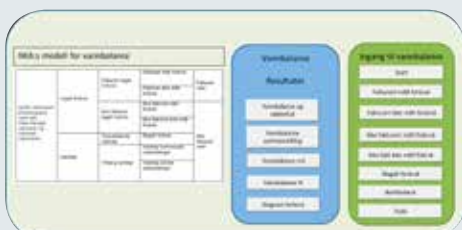




Beregning av bærekraftig lekkasjenivå



Norsk Vann Rapport

Det utgis tre typer rapporter:

Rapportserie A

Dette er de opprinnelige hovedrapportene.

Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre.
Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no
www.norsk vann.no



Prosjekresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjekresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Videre salg/ formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vanns rapporter utarbeides i samspill mellom rådgiver, styringsgruppe og referansegruppe for prosjektet og er ikke behandlet i Norsk Vanns styrende organer. Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.

Norsk Vann Rapport

Ekstrakt

Norge har ett av Europas høyeste lekkasjetap (vanntap). I Norsk Vanns bærekraftstrategi er ett av delmålene at hver enkelt virksomhet skal ha utarbeidet en plan for å komme ned på en bærekraftig lekkasjeandel fra vannledningsnettet. Denne rapporten gir anbefaling til hvordan man kan beregne vanntap basert på internasjonale standarder utarbeidet av IWA. Ut fra dette kan hver enkelt kommune/vannverk beregne sitt bærekraftige lekkasjenivå. Regnearkene som er utarbeidet kan brukes til å finne vannbalansen (regneark 1) og ELL/SELL (regneark 2). Det gis også eksempler på hvordan man kan komme igang med arbeidet for å redusere lekkasjene.

Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Telefon: 62 55 30 30
E-post: post@norskvann.no
Internettadresse: norskvann.no

Rapportens tittel

Beregning av bærekraftig lekkasjenivå

Forfatter(e)

Annika Malm, RISE Research Institutes of Sweden
Gilbert Svensson, RISE Research Institutes of Sweden og
Vattenforum
Jon Røstum, Powel

Rapportnummer: 239/2018

ISBN 978-82-414-0422-1 (trykt utgave)
ISBN 978-82-414-0423-8 (elektronisk utg.)
ISSN 1504-9884 (trykt utgave)
ISSN 1890-9248 (elektronisk utg.)

Emneord, norsk

Vanntap, lekkasjer, verktøy, bedreVANN, bærekraftig vanntapsnivå

Emneord, engelsk

Water losses, leakages, tool, benchmarking, Sustainable Economical Level of Leakage

Forord



Norge har et av Europas høyeste lekkasjetap (vanntap). I snitt er lekkasjetapet i Norge på 31 % (SSB, 2017) og dette tallet har ligget relativt stabilt på samme nivå de seneste ti årene ifølge KOSTRA-tallene. Ved en rekke vannforsyninger tapes 40 % eller mer av det rensede drikkevannet på grunn av lekkasjer i ledningsnett. Lekkasjetallene er relativt grove og det er stor usikkerhet i beregningene. Historisk har vi hatt tilgang på nok vann og med god kvalitet slik at fokus på vanntap ikke har vært høyt prioritert. Hensikten med denne rapporten er å vise hvordan man kan redusere vanntapet med en systematisk tilnærming og beregne hva som er bærekraftig lekkasjenivå for sin kommune eller vannverk. Dette er også i tråd med Norsk Vanns bærekraftstrategi for vannbransjen hvor ett av delmålene er at flest mulig virksomheter innen 2020 skal ha utarbeidet en plan for å komme ned på en bærekraftig lekkasjeandel fra vannledningsnett.

Målet med prosjektet har vært å utarbeide metodikk for beregning av vanntap basert på internasjonale standarder fra IWA tilpasset norske forhold. Det er gjennom regnearkene utarbeidet i rapporten gitt verktøy for at hver enkelt kommune kan finne sin vannbalanse og ut fra det beregne sitt bærekraftige lekkasjenivå.

«Dette er også i tråd med Norsk Vanns bærekraftstrategi for vannbransjen hvor ett av delmålene er at flest mulig virksomheter innen 2020 skal ha utarbeidet en plan for å komme ned på en bærekraftig lekkasjeandel fra vannledningsnett.»

Rapporten bygger på arbeid utført i 2017/2018. RISE har vært rådgiver for prosjektet i samarbeid med Powel. Rapporten er skrevet av Annika Malm og Gilbert Svensson begge RISE, samt Jon Røstum fra Powel.

Styringsgruppe for prosjektet har bestått av følgende personer:

Trond Ellefsen, Trondheim kommune
Børge Bjørndahl, Vestfold Vann
Sandra McCarly, Bergen Vann
Rene A. Dupont, Glitrevannverket

En referansegruppe har bidratt med innspill til prosjektet og rapporten:

Helle Vari, Drammen kommune
Yrjan Elias Fevang, Sandefjord kommune
Ann May Berg, Tromsø kommune

Norsk Vann vil takke alle medvirkende for et godt samarbeid. Vi håper at rapporten vil være en nyttig veileder for kommuner og rådgivere som skal arbeide med reduksjon av vanntap.

Hamar, mai 2018
Arnhold Krogh, Norsk Vann

Sammendrag

I den nasjonale bærekraftstrategien for vannbransjen som ble vedtatt på årsmøtet til Norsk Vann i 2017 står det at flest mulig virksomheter innen 2020 skal ha utarbeidet en plan for å komme ned på en bærekraftig lekkasjeandel fra vannledningsnettet. I prosjektet «Beregning av bærekraftig lekkasjenivå» er det utarbeidet en metodikk for hvordan hver enkelt virksomhet kan beregne hva som er sitt bærekraftig lekkasjenivå (SELL - Sustainable Economic Level of Leakage). SELL inkluderer ikke bare de langsiktige kostnader/nytte for vannverket, men også kostnader/nytte knyttet sosiale og miljømessige forhold. Sosiale kostnader inkluderer ulemper knyttet til avvikling av trafikk som en følge av reparasjon og fornyelse, men også helserisiko knyttet til trykk løst nett. Eksempler på miljøeffekter er for eksempel redusert utslipp av klimagasser.

Veiledningen som er utarbeidet inkluderer to regneark; 1) regneark for å beregne vannbalansen ihht IWA sin metode og 2) regneark for beregning av bærekraftig lekkasjenivå (SELL). Regnearkene inkluderer en del default verdier for typiske kostnader knyttet til lekkasjesøking, helserisiko etc. Analysene inkluderer også en usikkerhetsanalyse for å kunne si noe om hvordan usikre anslag i inngangsdata påvirker resultatet.

Utviklingen av ny teknologi og nye metoder vil også over tid påvirke hvilket lekkasjenivå som kan ansees som det mest bærekraftige. Vi tror at veiledningen vil være et nyttig verktøy for vannverkene i kampen for å redusere tapet av vann, særlig for små og mellomstore vannverk.

English summary

This report is published in Norwegian by Norwegian Water BA (Norsk Vann BA).

Address: Vangsvegen 143, NO-2321 Hamar, Norway
Phone: + 47 62 55 30 30
E-mail: post@norsk vann.no
Website: www.norsk vann.no

Author: Annika Malm, RISE Research Institutes of Sweden
Gilbert Svensson, RISE Research Institutes of Sweden og Vattenforum
Jon Røstum, Powel

Report no: 239/2018
Report title: Beregning av bærekraftig lekkasjenivå
Date of issue: May 2018

ISBN 978-82-414-0422-1 (printed edition)
ISBN 978-82-414-0423-8 (electronic edition)
ISSN 1504-9884 (printed edition)
ISSN 1890-9248 (electronic edition)

Summary

According to the sustainability strategy for Norwegian Water from 2017 water utilities in Norway should within 2020 develop individual plans for how to reach a sustainable economic level of leakage in the water supply system. As a part of the project different tools for assessing the sustainable leakage level for each water company has been developed.

SELL stands for Sustainable Economic Level of Leakage. SELL includes not only the long-term costs and benefits which are internal to the utility, but also external social and environmental costs of leakage. Social costs are e.g. traffic disruption etc. from pipe repair and replacement work, but also health risk effects from unpressured leaking pipes. Environmental benefits are e.g. carbon reduction.

The manual includes a water balance, including default value for e.g. unbilled legal water consumptions if no local data is available. The manual will also include a spreadsheet tool for calculation of SELL for different conditions. Default values for leak reduction management, installing of new technology will be included and the results can be valued for different conditions. Also values of health risk will be included. Moreover, an uncertainty analysis will be included so results can be seen as a span.

When all externalities are included, and when new leak reduction techniques are developed, the value of SELL is lower than expected a priori. We believe that the manual will be a great tool to fight water losses, especially for small and medium water utilities.

Innhold

1. Innledning	9	4.3. Kostnader ved vanntap	26
1.1. Bakgrunn	9	4.3.1. Vanntapskostnader for produksjon, pumping og vannføring til avløpsrenseanlegg	26
1.2. Målet med prosjektet	9	4.3.2. Kostnader for å etablere ny vannkilde/vannverk	26
1.3. Metode	10	4.3.3. Kostnader for akutte reparasjoner	26
1.4. Lese- og brukerveiledning til manualen og de ulike regneark	10	4.3.4. Kostnader ved å reparere lekkasjer når det ikke skiftes ut ekstra ledninger	26
1.5. Usikkerhetsberegninger	11	4.4. Samfunnskostnader ved vanntap	26
1.5.1. Forenklet metode for usikkerhetsanalyse	11	4.4.1. Miljøkostnader for å bruke vann	26
1.5.2. Scenario for enkelte parametre	11	4.4.2. Goodwill – “ingen løsning”	26
1.5.3. Avansert metode for usikkerhetsanalyse	12	4.4.3. Klimaeffekter	27
2. Vannbalanse og vanntap	13	4.4.4. Økt fokus på å redusere lekkasje leder til innovasjon og vekst	27
2.1. Kort oversikt over hvordan andre land arbeider med vanntap	13	4.4.5. Robusthet	27
2.1.1. State of the Art	13	4.4.6. Helsemessige risiko	27
2.1.2. Hvorfor er det så lavt vanntap i Danmark?	13	4.4.7. Færre forstyrrelser for innbyggere og trafikk	27
2.1.3. LEAKman: dansk forskningsprosjekt for å redusere lekkasje	14	4.5. Göteborg – eksempel på SELL beregning	28
2.2. IWA sin modell for vannbalanse	15	5. Hvordan komme i gang med arbeidet?	29
2.3. Vanntap i Norge og Europa	16	5.1. Starte med vannbalanse	29
2.4. Spesifikt vannforbruk i Norge og Europa	16	5.2. Metoder for å finne vannlekkasjer	29
2.5. CARL, UARL og ILI	17	5.3. Hvordan påvirker utvikling av ny teknologi lekkasjenivået?	30
2.5.1. CARL	17	5.4. Utvalgte eksempler og initiativ	31
2.5.2. UARL	17	5.4.1. Eksempel fra Vestfold Vann IKS	31
2.5.3. ILI	17	5.4.2. Eksempel fra Stavanger kommune	32
2.6. Bærekraftig nivå på vanntap	18	5.4.3. Andre løsninger og initiativ for identifikasjon av vannlekkasjer	33
3. Vannbalanse – regneark 1	20	6. Konklusjoner og anbefalinger	36
3.1. Vannbalanse	20	6.1. Konklusjoner og anbefaling til vannverk/kommuner	36
3.2. ILI	21	6.2. Konklusjoner og anbefaling til Norsk Vann	36
3.2.1. Beregning av gjennomsnittlig trykk	21	Tidligere utgitte rapporter	39
3.2.2. Beregning av stikkledningslengde	21		
3.2.3. Forholdet mellom ILI og andre målinger av vanntap	22		
4. Bærekraftig vanntapsnivå – regneark 2	23		
4.1. Kostnad for å lete etter lekkasjer/forbedre ledningsnett	24		
4.1.1. Personalkostnader	24		
4.1.2. Måleutstyr kostnader	24		
4.1.3. Kostnader for å reparere flere lekkasjer	24		
4.1.4. Tidligere fornyet / utskiftning av ledninger	24		
4.2. Samfunnskostnader for å lete etter lekkasjer/forbedre ledningsnett	25		
4.2.1. Klimaeffekter	25		
4.2.2. Helseisiko ved reparasjon av ledning	25		
4.2.3. Forstyrrelser for innbyggere og trafikk ved anleggsarbeid/omlegging	25		

Forkortelser, begreper og definisjoner

SSB	Statistisk sentralbyrå
IWA	International Water Association
KOSTRA	KOMmuneSTatRapportering – er et rapporteringssystem for norske kommuner.
ELL	Economic Level of Leakage
SELL	Sustainable Economic Level of Leakage
ILI	Infrastructure Leakage Index CARL/UARL
UARL	(Unavoidable Annual Real Losses) er et konsept for å beregne hvor stor andel av vanntapet som er vanskelig å unngå
CARL	(Current Annual Real Losses) er det virkelige vanntap for et distribusjonssystem.
Vanntap	Kan deles inn i Tilsynelatende tap og Virkelig tap. Tilsynelatende tap er illegalt forbruk og Virkelig tap er lekkasje på kommunale og private ledninger
l/pe/d	Liter per person og døgn

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Norge har et av Europas høyeste lekkasjetap (vanntap). I snitt er lekkasjetapet i Norge på 31 % (SSB, 2017) og dette tallet har ligget relativt stabilt på samme nivå de seneste ti årene ifølge KOSTRA-tallene. Ved en rekke vannforsyninger tapes 40 % eller mer av det rensede drikkevannet på grunn av lekkasjer i ledningsnett. Lekkasjetallene er relativt grove og det er stor usikkerhet i beregningene. Blant annet påvirker verdiene som benyttes for spesifikt vannforbruk i husholdningene beregningene for kommuner/vannverk hvor det ikke er installert husvannmålere.

Historisk har det i Norge vært rikelig tilgang til godt råvann og vannet har vært billig å rense og distribuere. Nye krav til vannkvalitet krever mer og bedre vannbehandling, noe som gjør at prisen per produsert m³ går opp. Det er også blitt mer bevissthet omkring sløsing både hos vannverkene og i befolkningen. Det føles ikke lenger greit at 1/3 av alt drikkevannet forsvinner på veien fra vannbehandlingsanlegget til tappekranen. Utette vannledninger kan også medføre at det ved trykkløse hendelser på vannledningsnett, kan trenge inn forurenset vann (inkludert avløpsvann) i vannledningen og forurense drikkevannet.

Norsk Vann har vedtatt en nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen (Norsk vann, 2017a). Delmål 4 omhandler ledningsnettets funksjonalitet og vedtaket fra Norsk Vann sitt årsmøte i 2017 er svært relevant for dette vanntapsprosjektet:

"4.1 Flest mulig virksomheter skal innen 2020 ha utarbeidet en plan for å komme ned på en bærekraftig lekkasjeandel fra vannledningsnett. For bransjen

som helhet skal lekkasjeandelen av samlet vannproduksjon være mindre enn 20 % innen 2030.

Kommentar fra årsmøtet: I ny drikkevannsforskrift er det presisert at distribusjonssystemet skal være i tilfredsstillende stand og bidra til bærekraftig bruk av grunnvann og overflatevann. Norsk Vann skal utarbeide metodikk for hvordan hver enkelt virksomhet kan beregne hva som er bærekraftig lekkasjenivå gjennom et prosjekt i 2017 – 2018. Målet om maks. 20 % lekkasjeandel innen 2030 er foreløpige nasjonale tall for lekkasje, der hver virksomhet må sette mål ut fra sin egen situasjon. Det nasjonale tallet bør revideres ved bedre kunnskap om reelt bærekraftig lekkasjenivå lokalt i virksomhetene. Dette delmålet handler om alle tre dimensjoner av bærekraft; miljømessig, økonomisk og sosial."

Vannbransjen i Norge har altså satt seg mål om å redusere vanntapet i Norge og hvert enkelt vannverk skal beregne sitt bærekraftige lekkasjenivå. Metodikken og verktøy for å beregne bærekraftig lekkasjenivå for hver enkelt kommune/vannverk er utviklet i denne rapporten og vil bli nærmere beskrevet i det følgende.

Arbeidet med å redusere vanntapet er et langsiktig arbeid og det gjenspeiles også i tidshorizonten som angis i bærekraftstrategien for vannbransjen. Det finnes dessverre ingen raske løsninger, men en må jobbe langsiktig og strategisk. I Danmark har man for eksempel jobbet systematisk med vannlekkasjer i 25 år og man har nå kommet ned til lave verdier. Flere kommuner/vannverk i Norge jobber godt med å redusere omfanget av vanntap og noen av erfaringene fra dette arbeidet er beskrevet i rapporten.

1.2. Målet med prosjektet

Målet med prosjektet har vært å utarbeide metodikk for beregning av vanntap basert på internasjonale standarder (utarbeidet av IWA – Water Loss Group) som er tilpasset norske forhold. Prosjektet skal beskrive hvordan man kommer frem til et bærekraftig lekkasjenivå for hver enkelt kommune/vannverk. Som en del av arbeidet skal det også vises eksempler på hvordan en kan arbeide med å redusere vannlekkasjene, og hva som må til for å lykkes.

For å nå målet med prosjektet er det arbeidet med følgende emner:

- Beskrive metodikken for beregning av vannbalanse og herunder vanntap som er utarbeidet av IWA og omsette dette til norske forhold, herunder begrepet bærekraftig lekkasjenivå
- Gi gode eksempler på best practice fra Norge og evt. andre land som er sammenlignbare med norske forhold.
- Hvordan jobbe med lekkasjereduksjon – hvordan komme i gang, hva er det viktig å starte med osv.

1.3. Metode

Arbeidet i prosjektet er utført av en prosjektgruppe fra RISE Research Institutes of Sweden og Powel. Prosjektgruppen har hatt jevnlig møter med styringsgruppen og referansegruppen. Styringsgruppen har bidratt med erfaringer fra egen kommune/vannverk. Det har vært avholdt 2 møter med styringsgruppen i tillegg til et utvidet møte hvor også flere andre vannverk var representert. En viktig del av arbeidet har vært å

sammenstille nasjonal og internasjonal litteratur knyttet til bruk av IWAs metode for beregning av vanntap/lekkasjer. Siden det i prosjektet har vært gode forbindelser til Sverige, har erfaringer fra relevante prosjekter utført for Svensk Vatten og i ulike svenske prosjekter blitt inkludert i arbeidet.

1.4. Lese- og brukerveiledning til manualen og de ulike regneark

I prosjektet er det utviklet en regnearkbasert modell slik at hvert enkelt vannverk kan beregne sitt bærekraftige lekkasjenivå. Det er i tillegg laget en rapport (denne) for å dokumentere det som er gjort. Rapporten og de to regnearkene må derfor sees på i sammenheng.

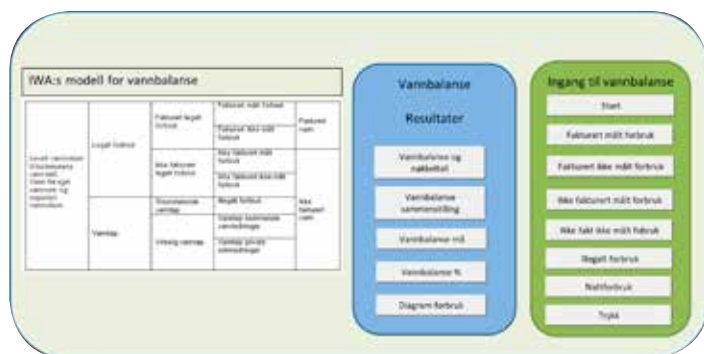
Manualen består i hovedsak av 2 ulike regneark, **Regneark 1 - Vannbalanse** og **Regneark 2 - SELL** (Figur 1). I tillegg er det ved hjelp av de samme regnearkene mulig å gjennomføre usikkerhetsanalyser. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 1.5.

For hvert av regnearkene er det verdier/parametere som hvert enkelt vannverk må gi inn. Regnearkene er tilgjengelige via Norsk Vann sine hjemmesider på samme side hvor rapporten lastes ned.

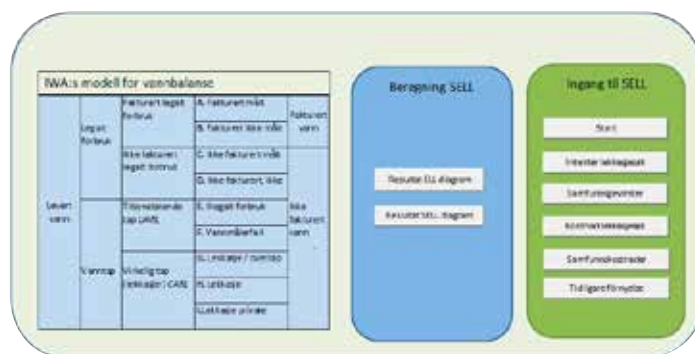
Manualen bygger på IWAs begrep og metoder som brukes i store deler av verden i dag. Dette gjør manualen generell, men de parametere som påvirker beregning av bærekraftig lekkasjenivå er tilpasset norske forhold.

Hvert regneark beskrives i det følgende, men en kortversjon av manualens tekst finnes også direkte som kommentarer i regnearkene. Kommentarene vises i regnearket med en rød trekant i den aktuelle cellen. Når man sveiper musen over cellen, så kommer kommentaren opp slik at den kan leses. Det er i utgangspunktet bare de cellene som er farget grønt som skal fylles ut.

Regneark 1 - Vannbalanse



Regneark 2 - SELL



Figur 1. Oversikt over regneark utviklet i prosjektet.

1.5. Usikkerhetsberegninger

Det er knyttet usikkerhet til beregningene av vanntap. For vannbalansen er dette særlig knyttet til ikke-målt vannforbruk og beregninger av vannforbruk i bygninger der hvor en ikke har vannmåler. Der hvor en har vannmåler vil det også være målefeil. Størrelsen på usikkerheten kan være vanskelig å estimere. For mange kommuner/vannverk vil det være tilstrekkelig å beregne bærekraftig lekkasjenivå uten bruk av usikkerhet og bare benytte den verdien en tror mest på (forventningsverdien). Usikkerhetsberegninger kan utføres på to ulike måter:

- Forenklet metode for usikkerhet. For de kommuner som har lyst til å inkludere usikkerhet i **Regneark 1 – Vannbalanse** beskrives en forenklet metode i kapittel 1.5.1.
- Scenario for enkelte parametere som kan anvendes for **Regneark 2 – SELL**. Beskrives i kapittel 1.5.2.
- Avansert metode for usikkerhet. For de vannverk som har lyst til å utføre mer avanserte usikkerhetsanalyser er det i kapittel 1.5.3 beskrevet en metode som benytter avanserte tilleggsmoduler som er tilgjengelig via Excel.

1.5.1. Forenklet metode for usikkerhetsanalyse

For **Regneark 1-Vannbalanse** kan usikkerhetsanalyse utføres ved at ulike verdier i prosent (min/maks) angis for hver post, se Figur 2. Et forslag til usikkerhetsanalyse finnes som en egen fane i regnearket. Det er viktig å tenke på at ulike typer av målere kan medføre usikkerhet i ulike retninger (positivt eller negativt). For eksempel gir vannmålere i boliger ofte for lave verdier for toalettspyling på natten (siden måleren ikke registrerer for lave vannføringer), så derfor kan disse verdiene kanskje ha 0 % som maksimum og 3 % som minimum. En angir

prosenttall for usikkerheten og ved å trykke på de ulike knappene så oppdateres alle nøkkeltallene.

Det kan være store forskjeller, selv med små usikkerheter på store tall. For å vise hva som påvirker mest, er verdiene oppsummert i en tabell, se Figur 3.

	Mengde (m³)	Usikkerhet (%)	Usikkerhet, mengde (m³)
Lever Vann	7 045 468	2 %	140 909
		-2 %	-140 909
Målt, fakturert	5 000 000	2 %	100 000
		-2 %	-100 000
Ikke målt, fakturert	400 000	3 %	12 000
		-3 %	-12 000
Målt, ikke fakturert	300 000	2 %	6 000
		-2 %	-6 000
Ikke målt, ikke fakturert	105 000	5 %	5250
		-5 %	-5250
Legalt forbruk	5 805 000		123 250
			-123 250

Figur 3. Sammenstilling av poster som bidrar til usikkerhet fra regnearket Vannbalanse.

				Simulert		
Usikkerhetsanalyse	Min	Middel	Max	Max	Min	Max
A. Fakt målt forbruk	-2%	5000000	2%	5100000	4900000	5100000
B. Fakt ikke målt forbruk	-3%	400000	3%	412000	388000	412000
C. Ikke fakt målt forbruk	-2%	300000	2%	306000	294000	306000
D. Ikke fakt ikke målt forbruk	-5%	105000	5%	110250	99750	110250
E. Illegalt forbruk	-10%	10000	10%	11000	9000	11000
F. Nattforbruk	-10%	357050.592	10%	392756	321346	392756
Lever vann, målefeil	-2%	7045468	2%	7186377	6904559	7186377

Figur 2. Usikkerhetsberegning i regneark for henholdsvis min og maks.

1.5.2. Scenario for enkelte parametre

En alternativ måte for å anslå usikkerheten i beregningene er å analysere ulike scenarier med ulike verdier på inngangsdataene. De verdier som en er usikre på eller som en ønsker å teste effekten av, kan varieres systematisk. For *Regneark 2 – SELL* er dette den eneste metoden (det finns ingen celler å fylle inn usikkerhet i). Dette utføres ved å kopiere *Regneark 2 – SELL*. I en simulering legges minimumsverdiene inn og i beregning nr 2 legges maksimalverdiene inn. Ofte sammenfaller ikke min på alt og maks på alt, og det bør det tas hensyn til ved innlegging av verdier.

1.5.3. Avansert metode for usikkerhetsanalyse

En mer avansert metode for å beregne usikkerhet vil være å angi usikkerhetsfordelingen knyttet til hver inngangsparameter. En slik fordeling kan for eksempel være en normalfordeling. Ved hjelp av Monte Carlo-simulering kan en da beregne den totale usikkerheten. Det finnes programvare for å utføre slike simuleringer, for eksempel tilleggsmodulen Crystal Ball i Excel (Oracle Corporation).

I en Monte-Carlo simulering gjennomføres det store antall simuleringer hvor en for hver simulering trekker tilfeldig ut i fra de enkelte fordelingskurver for de ulike inngangsdata. Det gjennomføres gjerne 10 000 simuleringer og basert på resultatene fra de ulike simuleringene kan den samlede usikkerheten beregnes.

En sensitivitetsanalyse kan bli utført ved å beregne usikkerhetsbidraget fra hver inngangsparameter til den totale usikkerheten (variansen) av modellutgangene. Ved bruk på denne måten identifiserer sensitivitetsanalysen parameterne som har størst innvirkning på den totale usikkerheten. Innsatsen bør fokusere på å redusere usikkerhetene i disse parameterne for å forbedre påliteligheten.

I regnearkene som er utviklet i prosjektet er det ikke inkludert Monte Carlo simulering siden dette ikke inngår i standard Excel. Slike beregninger kan likevel utføres med utgangspunkt i de regneark som er utarbeidet i prosjektet. Det må da for hver inngangsparameter defineres en fordeling. Slike beregninger må utføres på eget initiativ. I Göteborg er det anvendt en slik avansert usikkerhetsmetode, se mer om dette i kap. 4.5.

2. Vannbalanse og vanntap

2.1. Kort oversikt over hvordan andre land arbeider med vanntap

2.1.1. State of the Art

Et viktig arbeid de siste 20 årene har vært IWAs manual «Performance Indicators for **Water Supply Services**. IWA Manual of Best Practice» (Alegre et al., 2000). Her defineres de ulike parametere, og brukes som grunnlag for nesten alle studier. En oppdatert versjon av rapporten ble utgitt i 2016.

I England gir «Leakage Management and Control – A Best Practice Training Manual» fra Farley (2001) en omfattende opplæring i alle aspekter av lekkasjedeteksjon og metoder for å redusere vanntapet. Håndboken er ment som et grunnlag for å øke forståelsen og betydningen av å redusere vanntapet. Rapporten bygger på forskningsrapporter fra 1980- og 1990-tallet.

I USA er «Pipe Location and Leakage Management for Small Water Systems» fra Water Research Foundation, Hughes et al. (2014) en sentral rapport. Her beskrives konkrete forslag til arbeidsmetoder for lekkasjedeteksjon og reduksjon av vanntap, samt en omfattende gjennomgang av utstyr for å finne lekkasjer.

Fra Tyskland vil vi særlig trekke frem rapporten fra Deutsche Gesellschaft für Inter Zusammenarbeit Guidelines for water loss reductions - A focus on pressure management», (GIZ, 2011), som kort fremhever de viktigste elementene for å arbeide med reduksjon av vanntap, med fokus på trykkreduksjon.

IWAs «Water Loss Task Force» presentert i 2003 en rapport om inndeling i lekkasjesoner (District Meter Area, DMA), som beskriver hvordan analysere vanntapet gjennom områdevis måling. IWA har også rapportert om 14 års erfaring i å bruke IWAs «Performance Indicators» i en rapport fra Lambert et al (2014).

EU har utviklet en god håndbok som beskriver hvordan man skal jobbe med SELL: "Reference document Good Practices on Leakage Management" (EU, 2015). Denne kan være et supplement til denne veiledningen.

2.1.2. Hvorfor er det så lavt vanntap i Danmark?

I Danmark var det på 1980-tallet stor fare for vannmengel og også alarmer om hvordan landbruket forurensset grunnvannet. Dette førte til tiltak på 1990-tallet for å spare vann. Hvordan gjorde de dette? Jo, prisen økte mye mer enn forbrukerprisindeksen i form av ekstra skatt. Vannmålere ble installert hos alle forbrukere, og man innførte bøter dersom vanntapet var over 10 %. Bruk av prosent (%) for skattesats (og ikke m³/km/dag) er ikke helt rettferdig, men det er en enkel måte, og den har fungert (Hall, 2017).

Erfaring fra Leakman (2017) peker videre på 5 hovedårsaker til at Danmark har lykket i arbeidet med å redusere vanntapet:

- 1) strategisk rehabilitering
- 2) godt utført arbeid
- 3) nøyaktige målinger
- 4) politiske insentiver
- 5) endring i kultur.

Leakman (2017) hevder at tilnærmingen har virket, men en ønsker ytterligere å forbedre arbeidet ved å ta i bruk ny teknologi, produkter og tjenester.

I tillegg har Danmark gode forutsetninger fra naturens side (flatt terreng) slik at en kan holde vanntrykket forholdsvis jevnt og lavt i hver enkelt trykksone.



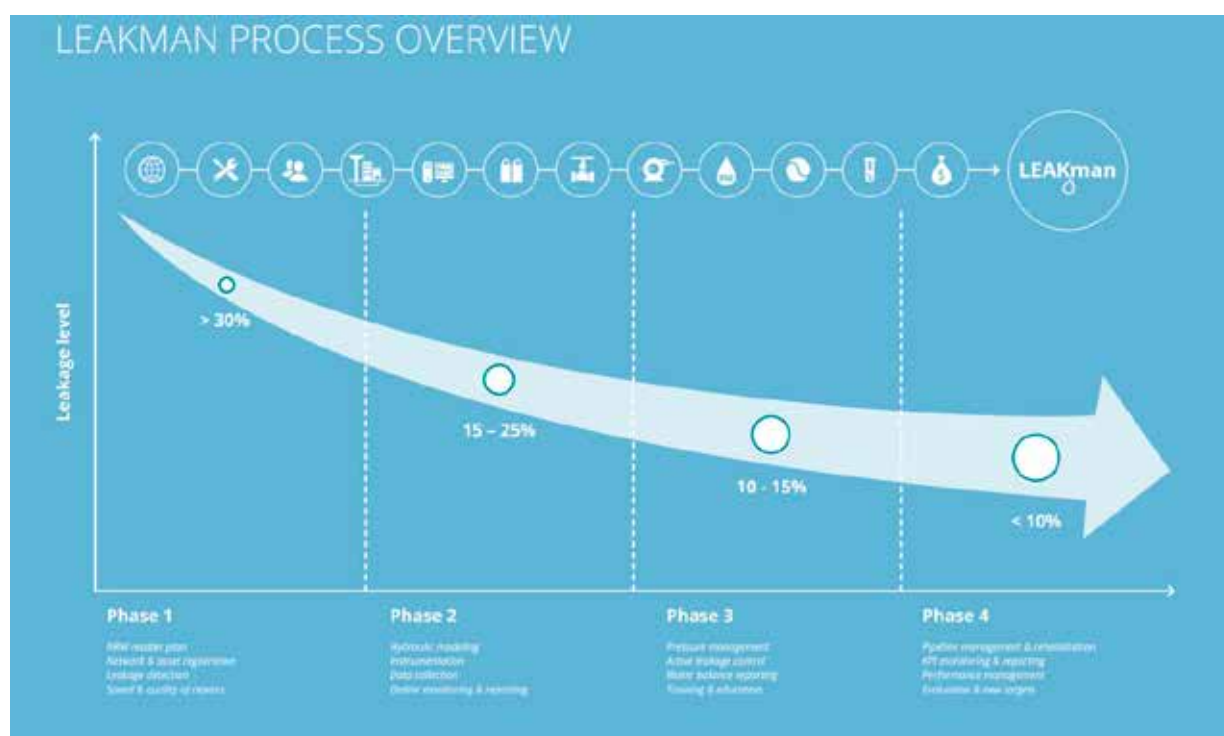
2.1.3. LEAKman: dansk forskningsprosjekt for å redusere lekkasje

Prosjektet er initiert for å demonstrere danske løsninger for å begrense drikkevannstap, og bane vei for ny teknologi og eksport av dansk teknologi og tjenester. Målet er å lage den beste løsningen for lekkasjehåndtering. I prosjektet inngår Leif Koch, The AVK Group, HOFOR, Novafo, Grundfos, Schneider Electric, Aquis, Kamstrup, NIRAS og DTU. Prosjektet er støttet av Miljø- og matdepartementet. Prosjektet startet opp i 2016 og vil vare til år 2019. Samlet budsjett er 43 mill. DKK (Leakman, 2017). Prosessoversikt er vist i Figur 4.

- Leakman har en online hydraulisk nettmodell som kan brukes til trykkregulering etc.
- Fullskala på fire teststeder
- Prosjektet inkluderer en doktorgradsstudent som arbeider med måleproblemer
- Smart vannmåler hos alle kunder med temperatur og vannføring (ikke vanntrykk)
- Finoppløselig trykkmåler på nettet som også kan måle trykkstøt
- Lydloggere hver 100 - 200-meter
- Trykkoptimalisering må installeres

Dansk vannsektor kjennetegnes av et lavt vanntap (< 10 %) og er således i fase 4 iht. Figur 4. Erfaringene fra prosjektet så langt er at det er vanskelig å begrense antall KPI'er som skal brukes og at måling er viktig. Det som en måler kan også kontrolleres og optimaliseres.

Planen for LEAKman prosjektet inkluderer også å vurdere metoder og regne på ELL. De har ennå ikke begynt på dette arbeidet, da de i nåværende fase av prosjektet konsentrerer seg om å få instrumenteringen (lydloggere, smarte målere, trykkreduksjon og IT systemer) på plass. Når data begynner å komme inn fra demonstrasjonsområdene, vil LEAKman arbeide med anvendelsen av informasjonen og metoder for å beregne ELL (Gitte Marlene Jansen, personlig meddelelse 24 jan. 2018).



Figur 4. Leakman prosess (Leakman, 2017)

2.2. IWA sin modell for vannbalanse

Vannbalanse er en systematisk metode for å holde orden på vannproduksjon, vanntap og forbruk, Figur 5. Metoden er utarbeidet av IWA og brukes i mange land.

System Input Volume	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water
			Billed Unmetered Consumption	
	Water losses	Unbilled Authorised Consumption	Unbilled Metered Consumption	Non-Revenue Water
			Unbilled Unmetered Consumption	
		Apparent Losses	Unauthorised Consumption	
			Customer Meter Inaccuracies	
	Real Losses		Leakage on Transmission and Distribution Mains	
			Leakage on Service Connections up to the point of Customer Meter	
			Leakage and Overflows at Storage Tanks	

Figur 5. IWAs vannbalansemodell fra 2000 (Alegre et al. 2000).

I denne rapporten brukes en litt modifisert modell som er oversatt til norsk (se Figur 6).

Lever vannvolum til kommunens vann-nett. Vann fra eget vannverk og importert vannvolum.	Legalt forbruk	Fakturert legalt forbruk	Fakturert målt forbruk	Fakturert vann
			Fakturert ikke målt forbruk	
	Vanntap	Ikke fakturert legalt forbruk	Ikke fakturert målt forbruk	Ikke fakturert vann
			Ikke fakturert ikke målt forbruk	
		Tilsynelatende vanntap	Illegalt forbruk	
		Virkelig vanntap	Vanntap kommunale vannledninger	
			Vanntap private stikkledninger	

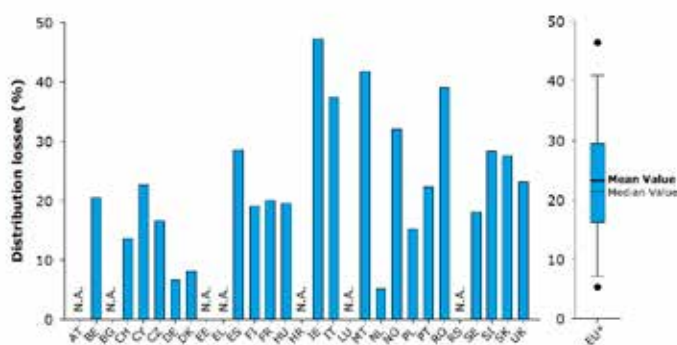
Figur 6. Modifisert vannbalansemodell etter IWA (2000).

Her kommer en forklaring til de viktigste elementene som inngår i oversikten over:

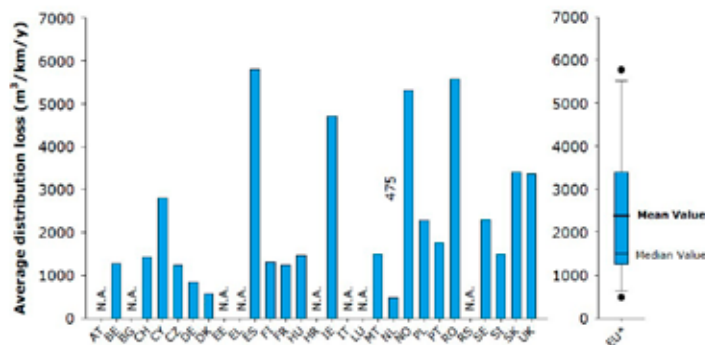
- Total produsert vannmengde – mengde som tilføres systemet. Vannet kommer enten fra egne vannbehandlingsanlegg eller kjøpt vann fra annet vannverk.
- Legalt forbruk – målt/stipulert mengde brukt av registrerte kunder, vannverket, samt andre uttak som er godkjent av kommunen til å bruke vann. Inkluderer eksportert vann, lekkasjer o.l. etter punktet hvor forbruksmåling foregår.
- Ikke-fakturert, legalt forbruk: vann til brannslukning, fontener, veg- og tunnelvask, parkvanning, frosttapping, spyling av ledningsnett, «entreprenørvann» etc.
- Lekkasje overløp fra høydebasseng inngår i ikke fakturert og ikke målt forbruk.
- Vanntap – differansen mellom total produsert mengde og legalt forbruk. Vanntap kan deles opp i:
 - Tilsynelatende tap – Illegalt forbruk og målefeil. Kan utgjøre over 10% og er vanskelig å kartlegge.
 - Virkelige tap – lekkasjer på offentlig og privat nett. Omtalt i rapporten som 'lekkasjer'.

2.3. Vanntap i Norge og Europa

Den europeiske paraplyorganisasjonen for vannbransjen, Eureau, har i sin statusrapport for 2017 (Eureau, 2017) sammenstilt nasjonale tall for vanntap. Gjennomsnittlig vanntap i Europa oppgis til 23 % eller 5,9 m³/km, døgnet (2171 m³/km, år), se Figur 7 og Figur 8. Eureau vektlegger at tallene ikke kan sammenlignes på grunn av lokale forskjeller i bruk av vann til offentlige formål.



Figur 7. Gjennomsnittlig vanntap (%) i ulike europeiske land (Eureau, 2017)



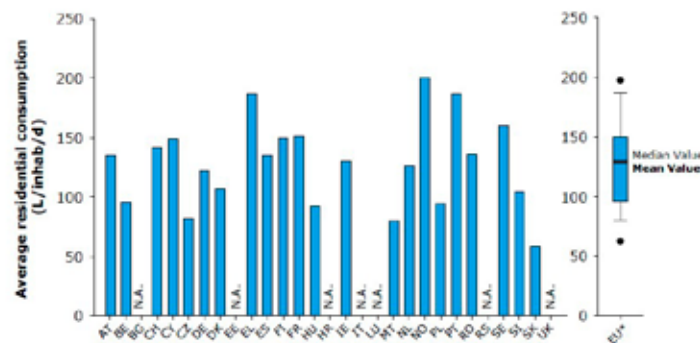
Figur 8. Gjennomsnittlig vanntap (m³/km/år) i ulike europeiske land (Eureau, 2017)

2.4. Spesifikt vannforbruk i Norge og Europa

Spesifikt vannforbruk i Europa varierer fra land til land (Eureau, 2017) og gjennomsnittlig er forbruket 128 l/p/d, se Figur 9. Verdien for spesifikt vannforbruk som angis for Norge er 200 l/p/d. Det er grunn til å påpeke at dette er en annen verdi enn hva som inn til 2017 har vært benyttet av bedreVann (160 l/p/d).

I 2015-2016 utarbeidet Norsk Vann rapporten B20 "Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk" (Norsk Vann, 2016). Rapporten beskriver arbeidet med å finne gjennomsnittsforkbruket i kommuner med høy vannmålerdekning og sammenligne dette med tall fra SSB og andre kilder. Som beskrevet i Norsk Vann rapport B20 er det ikke alle norske kommuner som har husvannmålere. Dette er f.eks. tilfellet i Bergen og Oslo hvor en bare har vannmålere for næringsvirksomhet. Dette gjør at vannforbruket for husholdningene beregnes ut ifra antall personer og et antatt spesifikt vannforbruk pr person. B20 rapporten viste at i kommunene som har jobbet med å få frem gode tall for vannforbruk, så er målt spesifikt vannforbruk beregnet til 140 l/pe/d. Dette er en verdi som er lavere enn de tall som har vært benyttet i vannbransjens ulike statistikker (SSB og

bedreVann). Norsk Vann har i 2018 besluttet at det er den anbefalte verdien på 140 l/pe/d som skal benyttes for å beregne lekkasjenivået i Norge dersom en ikke har egne vannmålerdata i kommunen som tilsier en annen verdi. En reduksjon i spesifikt vannforbruk vil selvfølgelig påvirke det rapporterte lekkasjenivået i hver enkelt kommune, men selvfølgelig ikke det reelle. Det er viktig at bransjen bruker de tall og verdier som representerer best tilgjengelig kunnskap til enhver tid. B20 rapporten representerer dette for vannbransjen i Norge inntil rapporten eventuelt blir oppdatert. Ser en på de verdier for spesifikt vannforbruk som de andre europeiske landene benytter er det grunn til å tro at spesifikt vannforbruk i Norge på sikt skal ytterligere ned.



Figur 9. Gjennomsnittlig spesifikt vannforbruk i ulike europeiske land (Eureau, 2017)



2.5. CARL, UARL og ILI

2.5.1. CARL

CARL (Current Annual Real Losses) er det virkelige vanntap for et distribusjonssystem.

CARL = vannvolumet som tapes gjennom brudd- og bakgrunnslekkasjer på offentlig og privat nett, overløp basseng etc. [L/døgn]

Når vannledningsnettet eldes, er det en tendens til naturlig økende grad av reelle tap gjennom nye lekkasjer og brudd, hvorav noen ikke vil bli rapportert. Denne tendensen blir kontrollert og styrt av en kombinasjon av de fire primære komponenter, nemlig (i) fornyelse av ledninger (asset management) (ii) trykkstyring (som kan øke eller redusere trykket), (iii) hastighet og kvalitet på reparasjoner, og (iv) aktiv lekkasje kontroll for å finne urapporterte lekkasjer.

2.5.2. UARL

UARL (Unavoidable Annual Real Losses) er et nyttig konsept som kan brukes til å forutsi, med rimelig sikkerhet, det lavest teknisk årlige reelle tap for enhver kombinasjon av nettets lengde, antall tilkoblinger, gjennomsnittlig stikkledningslengde og aktuelt driftstrykk.

IWA har utviklet en «brukervennlig», trykkavhengig formel for å forutsi UARL- verdier i et bredt spekter av distribusjonssystemer:

$$\text{UARL (liter/døgn)} = (18 \cdot L_m + N_s (0.8 + 0.025 \cdot L_p)) \cdot P$$

Hvor L_m er ledningslengde i km, N_s er antall stikkledninger, L_p er lengden på de private stikkledningene i m og P er gjennomsnittlig driftstrykk i meter.

2.5.3. ILI

ILI, Infrastructure Leakage Index, er en dimensjonsløs indikator. ILI tar hensyn til lengde ledningsnett, tetthet av stikkledninger og trykk. Indikatoren beskriver forholdet mellom nåværende årlig virkelige tap (CARL – current annual real losses) og uunngåelige årlige virkelige tap (UARL) (Hamilton et al., 2006)

$$\text{ILI} = \text{CARL} / \text{UARL}$$

Hvor: CARL = vannvolumet som tapes gjennom brudd- og bakgrunnslekkasjer på offentlig og privat nett, overløp basseng etc. [L/døgn] og

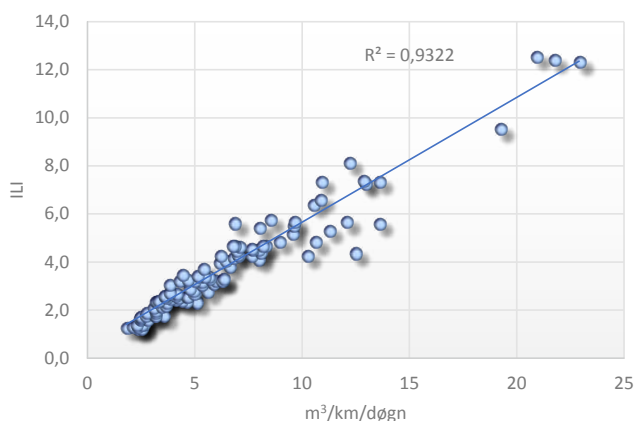
UARL = vanntapet som er teknisk umulig å unngå uavhengig av økonomiske begrensninger [L/døgn]

UARL er en delmengde av CARL, og brøken indikert av ILI kan dermed ikke være mindre enn 1.

WHO har utarbeidet en kategorisering av ILI som er vist i Figur 10.

Index for vanntap (ILI)	Skala fra WHO (Seago et al. 2005)					
ILI = CARL / UARL	>3,5	3–3,5	2,5–3	2–2,5	1,5–2	<1,5
	Ikke akseptabelt	Dårlig	Litt dårlig	OK	God	Utmerket

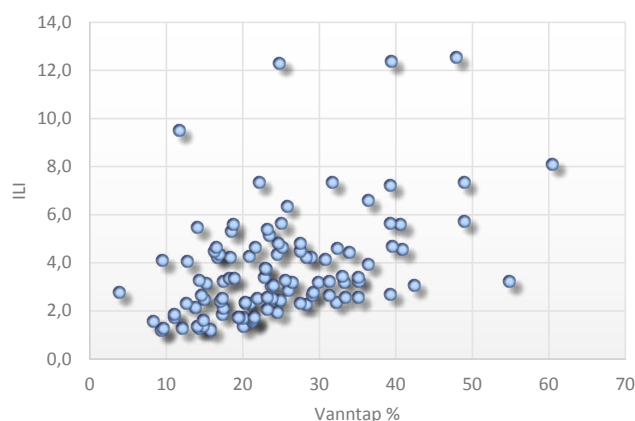
Figur 10. WHO sine grenser for kategorisering av ILI



Figur 11. ILI koblet til ulike vanntap i m³/km, d. Data fra 107 svenske kommuner 2016.

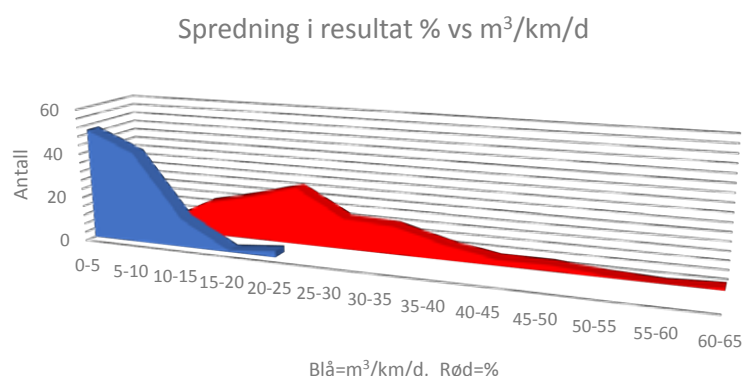
En analyse av 107 svenske kommuner i 2016 viser at de fleste svenske vannverk har ILI mindre enn 5 (Figur 11). Det er en sterk korrelasjon mellom ILI og vanntap målt i m³/km/døgn, noe som også påvirkes av at en under beregningene av ILI har benyttet samme stikkledningslengde og vanntrykk for hvert vannverk/vannledningsnett. Figur 12 viser at dette ikke gjelder for vanntap målt i %. I Sverige er stikkledningslengden ca. 20 meter i gjennomsnitt (Svenskt Vatten, 2017b).

Beregninger hvor en bruker benevnelsen m³/km/døgn gir et riktigere resultat enn dersom en måler i prosent. For et svært langt ledningsnett, hvor det er mange km ledninger som det kan lekke vann ut fra, blir det ikke riktig å måle i prosent. For store kommuner hvor ledningsnettet er konsentrert i et område vil en også komme gunstigere ut dersom en måler i prosent istedenfor i m³/km/døgn. Av Figur 13 ser man at spredningen (fordelingskurven) når en måler i % er



Figur 12. ILI koblet til vanntap i %. Data fra 107 svenske kommuner 2016.

mange ganger større enn dersom benevnelsen er i m³/km/døgn. Dette viser at m³/km/døgn er den beste indikatoren for å jobbe med lekkasjer.



Figur 13. Spredning i data når benevnelsen er henholdsvis i m³/km/døgn og %. Data fra 107 svenske kommuner 2016.

2.6. Bærekraftig nivå på vanntap

Et vannverk med lave vanntap vil også kunne ha lavere driftskostnader knyttet til produksjon og distribusjon av drikkevann enn hva tilfellet ville vært med et høyere vanntap. Eksempler på innsparinger er redusert kjemikalieforbruk i vannbehandlingsanlegg, redusert energiforbruk i vannbehandlingen, redusert behov for pumping av vann på nettet og mindre slam som skal håndteres i vannbehandlingsanlegget. Vann som lekker ut av vannledningsnettet vil også delvis transporteres videre i avløpssystemet. Fremmedvann i avløpsnettet påvirker den hydrauliske kapasiteten til transportsystemet, mer avløpsvann må pumpes, det vil gå mer vann i overløp og større mengder avløpsvann må renses i avløpsrense-

anlegget. Kostnadene med vannlekkasjer fremkommer således i hele den urbane vannsyklusen, både innen vannforsyningssystemet selv, men også innen håndteringen av avløpsvann.

Tiltakene for å redusere lekkasjer har også en kostnads-side. Det koster penger å installere systemer for trykkreduksjon, etablere lekkasjesoner og fornye vannledninger som er i dårlig tilstand. Det daglige arbeidet med å identifisere og reparere lekkasjer og drifte eventuelle overvåkningssystemer koster også penger. Det er en balanse mellom kostnadene knyttet til vannlekkasjer og kostnadene av tiltakene som kan

iverksettes for å redusere lekkasjene. Ved å se på de totale årlige kostnadene (for vannlekkasjer og kostnader for tiltak) for ulike lekkasjenivåer, er det mulig å estimere det optimale lekkasjenivået for hvert enkelt vannverk. Dersom kostnadselementene også inkluderer andre eksterne kostnader og fordeler slik som sosiale og miljøhensyn, kan det optimalt bærekraftige økonomiske lekkasjenivået estimeres (SELL – Sustainable Economic Leakage Level).

Arbeidet med å inkludere samfunnsmessige kostnader og fordeler blir ofte gjort på en generell måte, siden det er vanskelig å fremskaffe gode data. Marlow et al. (2011) har listet samfunnsmessige kostnader og fordeler som kan inkluderes er: utslipp av klimagasser, miljøpåvirkning på grunn av forstyrrelser på kultursteder, helse og sikkerhet, sosiale forstyrrelser (for eksempel vannforsyningstap, støybelastning, overbelastning, forstyrrelser i offentlig transport) og ikke-kompensert økonomisk tap.

I England og Wales har SELL vært benyttet, men de har også inkludert krav om reduksjon i tapt vannvolum uansett nivå på SELL. Dette setter press på vannselskapene (Marco Fantozzi personlig meddelelse 17 jan. 2018).

3. Vannbalanse – regneark 1

Tradisjonelt beregnes reelt vanntap ved hjelp av en vannbalanse-modell. Forskjellen mellom produsert vann, fakturert vann og ikke fakturert vann blir et mål for vann-

tapet. Vanntapet er både reelt og ikke reelt (f.eks. målefeil for sonevannmålere).

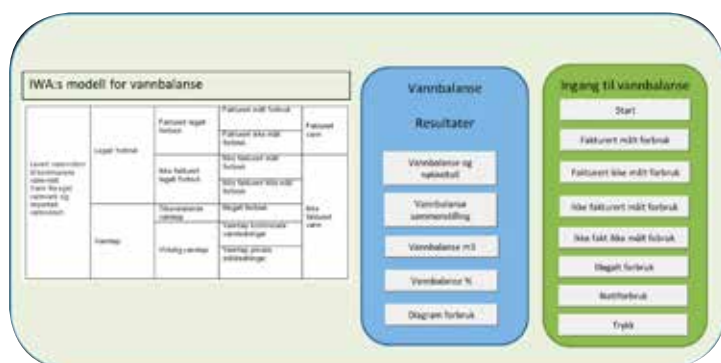
3.1. Vannbalanse

For beregning av lekkasjetap opereres det med to metoder ifølge IWA:

- Vannbalansemetoden (topp-ned)
 - Lekkasje = produsert vann – forbruk
- Nattforbruksmetode (bunn-opp)
 - Lekkasje = observert nattforbruk – legalt nattforbruk

I prinsippet bør disse to metodene gi like resultater. Vannbalansemetoden egner seg til beregning over lengre perioder, mens nattforbruksmetoden gir mer korrekte sanntidsresultater, men er mer arbeidskrevende (Bosnjakovic, 2017).

Regneark 1 – Vannbalanse, Figur 14, er en modell for beregning av lekkasjenivå i en kommune basert på en ovenfra og ned (top-down) og nedenfra og opp (bottom-up) tilnærming ihht. IWA. I dette arket som også inneholder en del makroer skal «grønne» felt fylles ut. Dette arket er nødvendig for at en i Regneark 2 skal kunne beregne SELL.



Figur 14. Regneark – Vannbalanse

Vannbalansemodellen beregner fra de data som fylles inn, Figur 15. Resultatene blir dessverre ikke bedre enn inngangsdataene tilsier.

Begynn med Start og fyll inn data om produksjon av vann og distribusjonsnettets utstrekning.

- Fyll inn alt av målt forbruk som er fakturert.
- Fyll inn alt forbruk som er fakturert, men som ikke er målt. Viktig å beregne disse volumene så nøyaktig som mulig.
- Fyll inn alt av målt forbruk som ikke er fakturert. Viktig å identifisere alle målepunkter.
- Volumer som ikke er målt og som heller ikke er fakturert, må identifiseres. Dette volumet blir ellers en del av vanntapet.
- Alt illegalt forbruk må estimeres.
- Ved å angi laveste nattforbruk beregnes en sannsynlig verdi for vanntapet (bottom-up).
- Trykk beregnes med en enkel modell.



Figur 15. Inngangsdata til vannbalanse



Figur 16. Vannbalanse – resultater

- Vannbalansen vises både i form av tekst og søyle-diagram, Figur 16 viser hvor.
- Vannbalansen er vist i tre typer av diagram, i m³, i prosent og fordelt for de ulike forbruksposter.
- I Vannbalanse og nøkkeltall er vannbalansen vist i tekst sammen med nøkkeltall, Figur 17.
- I Vannbalanse sammenstilling er nøkkeltall og usikkerheter sammenstilt

Spesifikke tall		
Spesifikk lekkasje kommunale ledninger	11,2	l/m hovedledning/døgn
Spesifikk lekkasje stikkledninger	223	l/stikkledning/døgn
Spesifikt vanntap totalt	20,1	l/m hovedledning/døgn
Virkelig vanntap	17,4%	
Vanntap fra nattforbruk	5,5%	

Figur 17. Vannbalanse – resultater

3.2. ILI

Når vannbalansen er beregnet, beregnes ILI for distribusjonssystemet, og presenteres i form av en tabell, Figur 18.

For å vurdere ILI finnes en tabell med utgangspunkt i erfaringstall fra WHO, Figur 10. Tabellen angir et intervall fra <1,5 som er utmerket til >3,5 som er ikke akseptabelt.

Beregning av ILI		
Virkelig tap	19,8	l/m/døgn
CARL (Current Average Real Losses)	3371145	l/døgn
UARL (Unavoidable Average Real Losses)	603182	l/døgn
Trykk (middel over hele nettet)	50,7	mvp
Lengde hovedledningsnett	170	km
Antall stikkledninger	6800	st
Middel stikkledningslengde	20	m
ILI (Infrastructure Leakage Index)	5,6	

Figur 18. Beregning av ILI

3.2.1. Beregning av gjennomsnittlig trykk

Gjennomsnittlig trykk er nødvendig for beregning av "Unavoidable Annual Real Losses" (UARL), som brukes til å utlede Infrastructure Leakage Index (ILI). Gjennomsnittlig trykk om natten er også en nøkkelparameter for mange andre typer modelleringsberegninger basert på nattforbruk, så det er verdt å foreta en systematisk tilnærming til beregningen. I regnearket finnes en metode for å beregne som er hentet fra ILMSS Ltd (2013).

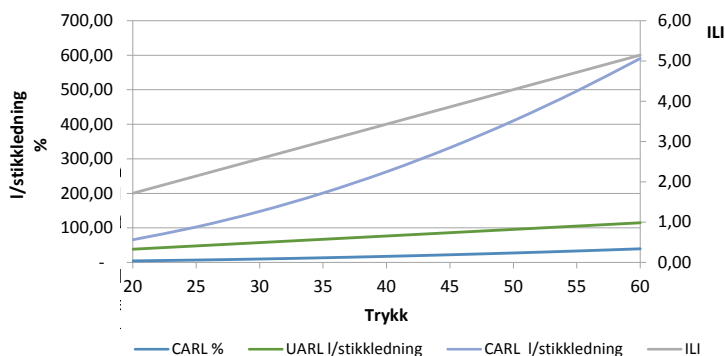
3.2.2. Beregning av stikkledningslengde

Tall for stikkledninger er nødvendig for å beregne ILI. Dette kan finnes via vannverkets GIS-system eller ved å ta avstanden fra bygningen til ledning i gate (eller midten av vegen). Stikkledningens lengde vil bli lengre hvis det er snakk om en fellesledning.

I Norge finnes det ca. 90 000 km med stikkledninger for vann (Norsk Vann). Med 4,1 millioner bygninger i Norge blir dette 22 meter i gjennomsnitt. For vannverk som ikke har oversikt over stikkledningene i kan 22 m stikkledningslengde benyttes. Hvis det er mye fellesledninger, må lengden økes og dermed reduseres for de områder som ikke har fellesledninger. Fellesledninger regnes som en stikkledning, så egentlig underestimeres vanntapet siden fellesledningene også har anboringer som kan gi vanntap. Dersom en kompenserer ved å øke stikkledningslengden pga. fellesledninger kan det være en god nok tilnærming.

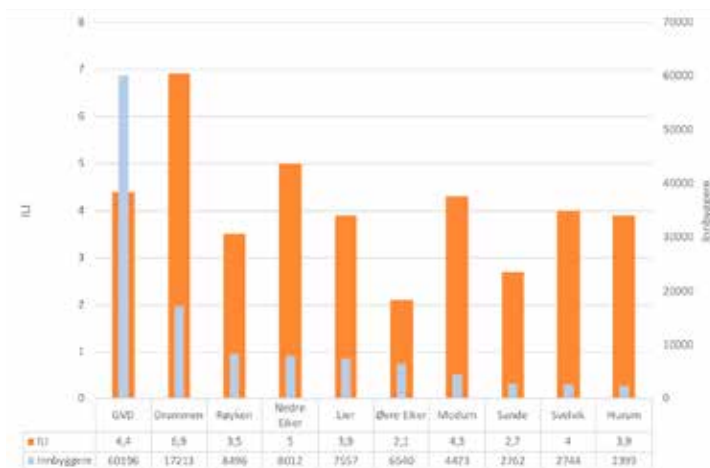
3.2.3. Forholdet mellom ILI og andre målinger av vanntap

Der er en god korrelasjon mellom trykk og vanntap. Hvis trykket endres fra 20 mvs til 60 mvs vil vanntapet endres fra 5 % til 40 % og ILI endres fra ca. 2 til 5. I Figur 19 er dette vist.

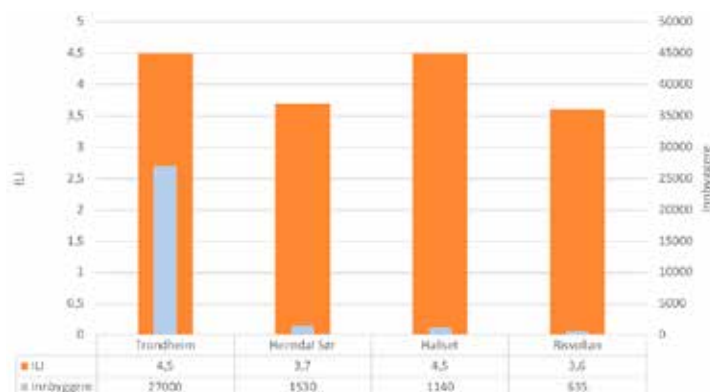


Figur 19. Forholdet mellom ILI, CARL og UARL for ulike trykk.

Figur 20 og 21 viser variasjonen av ILI i ulike store kommuner i Drammensregionen og i ulike store områder i Trondheim.



Figur 20. Eksempler på ILI fra ulike kommuner i Drammensregionen.



Figur 21. Eksempler på ILI fra ulike områder i Trondheim.

4. Bærekraftig vanntapsnivå – regneark 2

IWA har tatt frem en modell for å bedømme hvilket nivå på lekkasje/vanntap som kan ansees som bærekraftig, SELL. SELL står for Sustainable Economic Level of Leakage som oversatt til norsk blir bærekraftig lekkasjenivå – som er det som også er nevnt i den nasjonale bærekraftstrategien for vannbransjen (Norsk Vann, 2017a). SELL inkluderer ikke bare de langsiktige kostnadene og fordelene som er interne for vannverket, men også de eksterne samfunnsøkonomiske, sosiale og miljømessige kostnadene og eventuelle fordeler knyttet til vannlekkasjer. Sosiale kostnader er f.eks. trafikkforstyrrelser knyttet til reparasjon og utskifting av vannledninger, men også helseeffekter knyttet til trykløst vannledningsnett. Miljøfordeler er f.eks. reduksjon av CO₂ utslipp. Det er få som har gjennomført en SELL analyse internasjonalt og det er følgelig vanskelig å finne referanser til erfaringsverdier for inngangsdata.

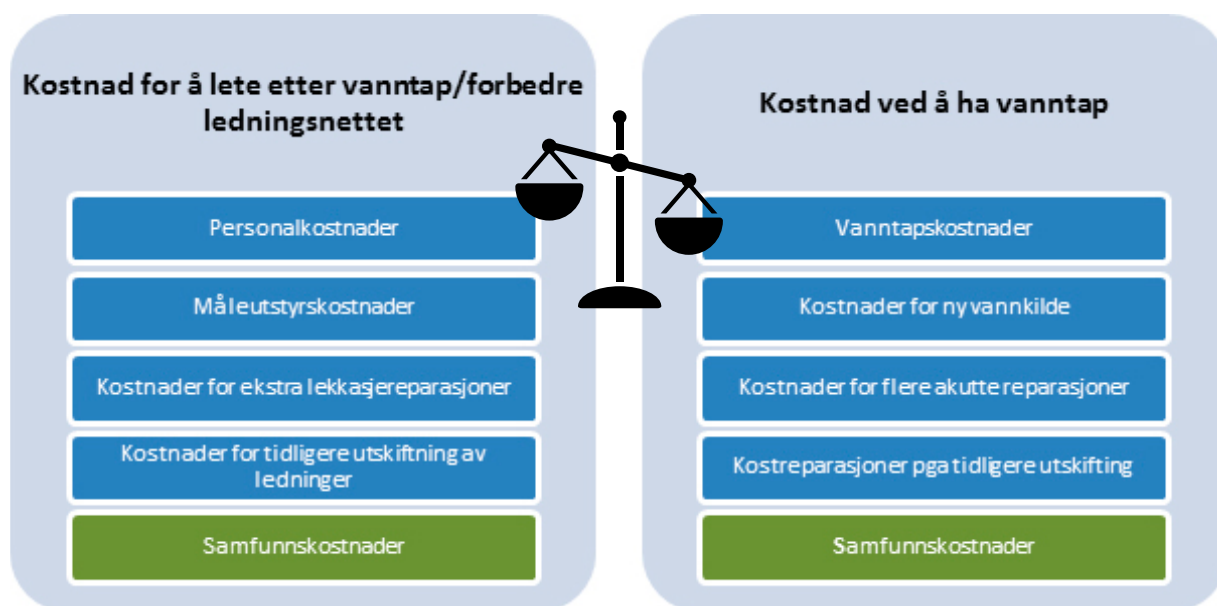
ELL står for Economic Level of Leakage – det vil si det vannlekkasjenivå som det lønner seg å redusere vanntapet til. Jo dyrere det er å produsere og distribuere vannet, desto lavere bør lekkasjenivået være. Om det

samlede vanntapet er så stort at det på sikt vil være behov for en ny vannkilde, da kan det bli riktig så lønnsomt å redusere vanntapet.

I regneark 2 «SELL» er en modell for beregning av det bærekraftige vanntapsnivået i en kommune basert på IWAs modell. I dette arket som også inneholder en del makroer skal de «grønne» cellene fylles ut. Figur 22 viser hvilke kostnader og besparelser som det bør tas hensyn til for beregning av det bærekraftige lekkasjenivået. Under de respektive underubrikkene beskrives dette i detalj. En oversikt over typiske tall finnes i regnearket.

SELL-arket kan gi svar på om en trenger å redusere vanntapet, selv om man har store vannressurser og gode geografiske forhold og lite måledata. Arket kan også gi svar på om innføring av husvannmålere er et effektivt tiltak for å redusere vanntapet eller ikke.

Man kan regne bare på ELL om man vil, da utelater en bare å angi feltene for samfunns-kostnader og gevinster.



Figur 22. Kostnader og besparelser som inngår i SELL

4.1. Kostnad for å lete etter lekkasjer/forbedre ledningsnett

4.1.1. Personalkostnader

For å redusere lekkasjene, kan en ansette flere driftsope-
ratører som jobber med lekkasjesøking. Det viktigste
kostnadselementet knyttet til økte personellressurser er
de ansattes lønnskostnader. Andre utstyrs-kostnader er
antatt å være ubetydelige i forhold til lønnskostnader,
men eventuelle kostnader for ekstra bil bør regnes med.
Kostnaden er antatt å være den samfunnsmessige
alternative kostnaden for arbeidskraft der personen som
rekruttert til stillingen kommer fra et arbeidsmarked
uten arbeidsledighet. Begge kostnadselementene kan
angis i SELL-regnearket.

4.1.2. Måleutstyr kostnader

Metoder for å lokalisere lekkasjer inkluderer direkte
metoder som akustisk overvåking, inline inspeksjon,
gassinjeksjon eller manuell lyttepinne (Hamilton og
Charalambous 2013), og indirekte metoder som
sonemåling eller trykkanalyse (Misiunas 2005).
Lekkasje kan også reduseres ved trykkreduksjon gjerne
ved bruk av optimalisering, som demonstrert av for
eksempel Araujo et al. (2006) og Tabesh et al. (2009).
Internasjonal erfaring tyder på at for hver 1 % i reduk-
sjon i trykk reduseres lekkasjen med 1,4 % (Thornton og
Lambert 2007).

Kostnaden for måleutstyr kan fylles inn per stykk
(antall) i regnearket, og en total årlig kostnad beregnes
deretter. En kan legge inn både sensorer og eventuelle
andre målere. Det er viktig å være klar over at det er de
årlige kostnadene som skal oppgis, dvs. hvis en vannmå-
ler forventes å ha en levetid i 10 år, er det kun en
tiendedel av anskaffelseskostnaden som skal oppgis for
hvert år (pluss rentekostnader).

Bruk av en hydraulisk nettmodell vil være nyttig når en
arbeider med lekkasjereduksjon. Kostnader for etable-
ring og drift av en slik modell bør ikke inkluderes i sin
helhet, da bruk av nettmodell også vil ha andre fordeler,
f.eks. beregninger i forbindelse med nye tilkoblinger,
driftsforstyrrelser osv. Dersom en nettmodell allerede er
etablert for andre formål enn lekkasjer, er det bare de
ekstra kostnadene som er knyttet til å finne vannlekka-
sjer som skal inkluderes i beregningene.

4.1.3. Kostnader for å reparere flere lekkasjer

Når man leter aktivt etter lekkasjer vil man finne flere
lekkasjer enn man ellers ville ha oppdaget. Noen av
lekkasjene ville nok ha blitt oppdaget før eller siden,
men noen av lekkasjene ville ha forblitt uoppdaget i lang
tid (flere år). Dette medfører at kostnadene med disse

”ekstra” vannlekkasjene skal inkluderes i kostnadene.
Det kan antas at de fleste av de ekstra lekkasjene ville
ha blitt oppdaget uansett. Slike vurderinger bør gjen-
nomføres for hver enkelt sone hvor en vurderer mulige
påvirkningsfaktorer slik som grunnforhold, tidligere
driftserfaringer og rørmaterialet.

4.1.4. Tidligere fornyet / utskiftning av ledninger

Rørmaterialet påvirker mengden vann som går tapt.
Analyser av ulike forsyningssoner i Göteborg viser at det
er en klar korrelasjon mellom volumet av tapt vann og
andelen av grå støpejernsrør. I en verdensomspennende
studie av hovedledningsnett viste Laven og Lambert
(2012) at frekvensen av ikke-rapportert lekkasje fra grå
støpejernsrør er mer enn dobbelt så høy som for andre
rørmaterialer. I Göteborg oppstår lekkasjer på grått
støpejern hovedsakelig i rørskjøtene og ved korrosjons-
puter. Ved groptæringshull var størrelsen på gropene
typisk rundt 25 mm. Dette tilsvarer en lekkasje på
550 liter per minutt (ved et trykk på 470 kPa, se for
eksempel Besner et al. (2011) for beregningsmetode).
Groptæringer utvikler seg over mange år, og den totale
vannlekkasjen fra grå støpejernsrør kan derfor være
betydelig. I Göteborg var det ingen sammenheng
mellom volumet av tapt vann og andelen av duktilt
støpejern. Sannsynligvis fordi de fleste lekkasjene på
duktile støpejernsrør oppsto plutselig og årsakene til
dette er at selv om metallet i et rør er helt korrodert,
hindrer sementmørtelforingen lekkasjen inntil også
sementen knekker. Rør laget av PVC kan utvikle
langsgående sprekker og mindre sprekker i skjøtene, og
eventuell ikke oppdagete lekkasjer kan være betydelig.
I Göteborg er lekkasje fra PE-rør sjeldne. (Malm et al,
2015a)

Fornyelse av vannledninger gjøres ofte for å reparere
lekkasjer, og ikke for å redusere lekkasjenivået. Det er
som regel ikke noen klar sammenheng mellom fornyelse
av ledninger og lavere lekkasjenivå (se kapittel 4.5 vedr
Göteborg). For å redusere vanntapet, må fornyelses-
raten være både målrettet og høy for å få noen effekt.
Siden en ikke alltid vet nøyaktig hvor lekkasjen oppstår i
ledningsnett, må en skifte ut mange meter ledning for
å oppnå effekter på vanntapet. Det er ofte ikke lønn-
somt, men for å vurdere det, kan en gjøre som følger:

- 1) Vurder fra hvilke ledninger /områder lekkasjen vurderes å komme fra (f.eks. dersom ledninger av grått støpejern lekker mye).
- 2) Ved hjelp av (1) beregne hvor mange meter som skal skiftes ut (f.eks. ekstra utskifting, i tillegg til det som trengs for å holde ledningen i akseptabel tilstand) for å redusere lekkasjene.
- 3) Beregne kapitalkostnad per år for hver meter.
- 4) Data er angitt i fane «Tidligere fornyelse» og summeres i fane «C. Kostnader» i SELL-arket. I SELL-arket er det en egen beregningsknapp for dette.
- 5) Dersom man planlegger ledningsfornyelse for å redusere lekkasjenivået og en stopper med dette (dvs. reduserer fornyelsesraten) kan en minuspost tas med i beregningene.

4.2. Samfunnskostnader for å lete etter lekkasjer/forbedre ledningsnett

4.2.1. Klimaeffekter

Det å lete aktivt etter lekkasjer medfører at en finner flere som følgelig må repareres. Dette medfører økt utslipp av karbonutslipp. Under utskiftningsarbeid og reparasjoner foreslår Ofwat (2008) å bruke miljøprisen som er basert på karbonutslipp fra drivstoff. Forurensningskostnadene fra grønne gassutslipp kan imidlertid også antas å være internalisert gjennom skatter og dermed inkluderes i de direkte kostnadene ved utskifting.

4.2.2. Helserisiko ved reparasjon av ledning

Hvordan rørbrudd/lekkasje oppstår og hvordan de repareres påvirker helserisikoen. Helserisikoen er større dersom det kreves kutting av eksisterende rør og et nytt rør må legges. Da må trykket reduseres helt og ledningen er åpen. For andre typer mindre lekkasjer hvor vannforsyningen kan opprettholdes mens ledningen repareres med en reparasjonsmuffe som strammer rundt den eksisterende rørleningen, resulterer det i mindre inntrengningsrisiko (Malm et al., 2015b). Jo bedre rutiner en har for anleggsarbeidet, desto mindre blir risikoen. De fleste kommuner har ingen egen vurdering av helserisikoen, og derfor har resultatene fra Nygård et al. (2007) blitt brukt i regnearket.

4.2.3. Forstyrrelser for innbyggere og trafikk ved anleggsarbeid/omlegging

De sosiale kostnadene ved utskiftningsarbeid og reparasjonsarbeid er ofte små. I de aller fleste tilfeller vil trafikkavviklingen gå greit selv om det skulle oppstå. For eksempel, i Speers et al. (2002), ble den sosiale kostnaden for forbrukere anslått å være ubetydelig. Avbrudd for bedrifter kan også håndteres uten for mye forstyrrelse og dermed til en lav pris (Speers et al., 2002). Dersom reparasjonen tar lang tid, er forbrukerne utstyrt med midlertidig forsyning, og leveringsforstyrrelsene vil være ubetydelige. Ifølge Marlow et al. (2011) og

Ofwat (2008) utgjør skade på vei og fortau, kommersielle forstyrrelser, støybelastning, trengsel, forstyrrelser i offentlig transport og påvirkning av estetiske forhold faktorer som kan inkluderes.

Aktivt lekkasjearbeid medfører flere reparasjoner, men enkelt-reparasjoner gir ikke så stor sosial påvirkning, så den totale kostnaden blir liten. I mange tilfeller må trafikken bare ledes om midlertidig og kommer frem tross alt. De fleste brukerne kan akseptere å være uten vann i en kortere periode, særlig om de får vite det i forveien, dvs. planlagte avbrudd (Speers, 2002, Bylund og Lille, 1999).

Dersom man ønsker å inkludere ulemper for trafikk er det stor variasjon i verdiene som brukes, fra 150 – 350 kr/bil og time (STA, 2014; Marlow et al. 2011; Ofwat, 2007), eller 1000 – 2000 kr per lekkasje avhengig av hvor i ledningsnettlet lekkasjen har oppstått (Marlow et al, 2011).

4.3. Kostnader ved vanntap

4.3.1. Vanntapskostnader for produksjon, pumping og vannføring til avløpsrenseanlegg

Den reduserte kostnaden ved å unngå produksjon av unødig vannvolum inkluderer kostnaden for å behandle drikkevann, kostnaden for å distribuere vannet, men også kostnadene ved at en del av vannet kommer inn i avløpssystemet. Produksjonskostnader er marginale kostnader som kjemiske kostnader og energikostnader for prosess og pumping. Den marginale distribusjonskostnaden er primært energikostnader for pumping. Faktisk varierer denne kostnaden i ledningsnett, fra null til de deler som forsyner med gravitasjon til de laveste delene av byen til et maksimum for de høyest liggende sonene. Pumpeeffektiviteten varierer også avhengig av pumpens tilstand og om det er et reservoar i en bestemt sone. I beregningene brukes et gjennomsnitt.

Mengden drikkevann som lekker ut i avløpsnett og transporteres videre til avløpsrenseanlegget varierer avhengig av type system og jordforhold. I et system med kombinerte rør for spillvann og overvann antas en større andel drikkevann å gå til avløp enn i et separatsystem. Ifølge en vannbalanseberegning for hele systemet i Göteborg, går ca. 50 % av det brukte drikkevannet til kloakkbehandlingsanlegget (Göteborgs Stad, 2010). Ved renseanlegget kan en marginalkostnad brukes i beregningen.

4.3.2. Kostnader for å etablere ny vannkilde/ vannverk

Hvis vanntapet er så stort at det påvirker behovet for å utvide vannkilder/etablere nye vannkilder/ vannverk, må denne kostnaden inngå i beregningen av SELL. Hvis vannkilden er nødvendig for sikre redundans/økt

sikkerhet, skal kostnaden ikke inkluderes, bare hvis valget står mellom det å bygge nytt eller å redusere vanntapet.

Et høyt vanntap kan innebære en forhøyet risiko. Dersom det skjer en hendelse (klima, tørke) har en mer å gå på når det gjelder sikkerhet om vanntapet er lavt enn når det er høyt. Både vannkilden og vannvolum i høydebasseng varer lenger før de går tomme. Hvis det er en risikokostnad knyttet til dette, kan denne risikoen inkluderes, men ikke hele kostnaden ved en eventuell utvidelse.

4.3.3. Kostnader for akutte reparasjoner

Når en lekkasje oppdages under aktiv lekkasjelytting, vil risikoen for at lekkasjen må å repareres akutt være lavere. Dette reduserer kostnaden per lekkasje ved at overtidskostnader kan reduseres siden arbeidet normalt kan gjøres på dagtid. Dokumentasjon av antall egenidentifiserte lekkasjer kan brukes til å vurdere andelen som kan repareres planlagt.

4.3.4. Kostnader ved å reparere lekkasjer når det ikke skiftes ut ekstra ledninger

Utskiftning av ledninger gjøres ofte på grunn av ledningsbrudd/reparerte lekkasjer og ikke på grunn av vanntap. Det er ofte ikke lønnsomt (se 6.1), men for å vurdere det, kan du gjøre som følger. Beregn antall lekkasjer du ikke har fordi du fornyer flere ledninger. Siden du ikke vet om det bare er disse ledningene som har brudd, bruk et generelt nivå, enten for hele vannledningsnett eller per materiale. I SELL-arket er noen data basert på kategorien «Tidligere fornyelse» og er oppsummert i fane «A. Inntekter» i SELL-arket.

4.4. Samfunnskostnader ved vanntap

4.4.1. Miljøkostnader for å bruke vann

Miljøkostnadene for uttak av råvann er antatt å være små. Råvannsuttaget er ofte en liten andel av vannkilden og forstyrrer ikke den naturlige vannføringen i vassdraget. Bruken av vannkilden til drikkevann kan føre til et behov for investeringer i oppstrøms avløpsanlegg. I henhold til EUs Vannrammedirektiv 2000/60 / EF skal det imidlertid oppnås en god status i vannkildene/ vassdragene noe som betyr at restriksjoner må iverksettes uansett.

4.4.2. Goodwill –"ingen sløsing"

Med Goodwill menes hvordan innbyggerne ser på vannvirksomheten. Dvs. «ingen sløsing» men også hvordan vannverket ser på seg selv.

Goodwill er vanskelig å vurdere. Hva er den egentlig verdt? Den kan kanskje beregnes, men ingen har regnet på dette tidligere!

Hvordan innbyggerne ser på virksomheten er vanskelig å fastslå. Vann ansees som en selvfølgelighet, men det

kan være et godt argument i kampanjer slik som "Vi sløser ikke hos oss!" Goodwill bedømmes lavt for et naturlig monopol slik som vannforsyning. I Norge er tilliten til vannverket ofte høyt. I Bergen for eksempel så har over 90% prosent av innbyggerne stor eller ganske stor tillit til kommunen (Bergen kommune, 2017).

Internt i vannverket kan et lavt vanntap også gi de ansatte økt stolthet. Det er motiverende å arbeide når man ser resultater av sitt arbeid i form av at vanntapet reduseres. Om 10 personer blir 10 % mer effektive for at de er mer positive på jobben har det også i seg selv en helsegevinst.

Sitatet under som kommer fra vannverket i en norsk kommune indikerer at goodwill både kan påvirke internt i vannverket og eksternt hos innbyggerne.

"På vegen fra vannbehandlingsanlegget og til forbrukeren forsvinner 40% av vannet og slik har vi hatt det i 150 år!"

VA-sjef i norsk kommune

4.4.3. Klimaeffekter

Hver unødvendig kWh gir en miljøbelastning foruten at det koster penger. Denne kostnaden er imidlertid liten fordi energiblandingen i Norge er nesten 100 % av vannkraft. Det er imidlertid en fordel når det gjelder å redusere maksimal belastning i kW med mindre vanntap. Derfor har dette blitt inkludert men med en lav verdi. Det finns også et omvendt tilfelle. Dersom en produserer elektrisitet via en turbin fra vannkilden/ vannbehandlingsanlegget, gir mindre vann også mindre strøm (og følgelig mindre inntekt/lavere kostnad).

Tidligere utskifting av ledninger gir færre reparasjoner siden flere ledninger er nyere. På samme måte som for samfunnskostnader for å lete etter lekkasjer (4.2.1) kan forurensningskostnadene fra grønne gassutslipp imidlertid også antas å være internalisert gjennom skatter og dermed inkluderes i de direkte kostnadene ved utskifting.

4.4.4. Økt fokus på å redusere lekkasje leder til innovasjon og vekst

Bruk av smart vannteknologi har høyest potensial av alle muligheter for å bidra til samfunnsnytte (GWI, 2017a). I denne studien foreslås det at innovasjonspotensialet skal være ca. 5-10% av kostnaden ved å installere smart teknologier.

4.4.5. Robusthet

Aktivt lekkasjesøk gir god oversikt over ledningsnett og lavt lekkasjenivå gir trygghet for de ansatte. Trygghet

medfører at driftsoperatører ikke behøver å uroe seg og mindre arbeidstid brukes til å beskrive og forklare lekkasjer og utilstrekkelige resultater.

4.4.6. Helsemessige risiko

Hver lekkasje utgjør en helsemessig risiko dersom vannledningsnett er trykkløst. De hull som det lekker ut av kan det også lekke inn grunnvann, avløpsvann fra fellesgrøft, via kummer etc. Fordi drikkevannsledningen vanligvis ligger i samme grøft som avløpsledningen, som også lekker ganske mye, er det fare for forurensning ved ledningsbrudd eller ved reparasjoner. Av ulike årsaker blir som regel ikke utbrudd av sykdom forårsaket av dårlige ledninger oppdaget, men forskning har vist at det er en forhøyet risiko for å få akutt mage- og tarmsykdom etter forbigående bortfall i vanntrykket (Nygard et al., 2007). I Canada har en påvist at rundt 14 til 40 prosent av alle tilfeller av magetarmsykdom kom av denne typen problem med drikkevannet (Payment, 1997). En epidemiologisk studie i Norge viste økt risiko for gastrointestinal (GI) sykdom i områder med trykkløst nett på grunn av reparasjons- eller vedlikeholdsarbeid (Nygård et al., 2007). Risikoen for GI-sykdom var signifikant høyere i de utsatte husholdningene. I Sverige har Sæve-Söderbergh et al. (2017) også vist til en tilsvarende økt risiko. På den annen side, Malm et al. (2015) fant ingen statistisk signifikant økning i risiko i forbindelse med reparasjon av ledningsbrudd i Göteborg, Sverige.

For å få et bedre helhetsbilde av hvordan drikkevann bidrar til sykdom i Norge, skal Folkehelseinstituttet gjennomføre en studie som ser på sammenhengen mellom vannkonsum og forekomst av gastroenteritt (mage- og tarmsykdom) i et utvalg av den norske befolkningen. Dette skal skje ved hjelp av telefonintervju, web-spørreundersøkelser og en månedlig SMS-undersøkelse gjennom et helt år (Folkehelseinstituttet, 2018).

En samfunnsfordel som kan oppstå, er redusert helserisiko på grunn av lavere reparasjonsfrekvens knyttet til reparasjon på ledninger som allerede er fornyet. Under reparasjon på ledninger er vanntrykket redusert eller helt borte, noe som kan føre til forurensning av drikkevannet. Dessuten, mindre lekkasjer gir færre ikke-planlagte reparasjoner og god planlegging av reparasjoner reduserer helserisikoen.

4.4.7. Færre forstyrrelser for innbyggere og trafikk

Tidligere utskifting av ledning gir færre reparasjoner siden flere av ledningene er nye. På samme måte som for samfunnskostnader for å lete (4.2.3) gir hver enkelt reparasjon ikke så stor sosial påvirkning, så den totale kostnaden blir liten.

4.5. Göteborg - eksempel på SELL beregning

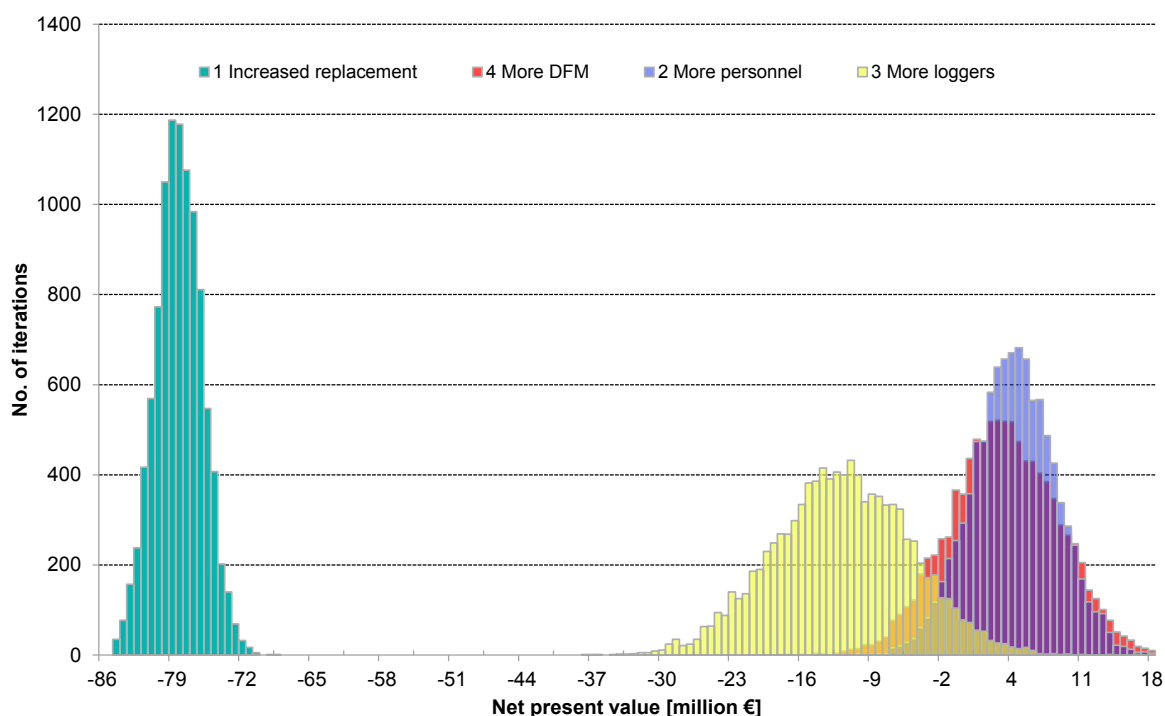
I Göteborg har VA-verket gjort en nytte-kostnadsanalyse (SELL) for å beregne hvilke tiltak som har størst effekt for å redusere vannlekkasjene. Hele studien er beskrevet i Malm et al (2015a).

Göteborgs mål var å minske lekkasjen fra rundt 20 m³/km/d til 14. For å bedømme hvordan man mest effektivt kunne redusere vannlekkasjen ble fire ulike tiltak sammenlignet:

- Alternativ 1. Bytt rørene raskere enn dagens hastighet på 8 km per år. Nye korrekt installerte rør antas å ha lekkasje nær null.
- Alternativ 2. Økt lekkasjedeteksjon ved å øke personellvolumet og bruke tradisjonelle lekkasjedeteksjonsmetoder, inkludert manuelle lyttestenger og akustiske korrelatorer.
- Alternativ 3. Utvid søket etter lekkasje ved å øke antall akustiske logger som oppdager lekkasjelyder og overføre data via for eksempel tekstmeldinger eller direkte til en database.
- Alternativ 4. Utvid lekkasjesøkingsarbeid ved hjelp av DMA (District Meter Area - sonevannmålere), dvs. dele byen i målesoner for å begrense størrelsen på områdene som trenger skanning for å finne lekkasjen. En

aktiv lekkasjedeteksjon er deretter nødvendig for å lokalisere lekkasjen i hver DMA.

En kost- nytte analyse (100 år med 3% rente) ble utført inkludert usikkerhetsbetraktninger med Monte Carlo simulering). Resultatet er vist i Figur 23 og vi ser at fornyelse ikke er en god metode, mens både vannmålere/sonedeling/DMA og mer menneskelige ressurser har en positiv nåverdi (nesten hele fordelingskurven har en positiv nåverdi). Dette funnet støtter konklusjonen til Venkatesh (2012); at i et system med høye lekkasjer, er reparasjon av ødelagte rør mer effektiv enn en høy utskiftningshastighet. I analysen kan sosial fordel bli inkludert (men disse verdiene var lave i dette tilfellet). Resultatet er vist som en kurve fordi usikkerhetene er inkludert i analysen. På y-aksen vises antall iterasjoner med et bestemt resultat, og x-aksen den resulterende netto nåverdi. Er nåverdien større enn null medfører det at tiltaket er kostnadseffektivt for å redusere lekkasjene. Studien antyder også at en kombinasjon av flere ansatte og mer måling kan være effektiv. Hvis antall ansatte rekrutteres fra tidligere arbeidsledighet (som ikke antas i studien), vil den sosioøkonomiske fordelen ved å bruke flere ansatte øke. Arbeidet i Göteborg ble blant annet brukt som underlag for å øke antall lekkasjesoner (DMA).



Figur 23 Netto nåverdier for lekkasjebegrensende alternativer, inkludert usikkerhet

5. Hvordan komme i gang med arbeidet?

5.1. Starte med vannbalanse

Erfaringer fra norske vannverk som har innført lekkasjesoner samt analysene fra Göteborg viser at inndeling lekkasjesoner er et effektivt tiltak. Det vil også gi de ansatte en god motivasjon til å søke etter lekkasjer. Dersom en vet at det er en lekkasje så finner en den også. Dersom en ikke har lekkasjesoner og leter etter lekkasjene planløst og ikke kan se at det gir effekt, er det

vanskelig å finne lekkasjer. Det er videre viktig å beregne usikkerheten i m³ slik at en fokuserer på de riktige tingene. Det er hovedvannmåleren ut fra vannbehandlingsanlegget som har den største vannføringen og følgelig er det viktig med lavest usikkerhet på denne måleren.

5.2. Metoder for å finne vannlekkasjer

I denne rapporten beskriver vi ikke de ulike metodene for lekkasjekontroll, men vil henvise til andre rapporter på dette området.

- Soneinndeling av nettet. Nesten alle overvåker vannforbruk med sonevannmålinger, og dette bestemmer prioriteringen for lekkasjesøking mellom sonene.
- Trykkreduksjon som et effektivt tiltak for å redusere lekkasjetapet.
- Utstyr og metoder for lekkasjesøking slik som bruk av korrelator, lytting i kummer eller marklytting på bakken over ledningen.
- Det er viktig å ta hensyn til lekkasjesøking i planleggingen og prosjektering av nye anlegg slik at det blir tilrettelagt for lekkasjekontroll.

Svensk Vatten har i håndbok P107 beskrevet ulike metoder for lekkasjesøking i tillegg til anbefalinger for hvordan arbeidet med lekkasjesøking av vannledninger skal legges opp. Publikasjonen gir en oppsummering av den samlede kunnskapen om lekkasjesøking inkludert internasjonale standarder og metoder. P107 brukes som kompendium på Svenskt Vattens etterutdanningskurs i lekkasjesøking (Svenskt Vatten, 2014).

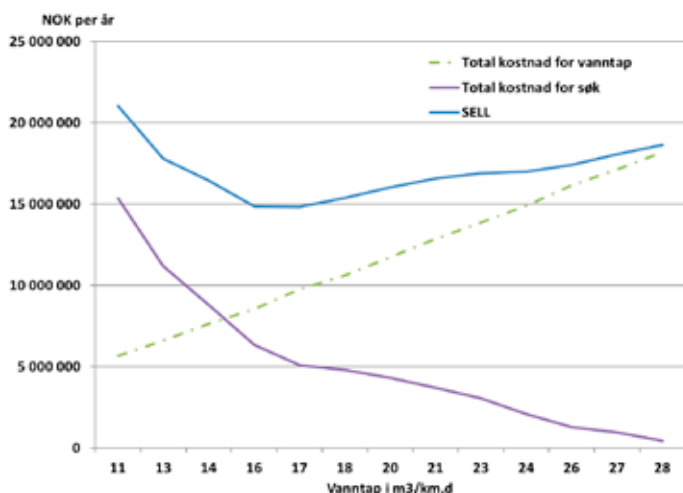


Norsk Vann rapport 171/2009 beskriver ulike metoder for lekkasjekontroll. I tillegg ble det samlet inn informasjon om hvordan norske vannverk arbeider med lekkasjekontroll. I rapporten pekes det særlig på viktigheten av:

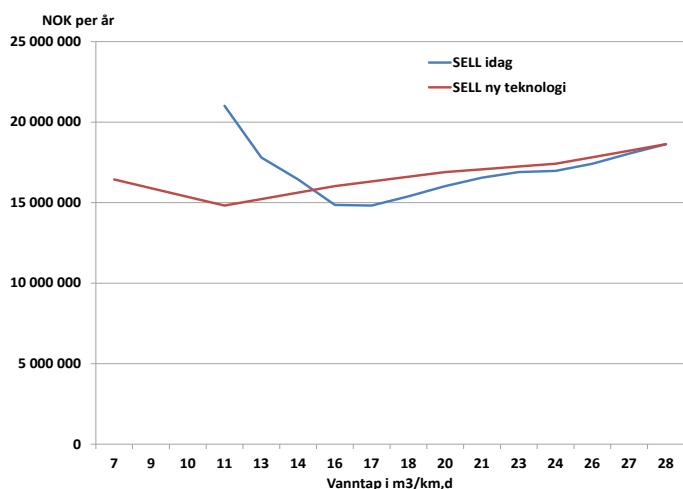


5.3. Hvordan påvirker utvikling av ny teknologi lekkasjenivået?

Det foregår hele tiden en konstant utvikling av nye metoder og teknikker for å redusere lekkasjenivået i vannledningsnettet. I det følgende vil det beskrives eksempler på ny teknologi for å illustrere dette. I årene fremover vil det utvikles ny teknologi for eksempel som en følge av digitalisering av vannbransjen, som ytterligere vil påvirke det som i dag ansees som økonomisk optimalt lekkasjenivå og/eller optimalt bærekraftig lekkasjenivå. Det som i dag ansees som det optimale bærekraftige lekkasjenivået for et vannverk vil følgelig endre seg med tiden som en følge av bedre og billigere metoder. Dette betyr at det optimale området for SELL i Figur 24 vil flytte seg mot venstre. En annen fordel med mer teknologi er at vanntapsarbeidet blir mindre personavhengig.



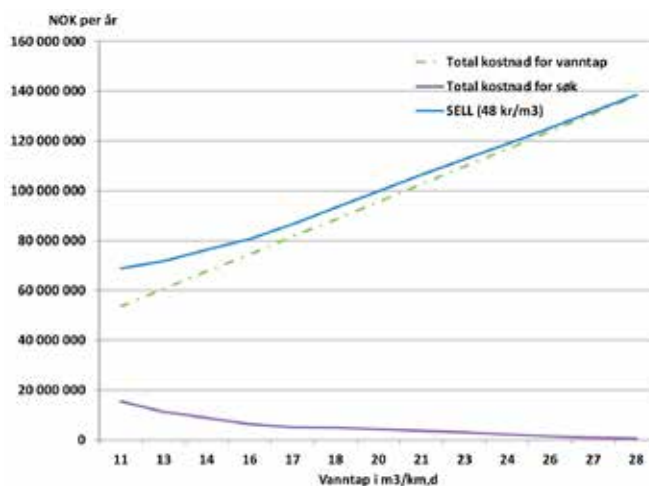
Figur 24. Eksempel på bestemmelse av bærekraftig nivå for vannlekkasjer.



Figur 25. Illustrasjon som viser hvordan teknologit utvikling påvirker bærekraftig lekkasjenivå, SELL (ved bruk av regneark utviklet i prosjektet).

Om metodene for å lete etter lekkasjer blir mer effektive vises det på SELL. I Figur 25 vises dette for to ulike verdier på SELL. I det første eksempelet er nytten av å lete etter lekkasje som i dag, dvs. det lønner seg å redusere til 16–17 m³/km/d. I det andre eksempelet har nytten blitt 50 prosent høyere som en følge av ny teknikk som finner lekkasjer 50 prosent bedre enn tidligere. Det gjør at det blir lønnsomt å lete etter mer vanntap.

En annen ting som påvirker SELL mye er prisen på vann. Hvis prisen betalt av brukerne blir brukt, beregnet på gjennomsnittlig årsgebyr for alle norske kommuner for 2016 (7160 kr/år eks. mva) og et forbruk på 150 m³/år vil det være mye mer lønnsomt å redusere vannlekkasjene, se Figur 26.

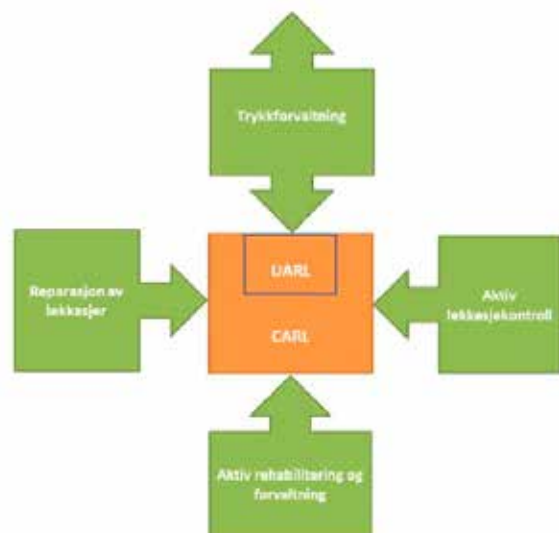


Figur 26. SELL ved annen vannpris

Teknologit utviklingen vil påvirke kostnadene av lekkasjene og også kostnadene med å redusere lekkasjene. Utviklingen med utvidet vannbehandling og desinfeksjon ved norske vannverk de siste 10–20 år har økt verdien på det tapte vannet i forhold til tidligere tiders vannbehandling uten tilstrekkelige hygieniske barrierer. I dette prosjektet er det fokus på lekkasjereduksjon og i det følgende beskrives derfor effekten av ny teknologi og metoder for å redusere lekkasjene.

Utvikling av ny teknologi og metoder for å redusere vanntap kan deles inn i 4 hovedkategorier i henhold til hvordan tiltakene virker (se også Figur 27 under for illustrasjon):

- 1) Hastighet og kvalitet på reparasjon
- 2) Trykkreduksjon
- 3) Aktiv lekkasjekontroll
- 4) Vedlikehold, ledningsfornyelse, Asset management

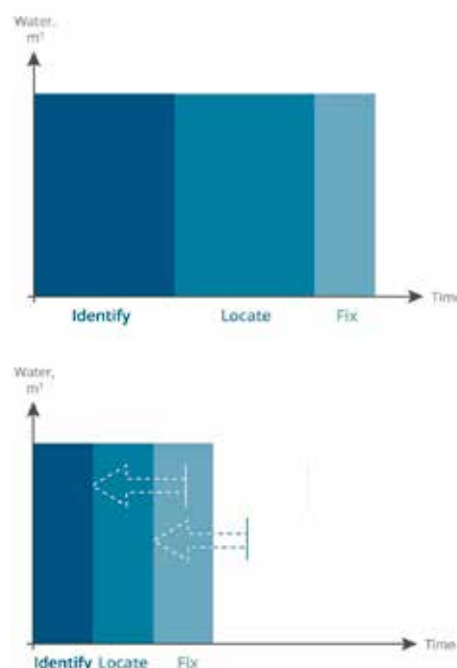


Figur 27. Grunnleggende metoder for å redusere vanntap (Farley og Throw, 2003 i Bosnjakovic, 2017)

Hvor raskt en lekkasje blir oppdaget, lokalisert og reparert påvirker hvor mye vann som tapes. Selv en liten lekkasje som lekker over lang tid representere et stort vanntap. Det er nok å tenke på at det er mer enn 31

millioner sekunder i et år! Det er følgelig viktig å **a) identifisere** lekkasjer så raskt som mulig; **b) lokalisere** hvilke ledninger eller komponent som lekker; og **c) reparere** lekkasjen så godt og raskt som mulig. For hver av disse fasene foregår det en stadig teknologisk utvikling

Figur 28 illustrerer hvordan tap av vann via lekkasjer kan reduseres ved å identifisere og lokalisere brudd/- lekkasjestedet raskere.



Figur 28. Illustrasjon av tapt vannmengde som kan reduseres ved å identifisere og lokalisere vannlekkasjer raskere.

5.4. Utvalgte eksempler og initiativ

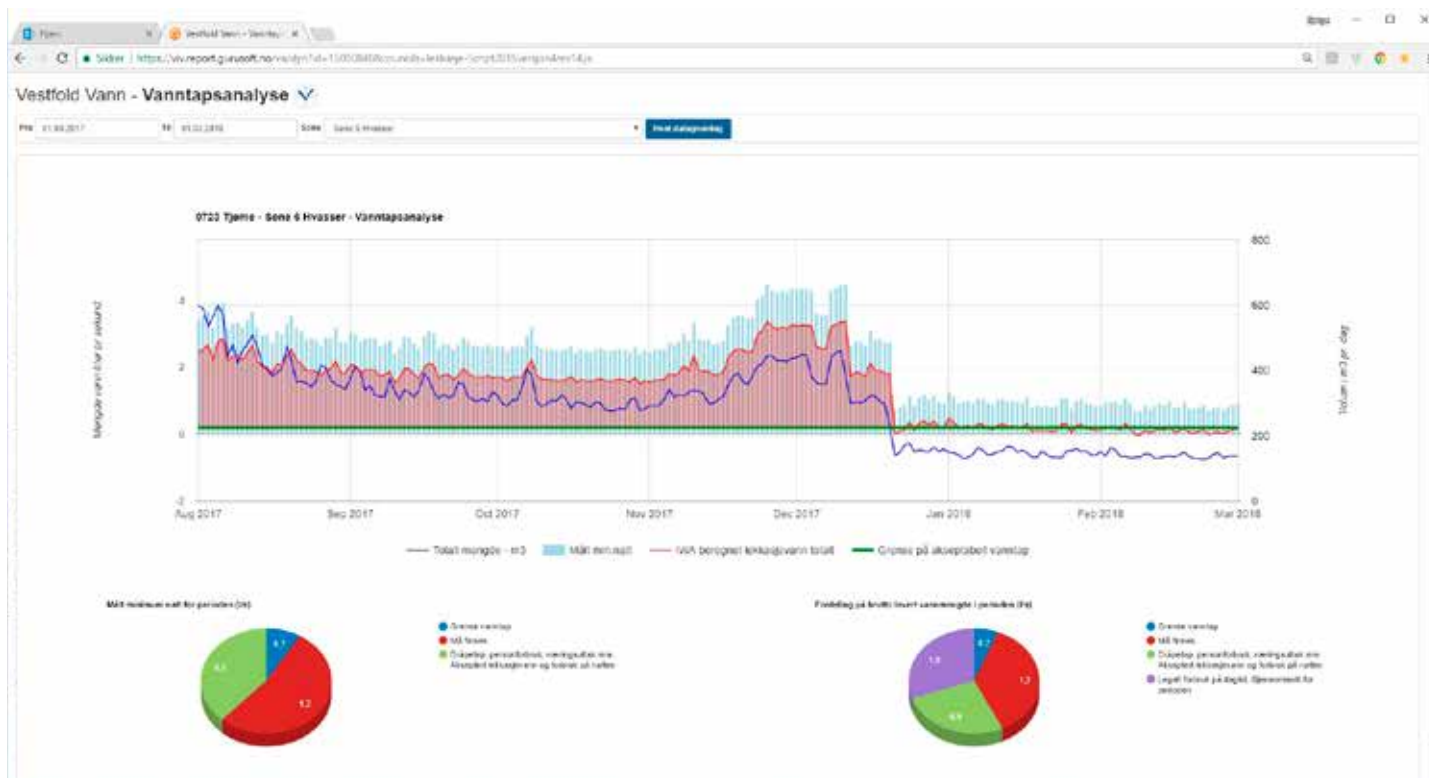
5.4.1. Eksempel fra Vestfold Vann IKS

Vestfold Vann IKS har benyttet IWAs metodikk, bunn opp minimumsmetoden, for mange av vannverkets medlemskommuner i flere år. Metoden gir lekkasjeavdelingen mulighet til å identifisere de kommuner eller vannsoner med høyest vanntap, som igjen gir avdelingen mulighet til å prioritere sitt arbeid med lekkasjesøk mest mulig effektivt.

Sammen med datapresentasjon og overvåking i Scada systemer, sendes også nøkkeltall fra alle vannmålere og vannsoner over til et rapporteringssystem levert av Gurusoft VA Report. Både volumverdier og minste målte

nattverdier blir presentert i tallrapporter for den enkelte kommune og den enkelte vannsone hver dag. Deretter beregnes vanntapsnivået med IWAs metodikk «Bunn opp-minimum nattforbruk metoden» (BOMNF). Det har også blitt utviklet en webbasert grafisk presentasjon med de samme data.

I figur 29 vises er en vannsone fra tidligere Tjøme kommune, nå Færder kommune, med relevante data for å identifisere vanntapsnivået. Hvert punkt og hver stolpe representerer et døgnns verdier. Rød sone representerer vanntapsnivået som må finnes for å komme ned til målsettingsnivået som er satt til et akseptert vanntaps-



Figur 29. Eksempel fra Vestfold Vann IKS Scada.

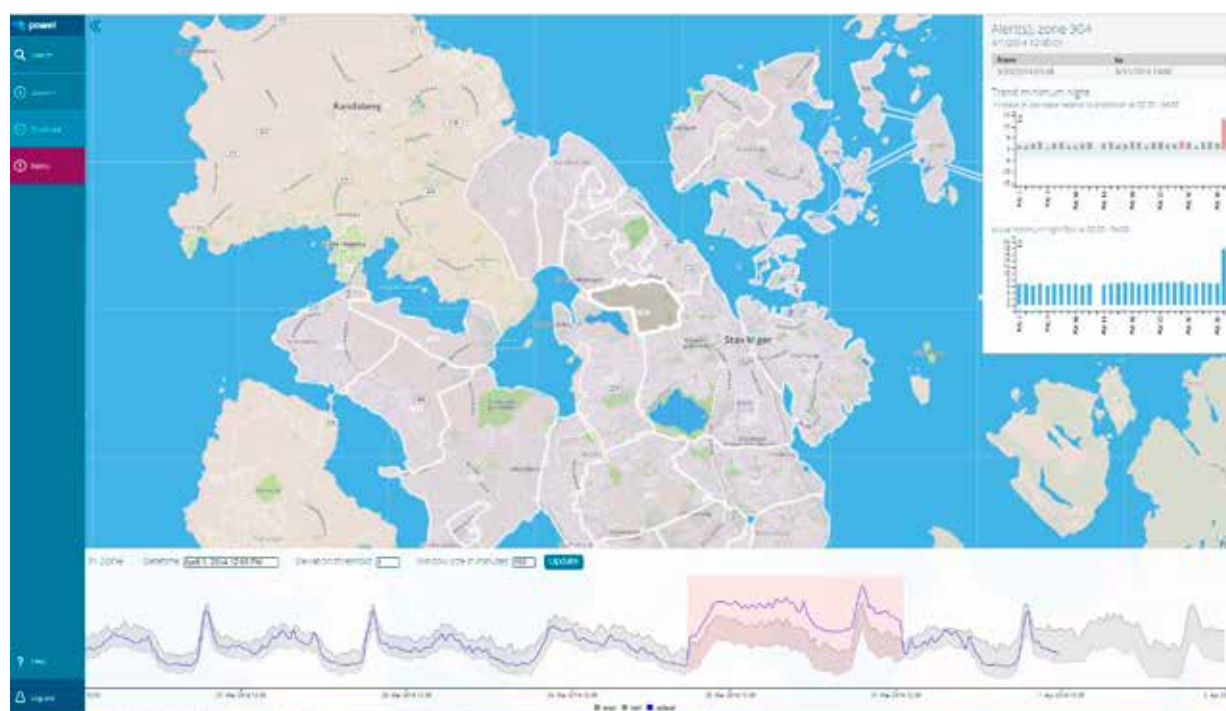
nivå på 20 %. Etter funn og reparasjon av to vannlekkasjer på en sjøledning i dette eksempelet ble vanntapet redusert til under målsettingsnivå. Når akseptert nivå oppnås for en vannsone blir oppgaven å vedlikeholde dette lave nivået.

Vestfold vann ser for seg at denne formen for grafisk presentasjon vil kunne brukes som en dashboardløsning på en lett synlig skjerm i driftsavdelingene i medlemskommunene med rullerende presentasjon av relevante

vannsoner. Da vil man kunne oppnå et oppdatert eierforhold til vanntapsnivået i eget vandrdistribusjonssystem.

5.4.2. Eksempel fra Stavanger kommune

Det finnes allerede i dag metoder for raskt å identifisere lekkasjer, både større lekkasjer som oppdages via f.eks. SCADA, eller systematiske analyser av nattforbruk (kl 02–04) i en sone for å identifisere de mindre lekkasjene. En metode som testes ut i Stavanger



Figur 30. Analyse av sonevannmålere ved hjelp av maskinlæring for raskere identifisering av vannlekkasjer (Stavanger kommune).

kommune er løsningen Water Alert¹⁾ hvor en basert på avanserte analyser (maskin læring) av vannmålerdata for lekkasjesoner (tilgjengelig via SCADA) oppdager (identifiserer) eventuelle lekkasjer raskere. For hver enkelt lekkasjesone beregnes det forventede vannforbruket til en hver tid basert på maskinlæring. Vannforbruk i en sone utover det normale identifiseres så som en mulig lekkasje. Tilsvarende analyser gjøres også for nattforbruk hvor en kan finne de mindre lekkasjene. Skjerm bilde av løsningen slik den anvendes i Stavanger er vist i Figur 30.

5.4.3. Andre løsninger og initiativ for identifikasjon av vannlekkasjer

Godt Vann Drammensregionen (GVD) har testet ut en tilsvarende løsning (www.baseform.com) for noen av sine soner. Figur 31 viser en slik identifisert hendelse (lekkasje) hvor de røde punktene viser en periode med større vannføring enn det som er normalt i sonen for dette tidspunktet. Arealet mellom de røde punktene og de forventede verdier (grå linjen) representerer det tapte vannvolumet. Den konkrete hendelsen oppstod julaften om formiddagen og vannforbruket er da høyere enn det burde vært dersom dette var en vanlig ukedag. Modellen tror at dette er en vannlekkasje, men vannforbruket på julaften i norske hjem er ikke som en vanlig dag, da det er mye dusjing og matlaging om formiddagen. Dette er en hendelse som altså er OK og som ikke representerer en vannlekkasje. Normalt vannforbruk ved slike bevegelige helligdager kan legges inn i modellene slik at modellen ikke varsler dette som en vannlekkasje når det

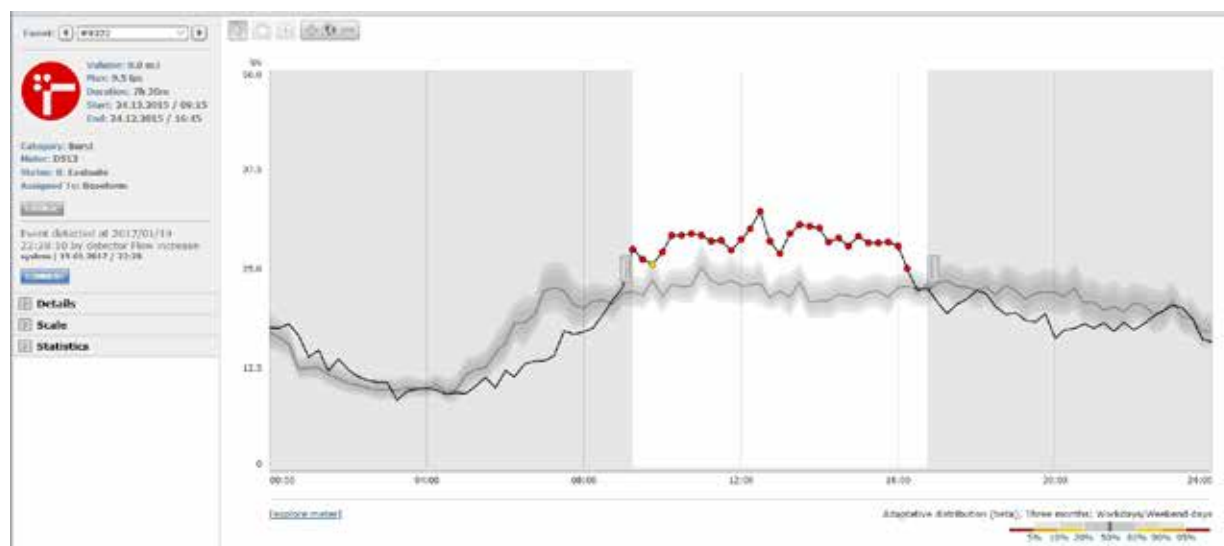
ikke er tilfelle (dvs. redusere omfanget av falske alarmer).

En annen tilsvarende løsning er TaKaDu (www.takadu.com) som anvendes i en del vannverk internasjonalt, Figur 32. Ulike typer hendelser/feiltyper (brudd, lekkasjer, feil på målere) identifiseres automatisk og varighet og omfang for hver hendelse beregnes.

Baseform og TaKaDu løsningene tar bare utgangspunkt i data fra SCADA systemer som analyseres. Water Alert løsningen har i tillegg muligheten for å benytte kunde-henvendelser og data fra nye sensorer som ytterligere forklaringsvariabler.

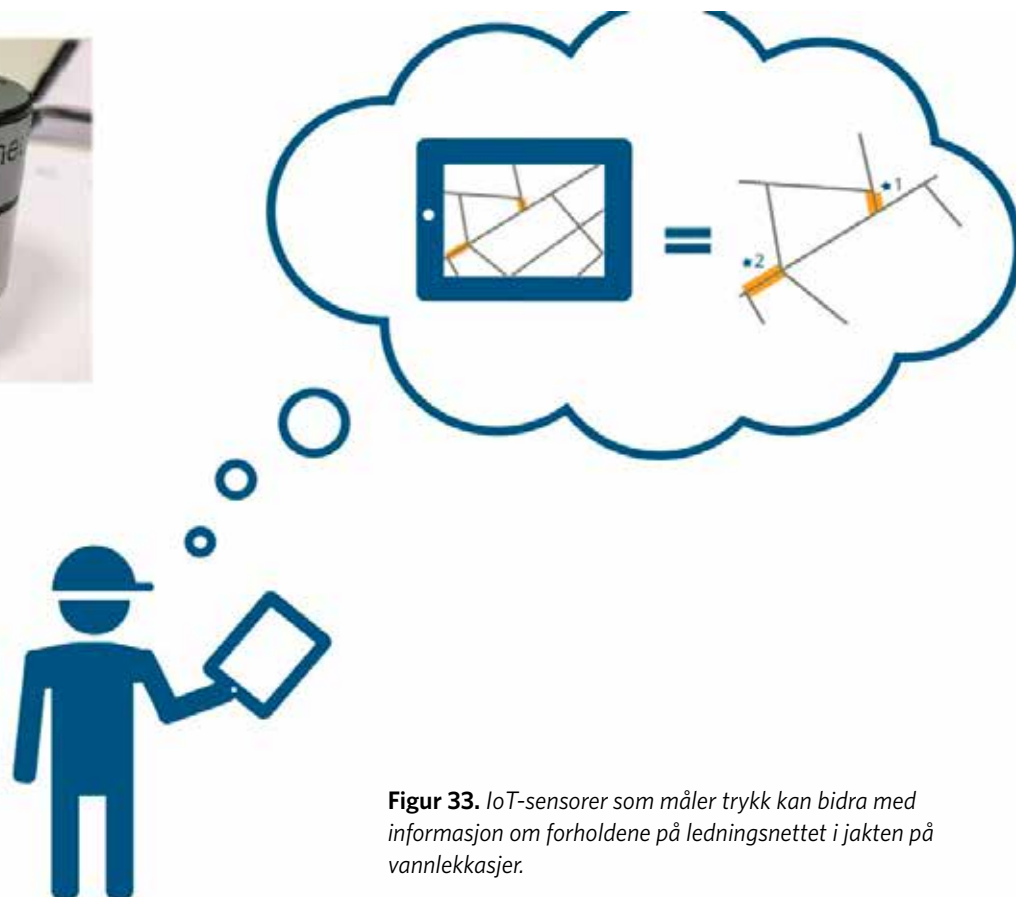


Figur 32. Eksempel på løsning som automatisk identifiserer mulige vannlekkasjer (www.takadu.com).



Figur 31. Eksempel på løsning som automatisk identifiserer mulige vannlekkasjer (www.baseform.com).

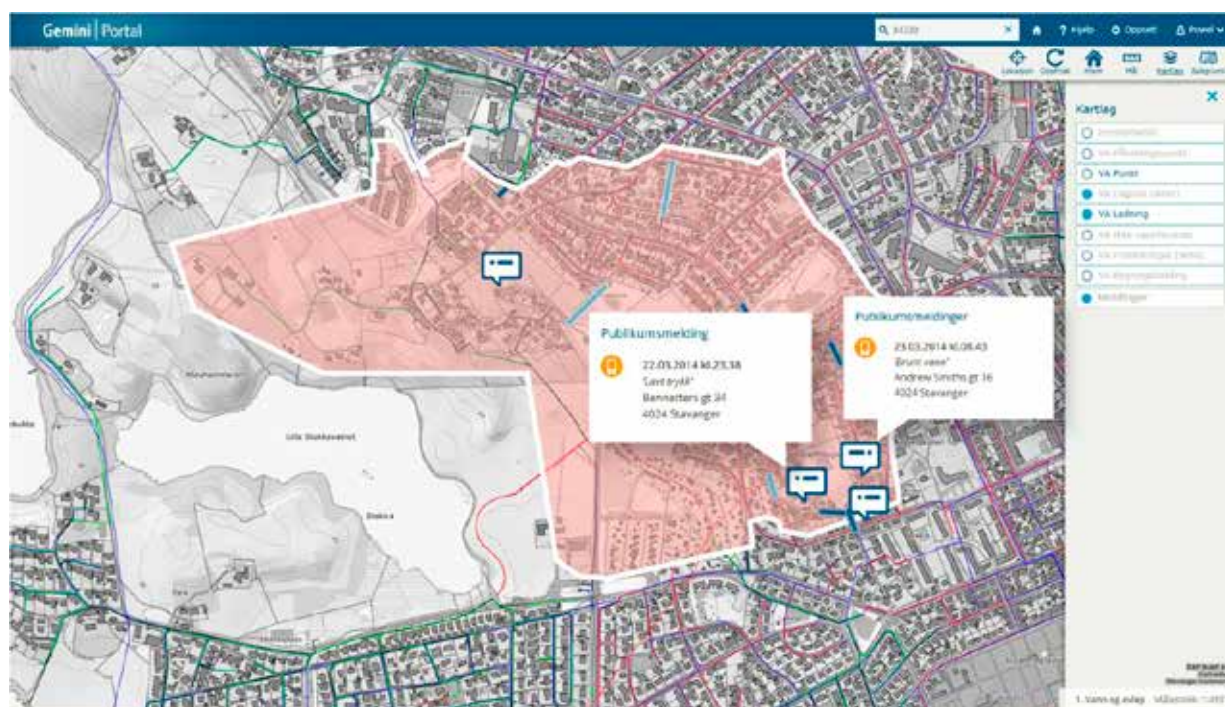
1) <https://www.powel.com/no/about/temaartikler/water-alert-smart-sanntidsoversikt-over-vannforsyningen/>



Figur 33. IoT-sensorer som måler trykk kan bidra med informasjon om forholdene på ledningsnett i jakten på vannlekkasjer.

Basert på slike modeller som vist i Figur 30 til 32 identifiseres hvilke soner som eventuelt har vannlekkasjer. Spørsmålet er så om det finnes nye metoder for også å peke ut hvilken ledning(er) i sonen som er den mest sannsynlige sydebukken? Dagens metoder for slikt inkluderer grovsøking og finsøking med lytteutstyr, men mulighetene som ligger i nye generasjoner med IoT-sensorer for trykk (se Figur 33) og avanserte

trykkavhengige nettmodeller (WDnetXL eller tilsvarende) åpner opp for også peke ut hvilke ledninger som lekker. Dette kan også kombineres med tilbakemeldinger fra kunder (se Figur 34). Smarte vannmålere som også måler trykk vil i praksis være en IoT-sensor. Dersom tidsoppløsningen er god nok kan informasjon fra slike målere også brukes for å finne lekkasjer raskere. Hvaler kommune har for eksempel installerer smarte



Figur 34. Publikumsmeldinger kombinert med trykkmålinger på ledningsnett for å lokalisere lekkasjen i sonen.

vannmålere (vannføring) og hvordan dette er gjort er nærmere beskrevet i Vannspeilet nr 4 (Norsk Vann, 2017b).

Driftsoperatørene i Stavanger vil i fremtiden da kunne få følgende melding på mobilen sin:

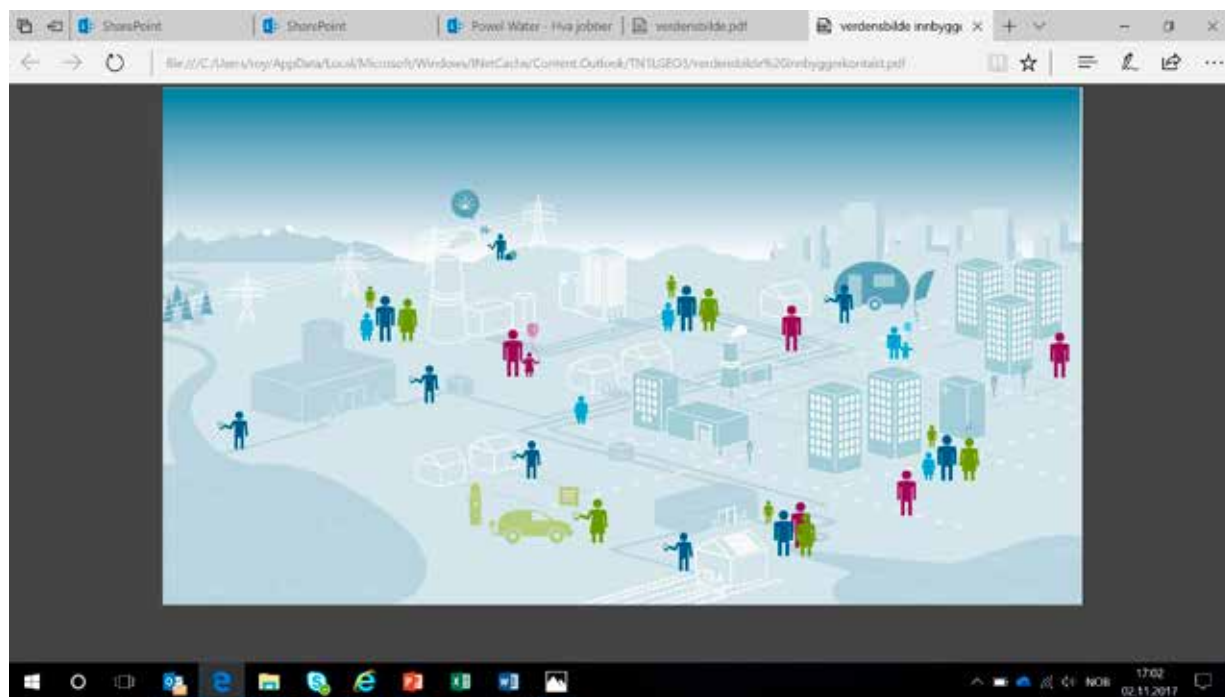
«Det er oppdaget en lekkasje på Madla. Det lekker på Madla! Mest sannsynlig er det ledningen i Halvdan Svartes gate, hvis ikke sjekk Dronnings Mauds gate!»

automatiske løsninger for deteksjon og lokalisering av vannlekkasjer, men det er utfordringer knyttet til robustheten i prediksjonsnivå. Man ønsker å identifisere så mange lekkasjer som mulig og færrest mulig falske alarmer. Det er vanskelig vite nøyaktig hvor i vannledningsnettet hendelsen oppstår bare basert på SCADA-data. Hovedkonklusjonen fra prosjektet (GWI, 2017b) er at det fortsatt letes etter en IT-plattform som kan håndtere alle typer data (SCADA, sensorer, kundemeldinger, smarte vannmålere etc.) på en skalerbar, fleksibel og sikker måte.

Bruk av kundemeldinger som informasjonskilde ifm lekkasjer

Dersom en har oppdatert informasjon fra innbyggerne kan dette også brukes til å identifisere områder og eventuell avklare/bekrekte om en vannlekkasje kan ha oppstått eller ikke. Innbyggerne er i praksis levende sensorer som er spredd rundt i hele ledningsnettet. De rapporterer om dårlig trykk, farge på vannet osv i nær sanntid via ulike kundemelde systemer, og gjerne ved bruk av smarttelefoner og nettbrett. Dette er vist i Figur 35.

I det nylig avsluttede EU prosjektet SW4EU (www.sw4eu.com) har en for 4 ulike vannverk (England, Nederland, Spania og Frankrike) sett på ulike systemer for å finne vannlekkasjer. En erfaring fra prosjektet er at det kreves mye arbeid med å tilrettelegge data for analyser før en kan anvende mer avanserte analyser og ny teknologi. Videre pekes det på at det finnes flere



Figur 35. Innbyggerne/forbrukerne er spredd over hele ledningsnettet og bidrar med nær sanntidsdata via rapportering av kundemeldinger.

6. Konklusjoner og anbefalinger

Konklusjoner og anbefalinger fra prosjektet deles inn for henholdsvis vannverk/kommuner og for Norsk Vann.

6.1. Konklusjoner og anbefaling til vannverk/kommuner

- Hver kommune må finne sitt eget vanntapsnivå («one size does not fit all»). Dette betyr at det indikerte nivået på 20 % som er angitt i nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen ikke nødvendigvis er det riktige nivået for alle vannverk.
 - Bruk av regnearkene i denne rapporten vil hjelpe vannverkene/kommunene med å få bedre oversikt på sitt vanntap (regneark 1).
 - Vannverkene må begynne med å beregne sitt økonomisk vanntap (ELL) før en går over til å beregne SELL.
 - Ved bruk av regnearket for å beregne SELL (regneark 2) får vannverkene oversikt over hvordan de best kan arbeide med å redusere omfanget av vanntap. Kan-
- skje analysen viser at det for et vannverk ikke er nyttig å redusere vanntapet ytterligere, men for å oppfylle for eksempel bærekraftsmål og siden ny teknologi vil gjøre det billigere og enklere å redusere vannlekkasjene i årene fremover, kan en starte i dag.
- Ved angivelse av vanntap er konklusjonen at vanntap målt som $\text{m}^3/\text{km}/\text{d}$ er en mye bedre indikator enn målt i %. Ved sammenligning mellom vannverk er % ikke godt egnet siden ledningsnettets omfang og oppbygging varierer mye. For det enkelte vannverk kan derimot % benyttes.

6.2. Konklusjoner og anbefaling til Norsk Vann

- Norsk Vann har i løpet av 2018 besluttet at det er den anbefalte verdien på 140 l/pe/d som skal benyttes som spesifikt vannforbruk for å beregne lekkasjenivået i Norge dersom en ikke har egne vannmålerdata som tilsier noe annet.
- SELL-beregninger som beskrevet i denne rapporten kan benyttes som inngangsdata for å beregne tilstanden til ledningsnettets som en del av bedreVann. I bedreVann evalueres vannledningsnettets funksjon for hvert vannverk/kommune ut i fra flere kriterier. Ett av kriteriene er i hvilken grad vannverket har nådd sitt eget bærekraftige lekkasjenivå (SELL). Dette vil være en endring fra dagens praksis.
- Vi anbefaler at Norsk Vann vurderer behovet for å gjennomføre kurs i bruken av manualen/regnearkene for beregning av bærekraftig lekkasjenivå. Dette vil også sikre at manualen faktisk blir bruk og at den blir brukt riktig. Dette er særlig aktuelt dersom beregningene skal inngå som en del av bedreVann. Det anbefales at det utarbeides en video i praktisk bruk av regnearkene som kan legges ut på Youtube eller lignende.

Referanser

- Araujo, L.S., Ramos, H., Coelho, S.T. (2006) *Pressure control for leakage minimisation in water distribution systems management*. Water Resources Management 20 (1) 133-149
- Alegre et al., (2000) *Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Manual of Best Practice*.
- Bergen kommune (2017) *Innbyggerundersøkelse*, 2017
- Besner, M.-C., Prévost, M., Regli, S. (2011) *Assessing the public health risk of microbial intrusion events in distribution systems: conceptual model, available data, and challenges*. Water Research 45 (3) 961-979
- Bosnjakovic, M. (2017) *Lekkasjereduksjon på vandrdistribusjonsnett-Strategi for Oslo kommune*. Institutt for matematiske realfag og teknologi. Masteroppgave
- Bylund, E., Lille, J. (1999) *Consumers perception of the Gothenburg Water utility business (In Swedish)*. Bylund & Lille AB, Stockholm, Sweden
- Eureau (2017) *Europe's water in Figures* www.eureau.org/administrator/components/com_europublication/pdf/96019b1778485db665b2539ab98a2aa5-EurEau-water-in-Figures.pdf (besøkt: 16.11.2017)
- EU (2015) *EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM Case Study document*. https://circabc.europa.eu/sd/a/1ddfb34-e1ce-4888-b031-6c559cb28e47/Good%20Practices%20on%20Leakage%20Management%20-%20Main%20Report_Final.pdf
- Farley (2001) *Leakage management and control : a best practice training manual*. WHO, Geneva. <http://apps.who.int/iris/handle/10665/66893>
- Farley, M., Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. IWA publishing.
- Folkhelseinstituttet (2018) <https://www.fhi.no/nettpub/hin/risiko--og-beskyttelsesfaktorer/drikkevann/> besøkt: 03.01.2018
- GIZ (2011) *Guidelines for Water Loss Reduction – A Focus on Pressure Management*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ. <https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/giz2011-en-guideline-water-loss-reduction.pdf>.
- GWl (2017a) *Global Opportunity Report 2017*.
- GWl (2017b). *Water utilities drowning in data ask solution providers for simplicity*. I Global Water Intelligence Magazine. Vol 18, December 2017. Side 46-49.
- Göteborgs Stad (2010) *Åtgärdsplan avloppsavledning: Måldel. Kretslopp och vatten*, Göteborgs Stad.
- Hall, M. (2017) *Keynote Speech på IWA Water Loss i København 7 September – Mikkell Hall, Danish Environmental Protection Agency*
- Hamilton, S., Charalambous, B. (2013) *Leak detection technology and implementation*. IWA Publishing, London, UK
- Hughes, D. M., Oxenford, J., Titus, R. (2014) *Pipe Location and Leakage Management for Small Water Systems*. Water Research Foundation, USA. www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4144.pdf
- IWA (2000) *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Manual of Best Practice. International Water Association
- ILMSS Ltd (2013) *Guideline relating to the Assessment and Calculation of Average Pressure in Water Distribution Systems and Zones*. www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2015/04/AvePressureGuidelinesIntVersion28Jul13.pdf besøkt: 05.01.2018
- Lambert et al. (2014) *14 Years' Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe*. <http://mcast.edu.mt:8223/rfm/source/Papers/ARizzo/Lambert%20et%20al%20Final%2014%20years%20etc%2028%20feb2014.pdf>
- Laven, K., Lambert, A.O. (2012) *What do we know about real losses on transmission mains*. IWA Specialised Conference Water Loss, Manila, Philippines, Feb/March 2012
- Leakman (2017) <http://leakagemanagement.net> besøkt: 20.08.2017
- Malm, A., Moberg, F., Rosén, L., Pettersson, T.J.R. (2015a) *Cost-benefit analysis and uncertainty analysis of water loss reduction measures: Case study of the Gothenburg drinking water distribution system*. Water Resources Management 29 (15), 5451-5468.
- Malm, A., Axelsson, G. Barregård, L., Bergstedt, O., Forsberg, B. Ljungqvist, J., Pettersson, T.J.R. (2015b) *Bedömning av hälsorisker på ledningsnätet vid läcklagning*. Svenskt Vatten Utveckling Rapport 2015-22 http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2015-22.pdf
- Marlow, D, Pearson, L, Hatton MacDonald, D, Whitten, S, Burn, S (2011) *A framework for considering externalities in urban water asset management* Water Science and Technology 64(11), 2199-2206
- Misiunas, D. (2005) *Failure Monitoring and Asset Condition Assessment in Water Supply Systems*. PhD thesis, Dept. of Ind. Electrical Engineering and Automation (IEA), Lund University, Lund. Available at: <http://iea.lth.se/publications/Theses/LTH-IEA-1048.pdf>
- Norsk Vann (2016). *Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk*. Norsk Vann rapport B20.
- Norsk Vann (2017a). *Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen*. Vedtatt på årsmøtet 2017. https://www.norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi_2017.pdf
- Norsk Vann (2017b) Vannspeilet nr 4 <https://www.norskvann.no/kompetanse/norsk-vann-bulletin>
- Nygård, K, Wahl, E, Krogh, T, Tveit, OA, Bøhleng, E, Tverdal, A, Aavitsland, P (2007) *Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort study*. International Journal of Epidemiology 36:873-880

- Ofwat** (2007) *Providing best practice guidance on the inclusion of externalities in the ELL calculation*. V05.
Available at www.ofwat.gov.uk/regulating/casework/reporting/rpt_com_leakmethrev_guidance.pdf
- Ofwat** (2008) *Providing Best Practice Guidance on the Inclusion of Externalities in the ELL Calculation*. Appendix 2 (Part 1). V07.
Available at https://www.ofwat.gov.uk/pricereview/pap_pos_pr09supdempolapp2-1.pdf
- Payment, P., Siemiatycki, J., Richardson, L., Gilles, R., Franco, E., Prevost, M.** (1997) *A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water*. International Journal of Environmental Health Research 7, 5-31.
- Seago C, McKenzie R, Liemberger R** (2005) *International benchmarking of leakage from water reticulation systems*. IWA Leakage 2005 Conference, Halifax, Canada, September 12-14, 2005
- Speers A, Burn S, MacDonald D, Nancarrow B, Syme G, Young M** (2002) *Determining customer service levels—development of a methodology: overarching report*. Commonwealth Scientific Investigation and Research Organisation, Canberra.
Available at www.myoing.net.au/water/publications/Overarching_Report_20020718.pdf
- SSB** (2017), *Stadig godt vann fra springen*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/stadig-godt-vann-fra-springen> (besøkt: 21.12.2017)
- STA** (2014) *Socio-economic principles and calculation values for the transport sector*, ASEK 5 (In Swedish). Swedish Transport Administration (Trafikverket), Borlänge. www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomska-analys-och-trafikanalys/Gallande-forutsattningar-och-indata/ (Accessed 30.8.14)
- Svenskt Vatten** (2014). *Läcksökning på vattenledningsnät – läckagekontroll och lokalisering av läckor*. Svenskt Vatten rapport P107.
- Svenskt Vatten** (2017) *Privata servisledningar för dricksvatten, spillvatten och dagvatten – så långa är de*.
http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2017-13.pdf
- Säve-Söderbergh, M., Bylund, J., Malm, A., Simonsson, M., Toljander, J.** (2017) *Gastrointestinal illness linked to incidents in drinking water distribution networks in Sweden*, Water Research, doi: 10.1016/j.watres.2017.06.013
- Tabesh, M., Asadiyani Yekta, A. H., Burrows, R.** (2009) *An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems*. Water Resource Management 23:477-492. DOI 10.1007/s11269-008-9284-2
- Thornton, J., Lambert, A.** (2007) *Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs*. IWA International Specialised Conference 'Water Loss 2007', Bucharest, September 2007
- Venkatesh, G.** (2012) *Cost-benefit analysis – leakage reduction by rehabilitating old water pipelines: Case study of Oslo (Norway)*. Urban Water J. 9(4) 277-286

TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2017	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester for vannbransjen
	229	Sikring av vannforsyning mot tilskuede uønskede hendelser
	228	Tilførsel av industrielt avløpsvann
	227	Beregning av forurensningsutslipp fra avløpsanlegg
	226	Tømming av slam
2016	225	Trykkavløp i spredtbygd og urbane strøk
	224	Eierskap til stikkledninger
	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016-2040
	222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett
	221	Smart ledningsfornylse – bruk av NoDig-metoder
2015	B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk
	B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk
	220	Kritiske ledninger for vann og avløp – klassifisering og tiltaksvurdering
	219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen
	218	Vann til brannsløkking og sprinkleranlegg
2014	217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov
	215	Tilbakestrømssikring – veiledning til vannverkseiere
	214	Forslag til ny sektorlov for vann tjenester
	213	Sikkerhetsstyring for vannbransjen
	212	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg
2013	211	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann
	210	Veiledning for praktisering av selvkost
	209	Veiledning i mikrobiell barriere analyse
	208	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg
	207	Stikkledninger – ansvar og teknisk utforming
2012	206	Biostabilitet i drikkevannsnett
	205	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene
	204	Åpne flomveger i bebygde områder
	203	Fra driftsassistanter til regionale vannassistanter
	202	Microbial barrier analysis (MBA) – a guideline
2011	201	Anskaffelser i vannbransjen
	200	Håndtering av overvann fra urbane veger
	199	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse
	198	Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam – Resultater fra undersøkelsen i 2012/13
	197	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø
2010	196	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportsystemer
	195	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg
	B19	Varmepumper i drikkevannsforsyningssystem
	B18	Kranvannets kokebok for kommunikasjon
	B17	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren
2009	194	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg
	193	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem
	192	Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken
	191	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning
	190	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer
2008	188	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg
	C8	Omdømmeplattform og -strategi
	187	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak
	186	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak
	185	Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag
2007	184	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde
	183	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri
	182	Prøvetaking av avløpsvann og slam
	181	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng
	180	Fjernavlesning av vannmålere
2006	179	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrfrskrifter for vann og avløp
	B16	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren
	B15	Vannforskriftens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene
	C7	Forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet
	178	Grunnundersøkelser for infiltrasjon – mindre avløpsanlegg
2005	177	Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status
	176	Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene
	175	Vann og avløp for nye i bransjen – læreplan. E-læring og samlinger
	174	Hygienisering av avløpsslam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting
	173	Veiledning for bruk av støpejernsrør
2004	B14	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren – forprosjekt
	B13	Silslam – mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.
	172	Trykktap i avløpsnett
	171	Erfaringer med lekkasjekontroll
	170	Veileder til god desinfeksjonspraksis
2003	169	Optimal desinfeksjonspraksis fase 2
	168	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
	167	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier
	166	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske renseanlegg
	165	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata
2002	B12	Drikkevatt i media
	164	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann
	163	Veiledning for innhentning og evaluering av tilbud på analyseoppdrag
	162	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering
	161	Helsemessig sikkert vannledningsnett
2001	160	Driftserfaringer med membranfiltrering
	159	Håndbok i kildeopsporing i avløpssystemet
	158	Termoplastrør i Norge – før og nå
	B11	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid – praksis og kjøreregler
	B10	Vannkilden som hygienisk barriere
2000	B9	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
	C6	I veien for hverandre – Samordning av rør og kabler i veigrunnen
	157	Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
	156	Veiledning for oljeutskilleranlegg
	155	Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
1999	154	Norm for tagkoding i VA-anlegg
	153	Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
	152	Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
	151	Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
	150	Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger
1998	B8	Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
	B7	Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring
	149	Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning
	148	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann
	147	Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann
1997	146	Bærekraftig vedlikehold. Betrakninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett
	B6	Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk
	B5	Utslipp fra bilvaskehaller
	B4	Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og statur. Forprosjekt.
	B3	Kvalitetsheving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag
1996	C5	Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen – veiledning
	C4	Effekter av bruk av matavfallskverner på ledningsnett, renseanlegg og avfallsbehandling
	145	Inspeksjonsmanual for avløpssystemer. Del 1 – Ledninger
	144	Veiledning i overvannshåndtering (Erstattet av 162/08)
	143	Kartlegging av mulig helserisiko for abonnenter berørt av trykkløst vannledning ved arbeid på ledningsnett
1995	142	NORVARs benchmarkingsprosjekt 2004 Presentasjon av målesystem og resultater for 2003 ed analyse av datamaterialet
	B2	PressurePuls for deteksjon av lekkasje på vannledninger.
	C3	Samarbeid om økt bruk av avløpsslam på grøntarealer
	141	Trenger Norge en VA-lov? Drøfting av behovet for en egen sektorlov for vann og avløp
	140	NORVARs videre arbeid med slam. Strategisk plan for prosjektvirksomhet, informasjon og kommunikasjon. Forprosjekt
1994	139	Erfaringar med kloring og UV-stråling av drikkevatt
	138	Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk. Revidert utgave
	137	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng (Erstattet av 181/2011)
	136	Hygienisk barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt?
	135	Vannledningsrør i Norge. Historisk utvikling. 26 dimensjonstabeller
1993	134	VA-JUS. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (Erstattet av boken Vann- og avløpsrett (2010) og nettportalen va-jus.no)
	B1	Effektive VA-organisasjoner og tilfredse brukere. Forprosjekt
	C2	Stoff for stoff – kilde for kilde. Kvikksølv i avløpsnett
	133	IT-strategi for VA-sektoren. Veiledning
	132	Forslag til nytt system for prosjektvirksomheten i NORVAR
1992	131	Effektivisering av avløpssektoren
	130	Gjenanskaffelseskostnadene for norske VA-anlegg
	129	Rørinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering hovedledninger
	C1	Sårbarhet i vannforsyningen
	128	Bruk av resultatindikatorer og benchmarking i effektivitetsmåling av kommunale VA-virksomheter. Erfaringer og anbefalinger fra et prøveprosjekt
1991	127	Vassdragsforbund for Mjøsa og tilløpselvene – en samarbeidsmodell
	126	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie
	125	Mal for forenklet VA-norm
	124	Nødvendig kompetanse for legging av VA-ledninger. Læreplan for ADK 1
	123	Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Veiledning for utarbeidelse av lokale forskrifter (Utgått)
1990	122	Prosesen ved utarbeidelse av miljømål for vannforekomster. Erfaringer og råd fra noen kommuner
	121	Kjøkkenavfallskverner for håndtering av matavfall. Erfaringer og vurderinger
	120	Strategi for norske vann- og avløpsverk. Rapport fra strategiprosess 2000/2001
	119	Omstruktureringer i VA-sektoren i Norge En kartlegging og sammenstilling
	118	Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR- teknikk (Erstattet av 138/04)
1989	117	VA-juss. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (Erstattet av 134/03)
	116	Scenarier for VA-sektoren år 2010
	115	Pumping av avløpsslam. Pumpetyper, erfaringer og tips
	114	Nødvendig kompetanse for drift av vannbehandlingsanlegg. Læreplan for driftsoperatør vann
	113	Nødvendig kompetanse for drift av avløpsrenseanlegg. Læreplan for driftsoperatør avløp
1988	112	Erfaringer med nye rensløsninger for mindre utslipp
	111	Eksempel på driftsinstruks for silanlegg. Cap Clara i Molde kommune
	110	Veileder i konkurranseutsetting. Avtaler for drift og vedlikehold av VA-anlegg
	109	Resultatindikatorer som styringsverktøy for VA-ledelsen
	108	Data for dokumentasjon av VA-sektorens infrastruktur og resultater
1987	107	Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Teknisk veiledning. Foreløpig utgave
	106	Effektiv bruk av driftsinformasjon på renseanlegg/mal for rapportering
	105	Sjekkliste plan- og byggeprosess for silanlegg
	104	Nordisk konferanse om nitrogenfjerning og biologisk fosforfjerning 1999
	103	Returstrømmer i renseanlegg. Karakterisering og håndtering



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no
www.norsk vann.no