

Vattenförluster från ledningsnätet - beräkningsverktyg för en hållbar nivå

*Annika Malm
Linnéa Axell
Gilbert Svensson
Jon Røstum*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Vattenförluster från ledningsnätet – beräkningsverktyg för en hållbar nivå
Title of the report:	Sustainable Economic Level of Leakage
Författare:	Annika Malm, Linnéa Axell, RISE Research Institutes of Sweden, Gilbert Svensson, Vattenforum, Jon Røstum, Powel AS
Rapportnummer:	2019-17
Antal sidor:	66
Sammandrag:	Sverige har relativt stora vattenförluster från dricksvattennätet. Internationellt har det utarbetats metoder för beräkning av den samhällsekonomiskt hållbara nivån för vattenförluster. Projektet har anpassat dessa metoder för svenska förhållanden. I rapporten presenteras ett beräkningsverktyg som kan användas för att beräkna den hållbara nivån för vattenförluster i varje kommun.
Abstract:	Sweden has extensive water losses, compared to other countries. The report has a manual that 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 Sustainable Economical Level of Leakage for different conditions.
Sökord:	Vattenförluster, läckage, samhällsekonomi, SELL, läcksökning, hållbar
Keywords:	Real losses, water losses, society economy. SELL, leak detection, sustainability
Målgrupper:	VA-verksamheter, konsulter, leverantörer
Omslagsbild:	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2019
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	18-114
Projektets namn:	Samhällsekonomisk hållbar nivå på vattenförluster
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Sverige har historiskt sett haft god tillgång på dricksvatten vilket har gjort att frågor som rör dricksvattenförluster och läckage inte har prioriterats. I genomsnitt är vattenförlusten i Sverige 20 % (VASS Drift 2017) och detta är relativt högt jämfört med andra länder i Europa. Förutom att vi har haft god tillgång till vatten så har det dessutom varit relativt sett billigt att bereda och transportera dricksvatten. Den ovanligt torra sommaren 2018 har gjort att vattensituationen i Sverige förändrats. Stora delar av Sverige blev påverkade av torkan och vattenverken hade på många håll svårt att leverera vilket innebar uppmaningar att spara på vatten och förbud för bevattning.

Klimatförändringarna har gjort att frågor som rör vattenutläckage och vattenförlust har blivit aktuella även i Sverige, särskilt när flera delar av Sverige nu har de lägsta grundvattennivåerna någonsin. Det är nu viktigt för Sveriges VA-verksamheter att arbeta proaktivt med vattenutläckage och vattenförluster.

Projektet har utgått från det arbete som författarna gjorde för Norsk Vanns rapport "Beregning av bærekraftig lekkasjenivå". Målet med det svenska projektet har varit att utveckla metodik för beräkning av vattenförluster baserat på internationella standarder (utarbetade av IWA Water Loss Group) anpassad till svenska förhållanden. Metoden beskriver hur man beräknar och uppnår hållbara vattenförluster för svenska VA-verksamheter baserat på internationell erfarenhet och metodik. Som en del i arbetet ges exempel på hur Sverige kan arbeta för att minska sina vattenförluster samt vad som krävs för att lyckas.

Till arbetet har knutits en referensgrupp bestående av Stefan Peterson, Frida Moberg, Tommy Giertz, Simon Bengtsson, Mats Henriksson, Marianne Wahlquist, Gitte Marlene Jansen och Hans Bäckman. Tack för arbetet ni lagt ner.

Göteborg/Trondheim mars 2019

Författarna

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
English summary	7
Förkortningar, beteckningar och definitioner	8
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Målet med projektet	10
1.3 Metod	10
1.4 Beskrivning av användarhandledning för de olika kalkylbladen	11
2 Vattenbalans och vattenförluster	13
2.1 Kort översikt över hur andra länder arbetar med vattenförluster	13
2.2 IWA:s modell för vattenbalans	17
2.3 Vattenförlust i Europa, Norge och Sverige	18
2.4 Specifik vattenförbrukning i Sverige och Europa	19
2.5 Infrastructure Leakage Index, en metod att bedöma vattenförlusterna utifrån egna förutsättningar	20
3 Hållbar nivå för vattenförluster	23
3.1 VA-verksamhetens ekonomiska konsekvenser kring vattenförluster	23
3.2 Samhällsekonomiska konsekvenser kring vattenförluster	24
4 Vattenbalans - Kalkylblad 1	28
4.1 Vattenbalans	28
4.2 Osäkerhetsberäkningar	34
5 En hållbar vattenförlustnivå - Kalkylblad 2	37
5.1 VA-verksamhetens kostnader för vattenförluster	38
5.2 Samhällskostnader för vattenförluster	39
5.3 VA-verksamhetens kostnader för att leta efter läckor/förbättra nätet	40
5.4 Samhällskostnader för att leta efter utläckage/förbättra nätet	41
5.5 Osäkerhetsberäkningar	43
6 Hur kommer man igång med arbetet?	44
6.1 Börja med vattenbalansen	44
6.2 Metoder för att hitta vattenläckor	44
6.3 Hur påverkar utvecklingen av ny teknik mängden utläckage?	44
6.4 Utvalda exempel och initiativ	48
7 Slutsatser och rekommendationer	57
8 Referenser	58

Sammanfattning

Sverige har relativt stora vattenförluster från dricksvattennätet. Internationellt har det utarbetats metoder för beräkning av den samhällsekonomiskt hållbara nivån för vattenförluster. Projektet har anpassat dessa metoder för svenska förhållanden. I rapporten presenteras ett beräkningsverktyg som kan användas för att beräkna den hållbara nivån för vattenförluster i varje kommun.

I genomsnitt är vattenförlusten i Sverige 20 procent. I Sverige har vi på de flesta håll gott om vatten, och det har varit billigt att bereda dricksvatten och transportera det. Men i dag har vi situationer med vattenbrist och extremt låga grundvattennivåer. Att leta ny vattentäkt eller bygga ut vattenverket tar tid och kostar pengar. Många svenska VA-verksamheter lägger därför stora resurser på att minska vattenförlusterna, men det finns fortfarande mycket kvar att göra. Genom branschorganisationen International Water Association (IWA) har det utvecklats beräkningsmetoder för vattenförluster som också bör användas mer aktivt i Sverige, bland annat Infrastructure Leakage Index (ILI) och Sustainable Economic Level of Leakage (SELL). ILI är en kvot mellan de vattenförluster en verksamhet faktiskt har och de vattenförluster som är mycket svåra att komma åt. SELL är den hållbara nivån på vattenförlusterna när man har tagit hänsyn till kostnader för vattenförluster, läcksökning och tidigare lagd förnyelse även ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Projektet har tagit fram ett beräkningsverktyg för hållbar vattenförlustnivå som passar för svenska kommuner. Rapporten beskriver verktyget och ger förklaringar till de två kalkylblad som är skapade för att beräkna dels vattenbalansen, dels SELL. Kalkylbladen kan laddas ner via www.svensktvatten.se där rapporten finns för nedladdning. Grunden för arbetet med vattenförluster är god kontroll av den egna vattenbalansen, det vill säga hur mycket dricksvatten som produceras i förhållande till vad som används eller läcker ut. Vattenbalansen är ofta osäker. Verktyget innehåller en osäkerhetsanalys som visar hur mycket osäkerheter i ingångsdata påverkar resultatet.

För att få säkrare indata samt lättare kunna detektera, lokalisera och reparera utläckage kan VA-organisationerna använda sig av ny teknik. Även en liten läcka som läcker över lång tid ger stor vattenförlust. Det är därför viktigt att: a) identifiera läckor så snabbt som möjligt, b) hitta vilka ledningar eller komponenter som läcker, och c) reparera läckan så bra och snabbt som möjligt. För var och en av dessa faser utvecklas det ny teknik som gör det billigare och enklare att minska förlusterna. Det kan till exempel vara produkter som smarta vattenmätare, trycksensorer i ledningsnätet baserade på IoT-teknik (Internet of Things), eller lösningar som bygger på avancerad analys genom maskininlärning.

Projektet har genomförts av en grupp från forskningsinstitutet RISE och en referensgrupp med representation från ett antal kommuner. Rapporten ger exempel på arbete med vattenförluster i bland annat Norge och Danmark.

English summary

Sweden has extensive water losses, compared to other countries. The average water losses in Sweden is 20 % (VASS 2017). Historically has the access to water been good and it has been cheap to prepare and transport. However, the situation is different today with water scarcity and extremely low groundwater levels. Many of the Swedish water companies put a lot of resources to reducing water losses, but there is still much to do to be able to compare Sweden with other countries in this question.

Through the worldwide water organization International Water Association (IWA) have several water loss concepts been developed and they should be used more actively in Sweden. For instance, have the terms Infrastructure Leakage Index (ILI) and Sustainable Economic Level of Leakage (SELL) been produced. This report has used those methods and tried to adjust them for Swedish conditions for the water organizations in Sweden to be able to calculate their Sustainable Economic Level of Leakage. As a part of the project different tools for assessing the sustainable leakage level for each water company (municipality) has been developed. The tools will be described in detail further down. 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 report has a manual that 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 come out as a span.

Spreadsheets 1 is for calculating the water balance. That is the leakage levels in a municipality, based on top-down and a bottom-up perspective. Spreadsheets 2 can be used to calculate SELL, the Sustainable Economic Level of Leakage for the municipality. There are today some uncertainties regarding the calculation models due how reliable the input is. In order to see how big impact, the uncertainties in the input will have on the outcome an uncertainty analysis can be done.

To create more reliability regarding the input and to make it easier to detect, locate, and repair leakages the water company can use new technology. Even a small leakage that leaks over a long time can represents a great water loss. Therefore, it is important to; a) identify leakages as quickly as possible b) find which pipes or components that are leaking, and c) repair the leakage as good and quickly as possible. For each of these phases, there is continuous technology development. The development can for instance be products as smart water meters and devices, pressure sensor based on Internet of Things technology, or solutions that are based on advanced analysis (machine learning).

Förkortningar, beteckningar och definitioner

CARL	Current Annual Real Losses (nuvarande årliga reala förluster) är den verkliga vattenförlusten från distributionsnätet
DMA	Mätzoner på ledningsnätet, förkortning av District Metered Areas
ILI	Infrastructure Leakage Index är kvoten mellan CARL och UARL
IWA	International Water Association
Utläcke	Det vatten som läcker ut från distributionssystemets ledningar
SELL	Samhällsekonomisk optimal nivå för vattenförluster, förkortning av Sustainable Economic Level of Leakage
UARL	Unavoidable Annual Real Losses (oundvikliga årliga reala förluster) är ett empiriskt uppskattat mått på hur stor del av vattenförlusten som är svår att undvika
VASS	Svenskt Vattens statistiksystem som samlar och presenterar data om svenska VA-verksamheter
Vattenförlust	Allt levererat vatten som inte utgör tillåten förbrukning

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige har relativt omfattande dricksvattenförluster. I genomsnitt är vattenförlusten i Sverige 20 % (VASS, 2017). Historiskt sett har vi tillräckligt med råvatten och vattnet har varit billigt att bereda och transportera. Men idag har vi även i Sverige haft situationer med vattenbrist och extremt låga grundvattennivåer (SVT Nyheter, 2019). Nya krav på vattenkvalitet kräver mer och bättre vattenbehandling, vilket innebär att priset per producerad m³ stiger. Det finns också en känsla av slöseri när 20 % av vattnet försvinner på väg från vattenverket till kunder och brukare. Sommaren 2018 hade fler än 100 kommuner i Sverige restriktioner i vattenanvändning, i första hand för att vattenverkets produktion inte räcker till. När vattenverkets kapacitetstak nås återstår att planera för en utbyggnad av kapaciteten. Att bygga ut vattenverken är kostsamt och kan inte utföras omgående, vilket gör att fokus kan öka på att åtgärda förlusterna på nätet.

Många svenska VA-verksamheter lägger stora resurser på att minska vattenförlusterna, men vi har fortfarande mycket kvar att göra. Andra länder har arbetat framgångsrikt med denna fråga och det finns att lära av dem. Genom den världsomspännande branschorganisationen International Water Association (hädanefter, IWA) har flera vattenförlustkoncept utvecklats som också bör användas mer aktivt i Sverige. Bland annat har termerna Infrastructure Leakage Index (hädanefter, ILI) och Sustainable Economic Level of Leakage (hädanefter, SELL) utarbetats. SELL är den samhällsekonomiskt hållbara nivån för vattenförluster. ILI är en kvot mellan de vattenförluster en verksamhet har och de vattenförluster som är mycket svåra att komma åt, de så kallade oundvikliga vattenförlusterna.

I Norge har Norsk Vann beslutat om en nationell hållbarhetsstrategi för vattenindustrin (Norsk Vann, 2017). Norge har satt ett mål till 2030 på max 20 % vattenförluster på nationell nivå. I rapporten nämner författarna också att *samhällsekonomiskt hållbara vattenförluster* ska eftersträvas lokalt i verksamheterna, vilket betyder att målet lokalt kan bli både högre och lägre än 20 %. Hållbara vattenförluster betyder också att målet har tre dimensioner; miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet.

Grunden för vattenförlustberäkningar är en korrekt vattenbalans. Vattenbalansen är många gånger osäker, det finns exempelvis osäkerheter i mätarvärden och i schablonvärden. Osäkerheterna i den egna omätta vattenförbrukningen kan ibland vara stora och det finns ingen sammanställning/riktlinjer att luta sig mot på hur stor egenförbrukningen normalt är. Det gör att den statistik som rör vattenbalans i Svenskt Vattens databas VASS blir osäker.

Arbetet med att minska vattenförlusten är ett långsiktigt arbete. Tyvärr finns det ingen snabb lösning för att minska vattenförlusterna. Arbetet måste ske långsiktigt och strategiskt. I Danmark har man till exempel

arbetat systematiskt med sina vattenförluster de senaste 25 åren, vilket har bidragit till att de idag har förbättrat sina värden. Flera kommuner/VA-verksamheter i Norge och Sverige jobbar med att minska vattenförlusterna. I denna rapport kommer några av erfarenheterna från detta arbete att beskrivas.

1.2 Målet med projektet

Målet med projektet är att utveckla metodik för beräkning av vattenförluster baserat på internationella standarder (utarbetade av IWA) anpassad till svenska förhållanden. Metoden beskriver hur man uppnår hållbara utläckagenivåer för svenska VA-verksamheter baserat på internationell erfarenhet och metodik. Som en del i arbetet ges exempel på hur man kan arbeta för att minska sina vattenförluster samt vad som krävs för att lyckas.

För att uppnå huvudmålet med projektet har följande delmål formulerats:

- Beskriv metodiken för beräkning av vattenbalansen och hur denna metod kan appliceras på svenska förhållanden, specifikt begreppet hållbar nivå på vattenförluster.
- Dokumentera goda exempel från Sverige som berör arbetet för att uppnå en hållbar nivå på vattenförluster och jämför dessa exempel med liknande arbeten i andra länder som t.ex. Norge.
- Genomgång på vad teknikutvecklingen kan ge, inkl. exempel från kommuner som använt ny teknik.
- Undersök hur organisationer bör jobba med läcksökning, hur de bäst kommer igång och vad som är viktigast att starta med.
- Manual och Excel-filer på svenska enkelt och gratis nedladdningsbara för Svenskt Vattens medlemmar.
- Fördjupad analys av den omätta egenförbrukningen vilket kommer att ge säkrare underlag för en korrekt vattenbalans.
- Bedömning av ILI under olika förhållanden och stöd i hur man kan bedöma hur hög/låg ens egen vattenförlust egentligen är.
- Mer tillförlitlig statistik i VASS kring vattenbalans.

1.3 Metod

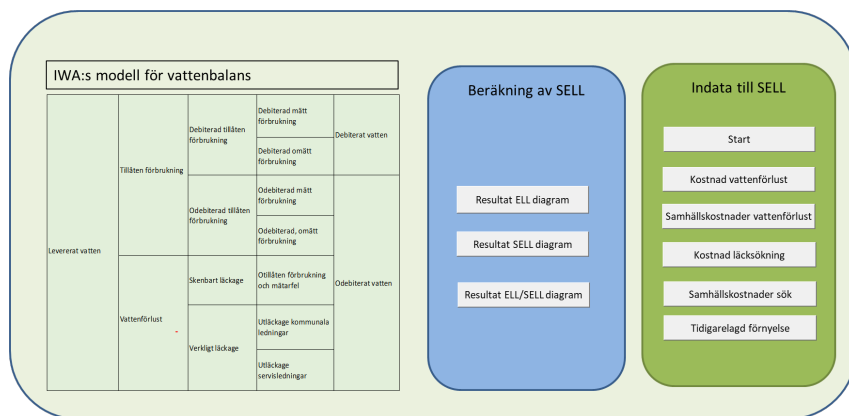
Projektet är utfört av en projektgrupp bestående av personer från RISE (Research Institutes of Sweden), Vattenforum och Powel. Projektgruppen har haft regelbundna möten med referensgruppen. Referensgruppen har bidragit med kunskap och erfarenheter från deras arbete i kommuner och VA-verksamheter. Det har varit värdefullt att ha med både kommuner med god tillgång på vatten och kommuner med sämre tillgång på vatten i referensgruppen. Referensgruppen har deltagit med kompetens och synpunkter vid ett referensgruppsmöte.

En viktig del av arbetet har varit och sammanställa den litteratur som finns, både nationellt och internationellt, som är anknuten till användningen av IWA:s metodik för beräkning av vattenförluster/utläckage.

1.4 Beskrivning av användarhandledning för de olika kalkylbladen

Kalkylbladen beskrivs i kapitel 4 och 5, men en kortare beskrivning kan hittas direkt som kommentarer i respektive kalkylblad. Kommentarer visas i kalkylbladet med en röd triangel i den aktuella cellen. När man sveper musen över cellen kommer kommentaren att komma upp så att den kan läsas. Det är i grunden endast de gröna cellerna som ska fyllas i.





Figur 1.2 Översikt över kalkylblad 2.

2 Vattenbalans och vattenförluster

2.1 Kort översikt över hur andra länder arbetar med vattenförluster

2.1.1 State of the art

Ett av de viktigaste arbetena avseende vattenförluster som utförts de senaste 20 åren har varit IWA:s manual "Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Manual of Best Practice" (Alegre et al., 2000). Här definieras de olika parametrarna och manualen används som grund för nästan alla studier som rör vattenförluster. En uppdaterad version av rapporten släpptes 2016.

I England ger "Leakage Management and Control – A Best Practice Training Manual" från Farley (2001) en omfattande utbildning i alla aspekter av läcksökning och metoder för att minska vattenförluster. Handboken är avsedd som ett underlag för att öka förståelsen för incitamenten för att minska vattenförlusten. Rapporten bygger på forskningsrapporter från 1980-talet och 1990-talet.

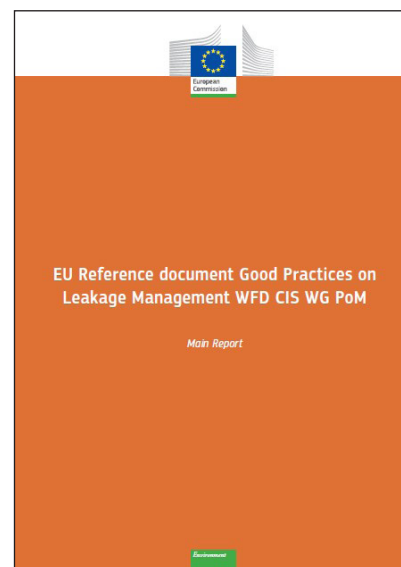
I USA är "Pipe Location and Leakage Management for Small Water Systems" från Water Research Foundation, Hughes et al. (2014) en central rapport. Här finns detaljerade förslag till arbetsmetoder för läcksökning och minskning av vattenförlusten. Det finns även en omfattande granskning av utrustning för att hitta läckor.

Från Tyskland har lärdomar dragits från rapporten, Deutsche Gesellschaft für Inter Zusammenarbeit "Guidelines for water loss reductions" A focus on pressure management" (GIZ, 2011), som kortfattat lyfter fram de viktigaste elementen för att arbeta för att minska vattenförluster. Rapporten fokuserar mycket på tryckreduktion.

IWA:s "Water Loss Task Force" presenterar i en rapport från 2003 uppdelningen av läckagezoner (District Meter Area, DMA). Rapporten beskriver hur man kan analysera vattenförlust genom att använda områdesövergripande mätning. IWA har också rapporterat 14 års erfarenhet av att använda IWA:s "Performance Indicators" i en rapport från Lambert et al. (2014).

EU har utvecklat en bra manual som visas i figur 2-1. Den beskriver hur man arbetar med SELL: "Reference document Good Practices on Leakage Management" (EU, 2015). Manualen kan vara ett komplement till den beskrivning som finns i föreliggande rapport.

Hemsidan till nätverket SWAN – Smart Water Network Forum (<https://www.swan-tool.com/s---leak-detection>) kan ses som en inspirationssida för nya teknologier när VA-verksamheten vill hitta vattenförluster.



Figur 2.1
EUs manual.

2.1.2 Varför är vattenförlusterna i Danmark så låga?

I Danmark fanns det en stor risk för vattenbrist på 1980-talet och larm om hur jordbruket förorenade grundvattnet. Detta ledde till åtgärder på 1990-talet för att rädda vattnet. Danmark valde att öka priset mycket mer än konsumentprisindexet i form av en extra skatt och vattenmätare installerades hos alla konsumenter. För de VA-verksamheter som hade en vattenförlust högre än 10 % tillkom en extra straffskatt. Skattesatsen baserades på vattenförlusterna i procent (%) och inte volym per sträcka och dygn (m^3/km och dygn), vilket inte är helt rättvist. Däremot är det ett enkelt sätt och det har fungerat väl (Hall, 2017).

Erfarenheter från projektet LEAKman (2017) pekar på fem anledningar till att Danmark har lyckats så pass väl i sina ansträngningar för att minska vattenförlusten:

1. strategisk rehabilitering
2. väl utfört arbete
3. noggranna mätningar
4. politiska incitament och
5. förändring i kultur.

Projektet LEAKman (2017) hävdar att tillvägagångssättet har fungerat, men för att förbättra arbetet ytterligare vill man använda ny teknik, produkter och tjänster.

Dessutom har Danmark goda och naturliga grundförutsättningar för att hålla ett relativt jämnt och lågt tryck i varje tryckzon på grund av en platt terräng.

2.1.3 LEAKman: danskt forskningsprojekt för att minska utläckage

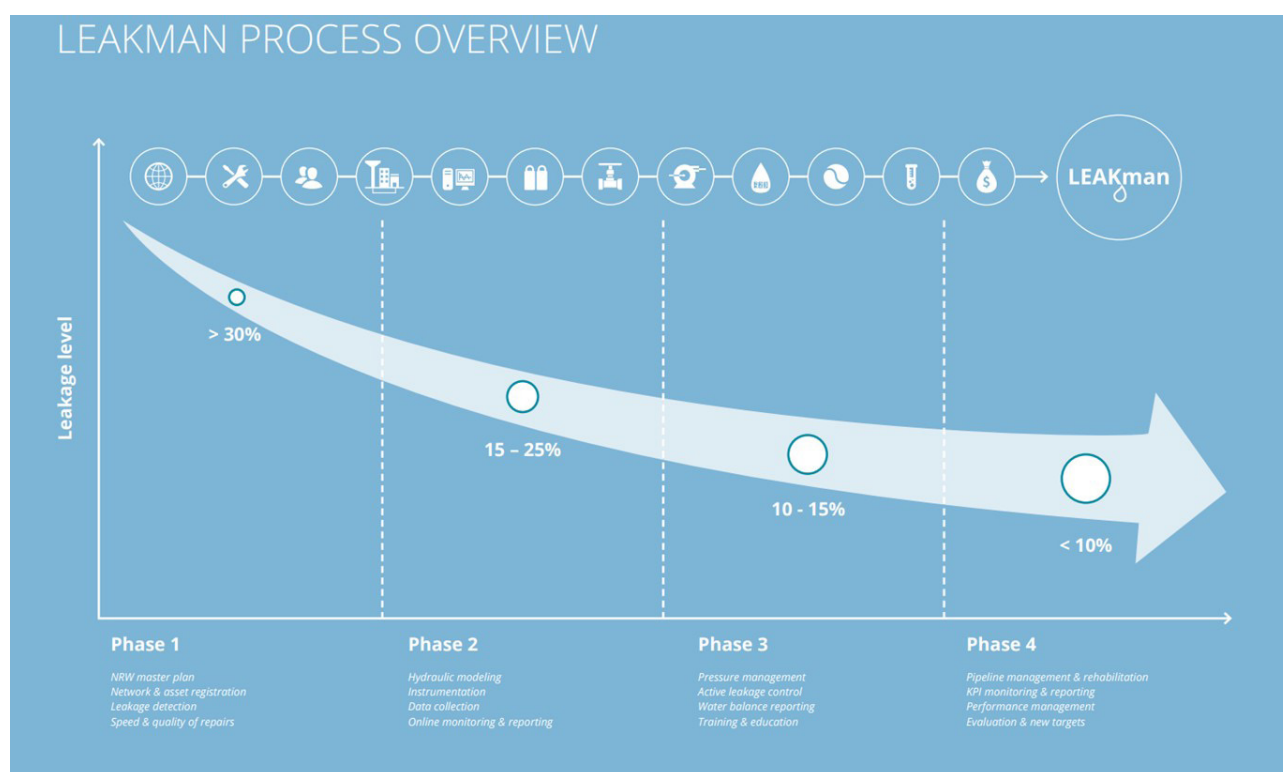
Projektet skapades med målet att visa på danska lösningar för att begränsa dricksvattenförlusten. Vidare så är målet att bana väg för ny teknik och export av danska teknologier och tjänster. Syftet är att skapa den bästa lösningen för utläckagehantering. I projektet ingår Leif Koch, AVK-gruppen, HOFOR, Novafos, Grundfos, Schneider Electric/AVEVA, Kamstrup, NIRAS och DTU. Projektet startade 2016 och stöds av Miljö- och livsmedelsministeriet i Danmark. Projektet kommer att löpa fram till och med 2019. Den totala budgeten är 43 miljoner DDK (LEAKman, 2017). Några viktiga delar i LEAKman-projektet beskrivs i punkterna nedan och en processöversikt visas i figur 2.2.

- LEAKman har en on-line hydraulisk nätverksmodell som kan användas för tryckreglering etc.
- Fullskaletester kommer att ske på fyra platser.
- Projektet innehåller ett doktorandarbete som ska dyka ner i mätproblematik.
- Smarta vattenmätare installeras för alla kunder i områden för fullskaletester med mätning av temperatur och flöde (ingen mätning av vattentryck).

- Känslig tryckmätare på nätet som även kan mäta tryckstötter har installerats och utvärderas.
- Ljudloggar varje 100–200 meter har installerats och ska utvärderas.
- Tryckoptimering ska testas både i form av tryckreduktion i ventiler för mätzoner på nätet och genom optimering av utpumpningstryck.

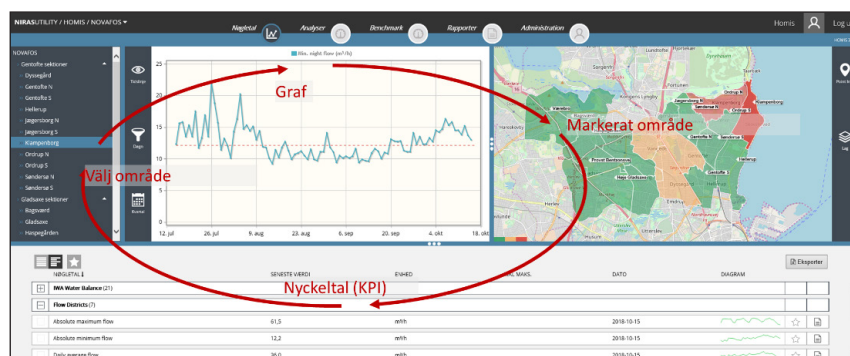
Processdiagrammet (figur 2.2) är en generalisering. De enskilda faserna kommer att vara flytande och i stor utsträckning beroende av var i världen du är. Den danska vattensektorn kännetecknas av en låg vattenförlust (<10 %) men fas 4 innebär mer än nivån på förlusterna. De flesta VA-verksamheterna i Danmark befinner sig fortfarande någonstans mellan fas 3 och 4, med avseende på användning av modeller och teknologi. De låga vattenförlusterna beror mer på strategisk förnyelse och aktiv läcksökning. Genom att implementera teknik och styrning i fas 4 (management och förnyelse, övervakning av nyckeltal etc.) kan insatserna bli effektivare samtidigt som vattenförlusterna hålls nere. Erfarenheten av projektet hittills är att det är svårt att begränsa antalet nyckeltal som ska användas och att mätningen är viktig. Detta kan också kontrolleras och optimeras.

I planen för LEAKman-projektet ligger också att ta fram utvärderingsmetoder och beräkningar för ekonomisk värdering av vattenförluster. De har ännu inte börjat på det här arbetet, som i den nuvarande fasen av projektet koncentreras på att få instrumenten (ljudlogga, smarta mätare, tryckreduktion och IT-system) på plats. När data börjar komma från demonstrationsområdena kommer LEAKman att arbeta med användningen av information och metoder för beräkning av Economic Level of Leakage (hädanefter, ELL) (Gitte Marlene Jansen, pers. med. 24 januari 2018).



Figur 2.2 LEAKman process (LEAKman, 2017).

I LEAKman-projektet har ett integrerat informationssystem installerats, HOMIS (Holistic Management Information System), som förutom att identifiera vattenläckor baserat på vattenbalansinventeringen för mätzoner (även kallade DMA), också integrerar mätvärden för fjärravläsning av vattenmätare, ljudloggdata, resultat från online hydrauliska modeller, rörbrottregistrering och automatisk beräkning av valda nyckeltal baserad på bl.a. SCADA data, se figur 2.3.



Figur 2.3 Skärmdump av HOMIS-lösningen som ingår i LEAKman (LEAKman, 2017).

2.1.4 Kapstaden - När förändring måste ske så händer det saker

Kapstaden har mer än 5 miljoner invånare och har under 2015–2018 drabbats av en ovanligt svår vattenbrist. I media har flera hört om Kapstadens "Day Zero", dagen då de i staden inte längre har några vattenresurser kvar. Trots att invånarna i staden lyckades reducera sin vattenkonsumtion har de fortsatt en lång återhämtningstakt (300 år) för att helt få bukt med den långvariga vattenproblematiken, se figur 2.4. För att kunna påverka innevånarnas vattenkonsumtion har staden implementerat olika restriktioner kopplat till vattenförbrukningen. Under den period 2018 när krisen var som värst var den maximalt tillåtna vattenförbrukningen per person och dygn 50 l/person och dygn och använde man mer än det så ökade priset på vattnet med 390 %. Designen av prismodellen fick en viktig roll i arbetet för att reducera vattenkonsumtionen. Vidare så hade prismodellen tagit in sociala aspekter där konsumenter som använder lite vatten (upp till 50 liter/person och dygn) fortfarande har en låg vattentaxa och att konsumenter som överskrider denna förbrukningsnivå får en hög taxa. Detta för att alla fortsatt skulle ha råd till rent vatten och att avgiften påverkade dem som överkonsumerade vatten. Det var inte heller tillåtet att tvätta sina bilar eller bevattna trädgården. Det fanns en möjlighet att bevattna sina trädgårdar med grävatten eller avloppsvatten, men det var viktigt att det framgick att det var "reclaimed water". Tack vare en genomtänkt strategisk styrning, implementering av smarta vattenmätare och god kommunikationsstrategi lyckades invånarna i Kapstaden reducera sin vattenförbrukning från 150 till 50 l/person och dygn. Kapstaden har lyckats gå från att vara kända för Day Zero till att vara kända som en water-wise city. Mer info finns på www.capetown.gov.za (City of Cape Town, 2018).



Figur 2.4 Kapstaden 2018 (Figur från Bluefield Research).

2.2 IWA:s modell för vattenbalans

Vattenbalans är en systematisk metod för att hålla koll på vattenproduktion, vattenförlust och konsumtion av vatten, figur 2.5. Metoden har utvecklats av IWA och används i många länder.

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

Figur 2.5 IWA:s vattenbalansmodell från 2000 (Alegre et al. 2000).

I den här rapporten är modellen översatt till svenska, se figur 2.6.

Leverans	Tillåten förbrukning	Debiterad förbrukning	Debiterad och mätt förbrukning	Volym som ger intäkter
			Debiterad men omätt förbrukning	
	Vattenförluster	Icke debiterad förbrukning	Odebiterad men mätt förbrukning	Volym som inte ger intäkter
			Odebiterad och omätt förbrukning	
		Skenbart utläckage	Otillåten förbrukning och mätarfel	
		Verkligt utläckage	Utläckage kommunala vattenledningar	
			Utläckage privata servisledningar	

Figur 2.6 IWA:s Vattenbalansmodell på svenska.

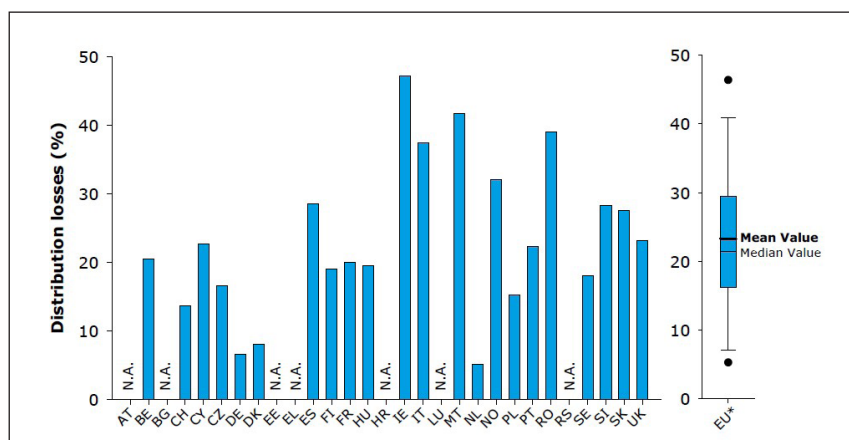
Här är en förklaring av de viktigaste elementen som ingår i figuren ovan:

- Leverans – mängd som levereras in till systemet. Vattnet kommer antingen från ett eget vattenverk eller är köpt från ett externt vattenverk.
- Tillåten förbrukning – förbrukning i verksamheter som kommunen har godkänt för att använda vatten. Kan delas in i:

- Debiterad förbrukning – mätt eller omätt som används av registrerade kunder. Inkluderar vatten sålt till annan kommun och utläckage efter den punkt där förbrukningsmätningen (vattenmätaren) sker.
- Icke debiterad, mätt eller omätt tillåten förbrukning: vatten från en brandpost på rinn, fontäner, väg- och tunneltvätt, parkvattning, frostskydd, ”entreprenörvatten” etc.
- Vattenförluster – skillnaden mellan uppmätt utleverans och summan av all tillåten förbrukning. Vattenförluster kan delas in i:
 - Skenbart utläckage – otillåten förbrukning och mätfel. Är troligen låg och är svår att kartlägga/uppskatta. Mätfel kan dessutom vara både positiv och negativ.
 - Verkligt utläckage – utläckage på överförings- och huvudledningar, bräddning i reservoarer samt utläckage på kommunala och privata serviser fram till vattenmätaren.

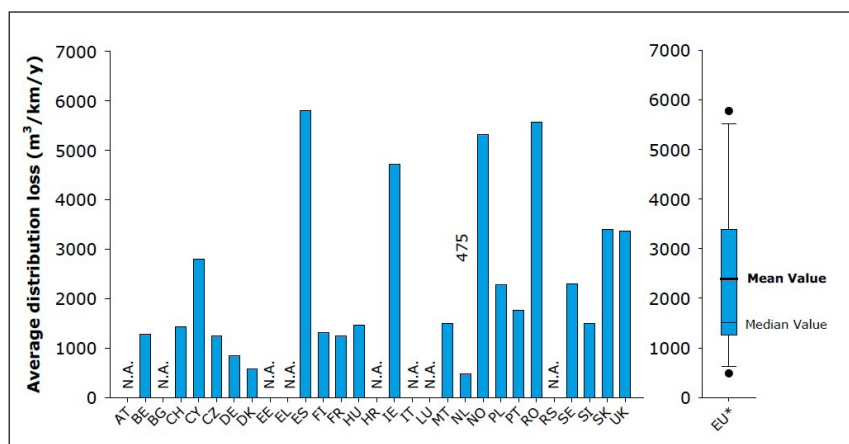
2.3 Vattenförlust i Europa, Norge och Sverige

Den europeiska paraplyorganisationen för vattenindustrin, *Eureau*, har i sin statusrapport för 2017 (Eureau, 2017) sammanställt data som rör nationella vattenförluster. Den genomsnittliga vattenförlusten i Europa rapporteras vara 23 % eller 5,9 m³/km och dygn (2 171 m³/ km och år), se figur 2.7 och figur 2.8. Eureau betonar att siffrorna inte kan jämföras på grund av lokala skillnader i användningen av vatten för offentliga ändamål.



Figur 2.7

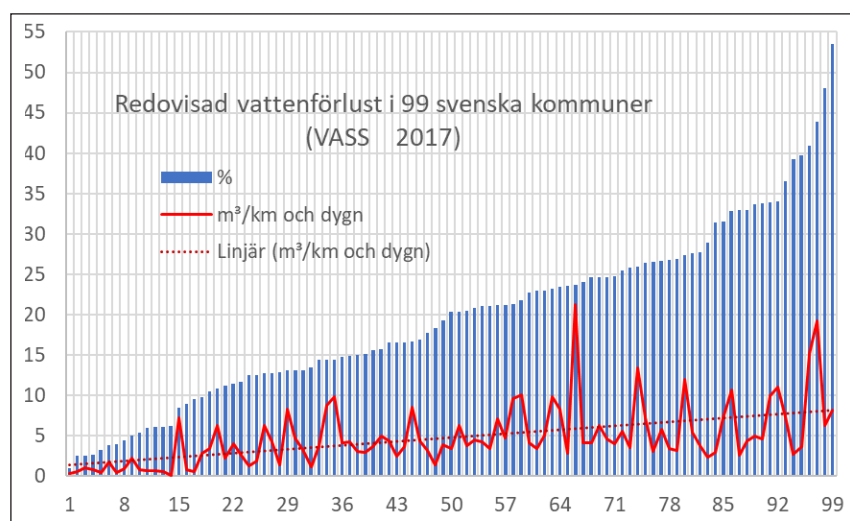
De genomsnittliga vattenförlusterna (%) för olika europeiska länder (EUREAU, 2017).



Figur 2.8

Genomsnittliga vattenförluster i (m³/km och år) för olika europeiska länder (EUREAU, 2017).

Svenskt Vatten samlar varje år in uppgifter om vattenleverans och vattenanvändning i VASS Driftundersökning. Senaste undersökning är Drift 2017 (Svenskt Vatten 2018). Figur 2.9 visar att i de 99 kommuner som lämnat uppgifter varierar den procentuella vattenförlusten mellan 1 % och 50 % med ett medianvärde och även medelvärde på ca 20 %. Ser vi till vattenförlusten uttryckt i m^3/km och dygn varierar denna mellan 1 och $20 \text{ m}^3/\text{km}$ och dygn med ett medel på $5 \text{ m}^3/\text{km}$ och dygn. Figuren visar också att de kommuner som har den största procentuella förlusten inte har mycket större förlust per km ledning och dygn än de kommuner som har låg procentuell förlust. Den inlagda trendkurvan visar dock att förlusten per km ledning och dygn ökar något med ökad procentuell förlust. Kommuner med hög procentuell förlust har i allmänhet fler meter distributionsledning per person än de med låg procentuell förlust.



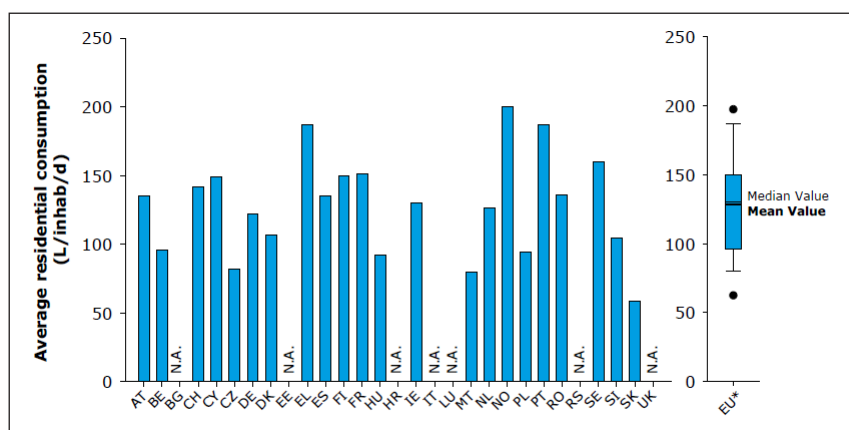
Figur 2.9 Spridning i resultat för vattenförlust i m^3/km och dygn respektive %. Data från 99 svenska kommuner 2017.

2.4 Specifik vattenförbrukning i Sverige och Europa

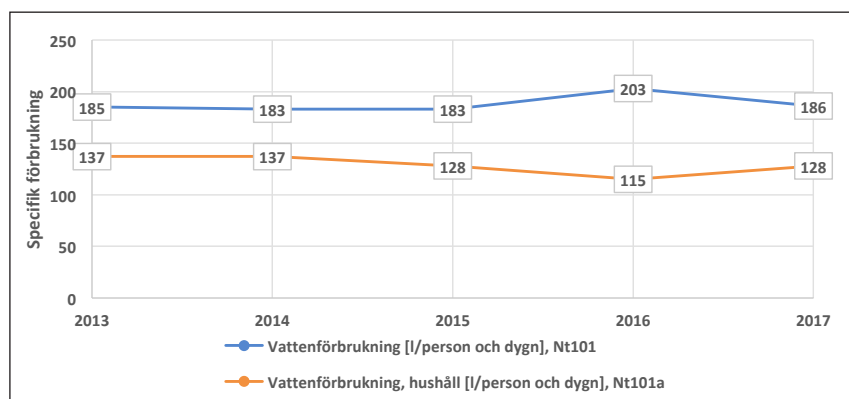
Den specifika vattenförbrukningen i Europa varierar från land till land (EUREAU, 2017). Den genomsnittliga förbrukningen är 128 l/person och dygn, se figur 2.10 på nästa sida.

Vattenförbrukningen i Sverige studeras årligen genom Svenskt Vattens driftundersökning. De flesta av Sveriges kommuner har vattenmätare hos alla abonnenter. Den redovisade volymen i l/person och dygn för alla brukare samt för hushållsförbrukningen bör således vara tämligen exakt.

I figur 2.11 redovisas totalt uppmätt förbrukning och uppmätt hushållsförbrukning för åren 2013–2017. För 2016 gjordes en förändring i hur man rapporterade vattenbalansen, som innebar en oklarhet i hur man skulle svara, och det är troligen orsaken till avvikelsen för 2016. Hushållsförbrukningen i Sverige är idag ca 130 l/person och dygn.



Figur 2.10 Genomsnittlig specifik vattenförbrukning för olika europeiska länder (EUREAU, 2017).



Figur 2.11 Genomsnittlig specifik vattenförbrukning i Sverige 2013-2017 (VASS Drift 2017 där Nt101 (a) är koden i VASS).

2.5 Infrastructure Leakage Index, en metod att bedöma vattenförlusterna utifrån egna förutsättningar

Som tidigare beskrivits har olika VA-organisationer olika förutsättningar att nå låga vattenförluster. En kommun med långt ledningsnät i förhållande till antal anslutna får högre förluster än en kommun med kort ledningsnät, om statusen på nätet är detsamma. Ju högre tryck som behövs i systemet, desto mer förluster och med långa privata servisledningar är det också svårare att minska vattenförlusterna.

Ett sätt att ändå kunna jämföra sig med andra är att beräkna sitt Infrastructure Leakage Index, ILI. ILI är förhållandet mellan de vattenförluster en verksamhet har och de vattenförluster som är mycket svåra att komma åt, de så kallade oundvikliga vattenförlusterna. ILI (Infrastructure Leakage Index) är framtaget av Lambert et al. (1999). ILI tar hänsyn till ledningarnas längd, privata servisledningar och medeltryck i systemet.

Formeln för ILI är

$$ILI = \text{Vattenförluster (CARL)} / \text{Oundvikligt utläckage (UARL)}$$

där CARL = Current Annual Real Losses, dvs. den verkliga vattenförlusten från distributionsnätet

UARL = Unavoidable Annual Real Losses, är ett empiriskt uppskattat mått på hur stor del av vattenförlusten som är svår att undvika.

De oundvikliga vattenförlusterna UARL påverkas av vattenledningsnätets tekniska förutsättningar, såsom huvudledningsnätets och servisers längd, antal serviser, samt medeltrycket i nätet. Ett område med många serviser alternativt långa serviser får en högre nivå på UARL. Ett lägre medeltryck ger en lägre nivå. Formeln för UARL är:

$$\text{UARL (liter/dygn)} = (18 \cdot L_m + N_s (0.8 + 0,025 \cdot L_p)) \cdot P$$

där L_m är ledningslängd i km,

N_s är antalet servisledningar,

L_p är längden på den privata servisledningen i m

P är det genomsnittliga trycket i meter vattenpelare.

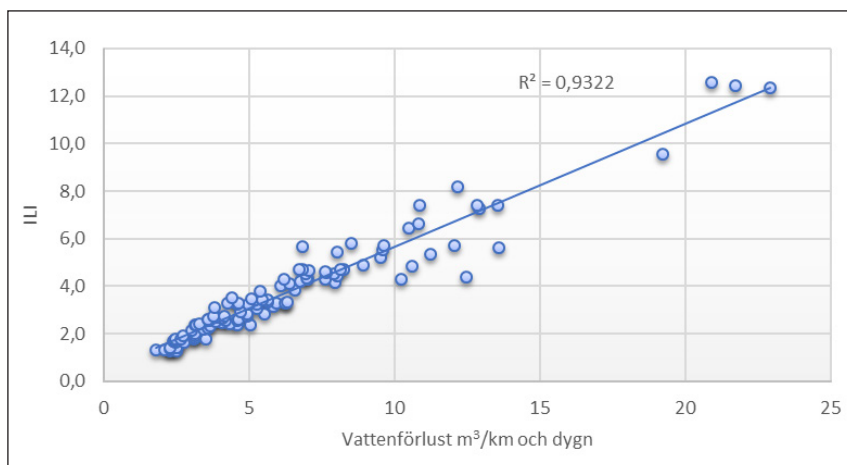
I den bästa av världar är ILI lika med ca 1, men ILI kan också vara ännu lägre. Ofta är dock värdet högre. Världsbanken har tagit fram en skala på hur ILI ska värderas, se tabell 2.1. I Sverige, där tillgången på vatten i många områden är god, och förutsättningarna svårare med långa ledningsnät kan ett högre värde kanske accepteras, men av hänsyn till den globala bristen på vatten används lämpligast Världsbankens värdering. SELL (kap 5) tar dock hänsyn till vattentillgångar, så en beräkning av SELL kan motivera ett högre ILI än Världsbankens värdering.

Tabell 2.1 Världsbankens kategorisering av ILI.

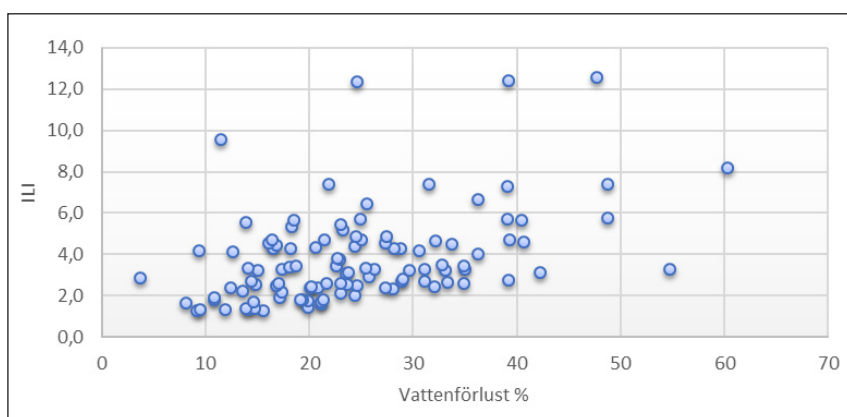
Index för vattenförlusten (ILI)	Skala från Världsbanken (Seago et al. 2005)					
ILI = CARL / UARL	>3,5	3-3,5	2,5-3	2-2,5	1,5-2	<1,5
	Inte acceptabelt	Dåligt	Lite dåligt	OK	Bra	Utmärkt

År 2016 gjordes en analys av 107 svenska kommuner och den visar att de flesta svenska VA-verksamheter har ILI mindre än 5 (figur 2.12). Det finns en stark korrelation mellan ILI och vattenförlust mätt i m³/km ledning och dygn. Detta påverkas också av det faktum att samma specifika rörledningslängd och vattentryck har använts under beräkningarna av ILI. Figur 2.13 visar att vattenförlust mätt i % inte korrelerar lika bra med vattenförlust mätt i m³/km ledning och dygn. I Sverige är den genomsnittliga längden på en servisledning ca 12 meter (Svenskt Vatten, 2017b).

Beräkningar där man använder beteckningen m³/km ledning och dygn ger ett mer rättvisande resultat än om man mäter i procent. För ett mycket långt ledningssystem (många meter per ansluten) blir den procentuella förlusten hög även om distributionsnätet är av god kvalitet. Den procentuella förlusten säger något om hur stor del som inte kommer fram till brukarna, men är ett dåligt mått på distributionssystemets kvalitet. Figur 2.14 visar

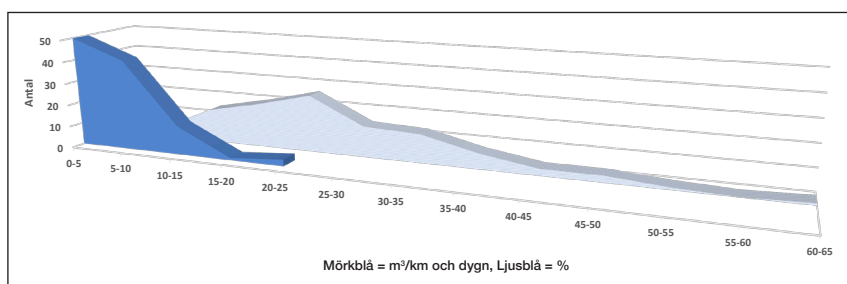


Figur 2.12 ILI kopplat till vattenförlusten för olika kommuner i m³/km och dygn. Data från 107 svenska kommuner 2016.



Figur 2.13 ILI kopplat till vattenförlusten i %. Data från 107 svenska kommuner 2016.

att spridningen (distributionskurvan) när man mäter i procent är många gånger större än om den uttrycks i m³/km ledning och dygn. Detta visar att per km ledning och dygn är det bästa sättet att uttrycka vattenförlust när man är ute efter distributionsnätets kvalitet.



Figur 2.14 Spridning i resultat för vattenförlust i m³/km ledning och dygn respektive %. Data från 107 svenska kommuner 2016.

3 Hållbar nivå för vattenförluster

Den hållbara nivån på vattenförluster (SELL – Sustainable Economic Level of Leakage), beror på faktorer i hela det urbana vattensystemet, både inom vattenförsörjningssystemet i sig, men också vid behandling av avloppsvatten. Genom att titta på de totala årliga kostnaderna dels för existerande vattenförluster dels för åtgärder att reducera förlusterna, är det möjligt att uppskatta den ekonomiskt optimala nivån för vattenförluster för varje VA-verksamhet. Om man även inkluderar externa kostnader, som sociala och miljömässiga, kan den optimala hållbara ekonomiska nivån på vattenförluster uppskattas (SELL). Vid beräkning av den hållbara nivån på vattenförluster, SELL, summeras kostnader för att minska vattenförluster med kostnaderna för att ha vattenförluster och när denna summa är som minst har man nått sin optimala nivå:

Optimal nivå = minimum $\sum$ (kostnad vattenförluster + kostnad för att reducera

Den nivå på vattenförluster som ger den totala lägsta kostnaden är den hållbara nivån, SELL, se figur 5.1 i kap 5.

3.1 *VA-verksamhetens ekonomiska konsekvenser kring vattenförluster*

3.1.1 Kostnader för vattenförluster

De kostnader som vattenförluster medför är både driftkostnader och eventuella investeringskostnader för att produktionen av vatten inte räcker, och kostnader för att det sker fler akuta driftstörningar.

Vattenförluster innebär att vatten produceras och distribueras i onödan. Det ger högre driftskostnader genom att det krävs mer pumpning, högre kemikalieförbrukning i vattenverken, och att mer slam behöver hanteras i vattenverket. Vatten som läcker ut ur vattenledningen kan också leta sig in i de lägre liggande avloppsledningarna vilket både bidrar till högre pumpkostnader och att mer avloppsvatten måste behandlas i avloppsreningsverket.

Om vattenförlusten är så stor att det påverkar behovet av att bygga ut vattenverken eller t o m att etablera nya vattentäkter och vattenverk, innebär det stora kostnader. Höga vattenförluster kan innebära ökad risk på grund av att systemet inte klarar av förändringar lika väl om produktionen av vatten ligger nära gränsen av vad vattenverken klarar av. Om det sker en händelse (som stor läcka, låga grundvattennivåer, vattenbrist eller torka), kan gränsen för när man behöver införa restriktioner i vattenanvändning närma sig fortare.

Höga vattenförluster kan bero på att aktiv läcksökning inte används i någon större utsträckning. Mindre aktiv läcksökning innebär att sannolikheten ökar för att fler läckor behöver lagas akut, ofta med högre kostnader som följd. Dessutom om ingen extra förnyelse för att minska vattenförluster görs, kommer fler vattenläckor i systemet inträffa, vilket medför

en högre kostnad för läcklagning än om en större andel av ledningsnätet förnyats.

3.1.2 Kostnader för att reducera vattenförluster

Det finns olika sätt att minska förlusterna, som att laga läckor snabbare, aktivt leta efter utläckage, reducera trycket, och att förnya ledningsnätet. Alla sätt medför kostnader.

Metoder för att lokalisera utläckage inkluderar direkta metoder som t.ex. akustiskövervakning men även invändig inspektion, gasinjektion eller att lyssna manuellt (Hamilton och Charalambous 2013; Svenskt Vatten, 2014). Indirekta metoder som finns är t.ex. zonmätning eller tryckanalys (Misiunas 2005). Rörmaterialet påverkar vattenförlusterna. Analyser i Göteborg visar att det finns ett klart samband mellan volymen av förlorat vatten och andelen grått gjutjärn (Malm et al., 2015a). I en världsomfattande studie av huvudledningsnätet visade Laven och Lambert (2012) att graden av icke-rapporterade utläckage från rör gjorda av grått gjutjärn är mer än dubbelt så hög som för andra material. VA-verksamhetens kostnader för att leta efter läckor/förbättra nätet medför därmed personalkostnader för det dagliga arbete att identifiera och reparera vattenförluster, kostnader för etablering av mätzoner och annan mätutrustning, och kostnader för att utveckla och driva datasystem som analyserar och larmar. Det blir också extra kostnader för att laga de läckor som upptäcks, dock kommer en del av dessa läckor bli så stora att de till sist skulle upptäckas ändå.

Genom att reducera och optimera trycket i systemet, se t ex Araujo et al. (2006) och Tabesh et al. (2009) minskar vattenförlusterna. Internationella erfarenheter visar att utläckaget reduceras med 1,4 % för en tryckreduktion på 1 % (Thornton och Lambert 2007). Dessutom minskar belastningen på ledningsnätet om trycket reduceras. Om VA-verksamheten vill använda tryckreduktion medför det kostnader för att installera och driva dessa system.

Om man ökar sin förnyelsetakt för att reducera förluster tillkommer dessa kostnader.

3.2 Samhällsekonomiska konsekvenser kring vattenförluster

Vattenförluster innebär också samhällskostnader. Miljön kan påverkas vid uttag av råvatten. Råvattenuttaget är dock ofta en liten del av vattentäkten och då påverkas inte det naturliga vattenflödet i vattendraget. Användningen av vattentäkten för dricksvatten kan också leda till investeringar i uppströms avloppsanläggningar. Enligt EU:s vattendirektiv 2000/60/EF måste dock en god status uppnås i vattentäkter/vattendrag, vilket innebär att restriktioner måste genomföras under alla omständigheter.

Samhällskostnader är också ökade koldioxidutsläpp när fler läckor repareras, hälsorisker vid reparation (när nätet är trycklöst) samt samhällskostnader för störningar för boende och trafik under reparationer. Hur stora dessa är finns dock inte mycket studier kring. En studie i Australien gick

igenom storleken på olika samhällskostnader, dels samhällskostnader för vattenförluster dels samhällskostnader för att reducera. Studien fann att det är svårt att finna relevanta data på kostnadsnivåer, men att följande kostnader kan inkluderas: utsläpp av växthusgaser, miljöpåverkan till följd av påverkan på kulturella platser, hälso- och säkerhetsstörningar, sociala störningar (till exempel brukare utan vatten, buller, trafikförändringar) och ekonomisk förlust som inte kompenseras (Marlow et al. 2011).

Varje onödig kWh kostar pengar och har en miljöpåverkan. Det finns också fördelar när det kommer till att reducera effekttopparna som vattenproduktionen kan ge energisystemet.

Varje läcka utgör en hälsorisk om vattenförsörjningssystemet blir trycklöst. Hålet som det läcker ut ur kan också ta in grundvatten och eventuellt avloppsvatten från den gemensamma rörgraven. En epidemiologisk studie i Norge visade ökad risk för mag- och tarmsjukdomar i områden som varit trycklöst till följd av reparationer eller underhåll (Nygård et al., 2007). Risken för mag- och tarmsjukdomar var signifikant högre hos de utsatta hushållen, från 8 % till 12 %. I Sverige genomfördes en studie i fem kommuner 2014–2015 som visade en motsvarande ökning i risk, dock med mycket lägre nivåer, från 1,0 % till 1,6 % (Säve-Söderbergh et al. 2017). Samtidigt visar Malm et al. (2015) ingen statistik som stödjer en signifikant riskökning i samband med reparation av läckor i Göteborg. För att få en bättre helhetsbild av hur vatten bidrar till sjukdomar i Norge, ska Folkhälsoinstitutet genomföra en studie som undersöker förhållandet mellan vattenförbrukningen och förekomsten av mag- och tarmsjukdomar för den norska befolkningen. Detta kommer att ske genom telefonintervju, webbundersökningar och en SMS-undersökning för ett helt år (Folkehelsoinstitutet, 2018). Projektet är fortfarande i uppstartsfasen.

Goodwill är värden i ett företag som överskrider det bokförda värdet på företagets tillgångar såsom ”gott rykte” och ett högt förtroende. Det kan för en VA-verksamhet vara att de inte slösar med vattnet. Inom VA-verksamheten kan en låg vattenförlust också ge de anställda ökad stolthet, vilket ökar arbetsplatsens attraktivitet. Användningen av smart vattenteknik har högsta möjliga potential för och stora möjligheter till att bidra till samhällsförbättringar (GWI, 2017a).

Aktiv läcksökning ger en bra översikt över ledningssystemet och låga utläckagenivåer vilket ger trygghet för de anställda. Trygghet innebär att operatörerna inte behöver oroa sig och mindre arbetstid används för att beskriva och förklara utläckage och uteblivna resultat. Vilket i ett senare skede minskar stressnivåerna.

De sociala kostnaderna för arbeten på ledningsnäten är ofta små. I de allra flesta fall kommer trafikstockningar lösa sig själv relativt smidigt om de uppstår. För Speers et al. (2002) uppskattades konsumenternas sociala kostnader vara obetydliga. Avbrott från normal drift kan också hanteras utan allt för stor störning och därmed till låg kostnad (Speers et al., 2002). Om reparationen tar lång tid, får konsumenterna tillfälliga leveranser av vatten. Leveransstörning blir därför obetydlig. Enligt Marlow et al. (2011)

och Ofwat (2008) uppstår kommersiella störningar till följd av skador på vägar och trottoarer. Med kommersiella störningar menar man t.ex. buller, försämrad framkomlighet, störningar i kollektivtrafiken och effekterna av estetiska förhållanden som är faktorer som kan inkluderas.

Aktivt utläckearbete orsakar mer reparationer, men då reparationerna ofta blir enklare så blir den sociala påverkan mindre och på så vis den totala kostnaden liten. I många fall måste trafik endast hantera tillfälliga avbrott. De flesta användare kan acceptera att vara utan vatten under en kort tid, särskilt om det är känt i förväg, dvs planerade avbrott (Speers, 2002, Bylund och Lille, 1999).

Om kostnader för trafikpåverkan inkluderas finns en stor variation i vilka värden som bör användas. De värden som vi rekommenderar att man använder för beräkningar, är 150–350kr/bil och timme (Trafikverket, 2014; Marlow et al. 2011; Ofwat, 2007) eller 1 000–2 000kr per läcka. Vilket värde som väljs beror på var på nätet utläckaget har inträffat (Marlow et al, 2011).

3.2.1 Göteborg - Exempel på SELL-beräkning

I Göteborg har Kretslopp och vatten gjort en kostnads-nyttoanalys (SELL) för att beräkna vilka åtgärder som är mest effektiva när det gäller att minska vattenutläckage. Hela studien beskrivs i Malm et al (2015a).

Göteborgs mål var att minska vattenförlusterna från ca 20 m³/km och dygn till 14 m³/km och dygn. För att kunna bedöma effekten av ett minskade vattenförluster jämfördes fyra olika åtgärder:

Alternativ 1. Byt rören snabbare än den aktuella förnyelsetakten på 8 km per år. Ökningen innebar en dryg dubbling av förnyelsen under en tioårsperiod (26,5 km per år, totalt 185 km extra). Nya och korrekt installerade rör antas ha ett utläckage nära noll.

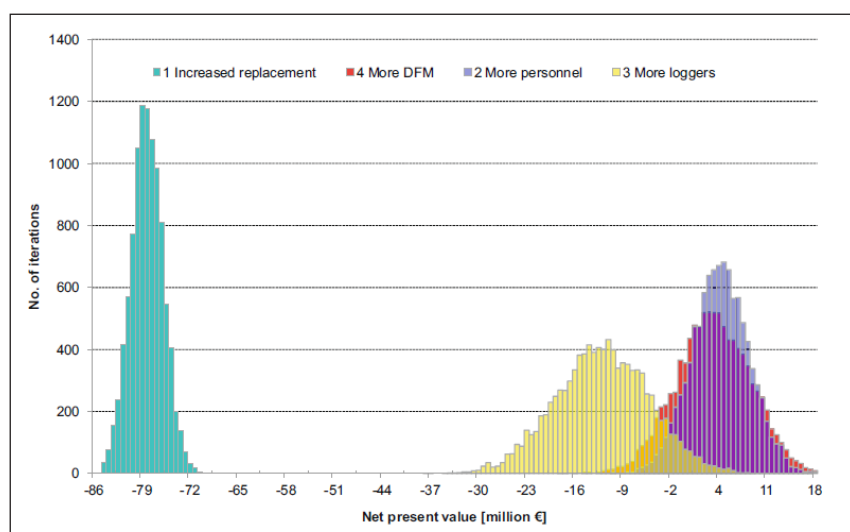
Alternativ 2. Öka utläckagesökningstakten genom att öka personalvolymen och använda traditionella läcksökningsmetoder, inklusive manuell lyssning och akustiska korrelationer.

Alternativ 3. Utöka sökningen efter utläckage genom att öka antalet akustiska mätare som upptäcker utläckageljud och överför data genom exempelvis textmeddelanden eller direkt till en databas.

Alternativ 4. Expandera utläckageupptäckten med DMA (District Meter Area), dvs dela staden i mät-zoner. DMA är bra för att begränsa storleken på områden som behöver skanning för att lättare hitta utläckage. En aktiv läcksökning är då nödvändig för att lokalisera läckan i varje DMA.

En kostnads-nyttoanalys (100 år med 3 % ränta) genomfördes inklusive osäkerhetshänsyn med Monte Carlo-simulering. I analysen inkluderades samhällskostnader i teorin, men dessa var så låga i fallstudien att de gick att bortse ifrån. Resultatet visas som en kurva eftersom osäkerheten ingår i analysen, se figur 3.1. På y-axeln visas antalet iterationer med ett visst resultat, och x-axeln är det resulterande nettonuvärdet. Om nuvärdet är större än noll betyder det att åtgärden är kostnadseffektiv för att minska

utläckaget. Vi ser att en snabbare utbytestakt av rören inte är en bra metod för att minska vattenförluster. Däremot är både vattenmätare/zon-indelning/DMA och mer mänskliga resurser bra metoder. Alla dessa metoder har ett positivt nuvärde (nästan hela distributionskurvan har ett positivt nettonuvärde). Detta konstaterande stödjer slutsatsen av Venkatesh (2012); att i ett system med höga vattenförluster är punktreparation av skadade rör effektivare än att höja ersättningstakten. Studien föreslår också att en kombination av fler anställda och mer mätning kan vara effektiv. Om antalet anställda som rekryterats kommer från tidigare arbetslöshet (vilket inte antas i studien) kommer den socioekonomiska fördelen att använda fler anställda att öka. Arbetet i Göteborg användes som underlag för beslut att öka antalet utläckagezoner (DMA).



Figur 3.1 Nettonivåer för utläckagebegränsande åtgärder där osäkerheten är inkluderad.

4 Vattenbalans - Kalkylblad 1

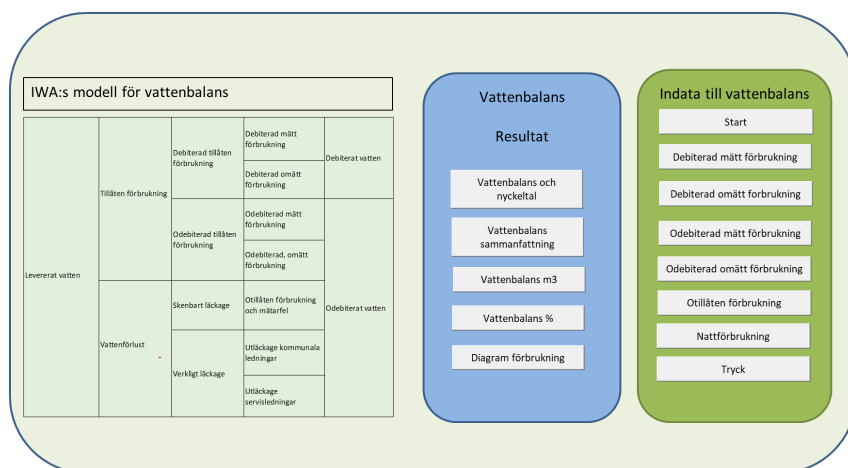
4.1 Vattenbalans

För att beräkna utläckageförluster tillämpas två metoder enligt IWA:

- Vattenbalansmetod (top-down):
 $\text{Vattenförluster} = \text{producerat vatten} - \text{konsumtion}$
- Nattförbrukningsmetod (bottom-up):
 $\text{Vattenförluster} = \text{observerad nattförbrukning} - \text{legal nattförbrukning}$

I princip bör dessa två metoder ge liknande resultat. Vattenbalansmetoden är lämplig för långsiktig beräkning, medan nattmetoden ger mer exakta realtidsresultat men är mer arbetsintensiv (Bosnjakovic, 2017).

Kalkylblad 1 – Vattenbalans, figur 4.1, är en modell för beräkning av utläckagenivåer i en kommun som är baserad på uppifrån och ned (top-down) samt ett nerifrån och upp (bottom-up) perspektiv, enligt IWA. Det här arket innehåller också några programmerade sekvenser (s k makron) där de ”gröna” fälten ska fyllas i.

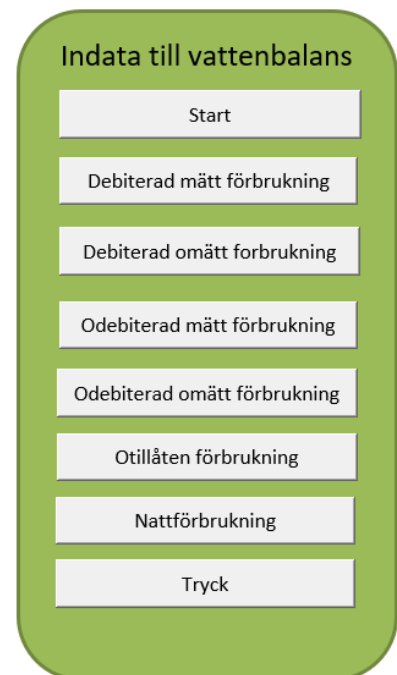


Figur 4.1 Vattenbalansmodellen beräknas med hjälp av inmatade data.

Indata till vattenbalans

Börja med Start och ange data för vattenproduktion och distributionsnät, figur 4.2

- Fyll i all uppmätt konsumtion som har faktureras.
- Fyll i all konsumtion som är fakturerad men inte uppmätt. Det är viktigt att beräkna dessa volymer så exakt som möjligt.
- Fyll i all uppmätt konsumtion som inte faktureras. Viktigt att identifiera alla mätpunkter.
- Volymer som inte mäts och som inte har fakturerats måste identifieras. Denna volym kommer annars att vara en del av vattenförlusten.
- All olaglig konsumtion måste uppskattas.



Figur 4.2

Resultaten blir inte bättre än osäkerheten i den data som blivit inmatad.

- Genom att ange den lägsta nattförbrukningen beräknas ett sannolikt värde för vattenförlusten (bottom-up).
- Tryck beräknas med en enkel modell.

Vattenbalans – resultat

- Vattenbalansen visas både i text och i stapeldiagram, figur 4.3.
- Vattenbalansen visas i tre typer av diagram, i volym (m³), i procent och fördelat på olika typer av förbrukning.
- I Vattenbalans och nyckeltal beskrivs vattenbalansen i text tillsammans med nyckeltal, figur 4.4.
- I Vattenbalans sammanfattning visas nyckeltal och osäkerhetsfaktorer.

Läckage – Specifika värden		
Specifikt läckage kommunala ledningar	3,9	l/m huvudledning/dygn
Specifikt läckage servisledningar	77	l/servisledning/dygn
Specifik läckage totalt	4,6	l/m huvudledning/dygn
Verkligt läckage	16,9 %	
Läckage från nattförbrukning	16,6 %	

Figur 4.4 Vattenbalans och nyckeltal.



Figur 4.3

Vattenbalansen visas både i text och i stapeldiagram.

4.1.1 Beräkning av ILI

När vattenbalansen beräknas, beräknas ILI för distributionssystemet, se flik "Vattenbalans och ILI" och presenteras i form av en tabell, tabell 4.2. ILI bedöms med stöd av figur 4.5, som är baserad på rekommendation från Världsbanken. Tabellen anger ett intervall från <1,5 vilket är utmärkt till > 3,5 vilket inte är acceptabelt.

Beräkning av ILI		
Verklig vattenförlust	4,6	l/m/dygn
CARL (Current Average Real Losses)	4626493	l/dygn
UARL (Unavoidable Average Real Losses)	1131500	l/dygn
Tryck (medel för hela nätet)	36,5	mvp
Längd huvudledningsnät	1000	km
Antal servisledningar	10000	st
Medel servisledningslängd	20	m
ILI (Infrastructure Leakage Index)	4,1	

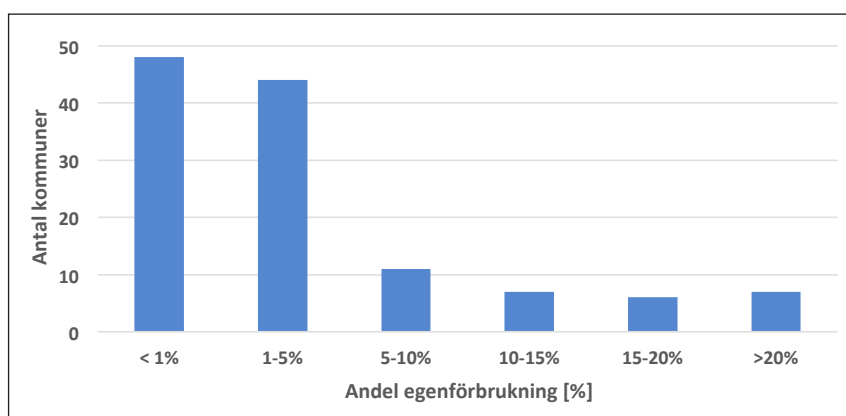
Figur 4.5 Beräkning av ILI.

4.1.2 Beräkning av egenförbrukning

Beräkning av egenförbrukning sker i flik "Odebiterad mätt förbrukning" respektive "Odebiterad omänt förbrukning" beroende på om de olika posterna i egenförbrukningen mäts eller inte. Osäkerheterna om egenförbrukning är ofta stora och det finns ingen sammanställning/riktlinjer att luta sig mot. Detta avsnittet kommer att ge en kort förklaring till hur man kan tänka kring egenförbrukning när man fyller i vattenbalansen.

Odebiterad och ouppmätt vattenförbrukning är vattenförbrukning som VA-verksamheten inte får betalt för och där förbrukningen oftast uppskattas för olika förbrukningskällor. Odebiterad och ouppmätt vattenförbrukning delas upp i olika kategorier beroende på var förbrukningen sker. Dessa förbrukningsplatser är t.ex. hamnar, byggarbetsplatser, vägar, avloppsreningsverk, avloppspumpstationer, spolrörvatten och dränering, brandsläckning och övningar, fontäner, poolanläggningar, sportanläggningar, isbanor, städning av egen pool, etc. En del av den odebiterade och ouppmätta förbrukningen utgörs av VA-verksamhetens egenförbrukning.

Figur 4.6 visar data från 123 kommuner i Sverige som har delat med sig av data rörande egenförbrukning. Figuren visar den procentuella andelen egenförbrukning i förhållande till den totala vattenförbrukningen. Kommunen har själv fått välja om de vill lämna in uppmätt eller uppskattade data för den vattenförbrukningen som inte debiterats. Av de kommuner som delat med sig av data har 48 kommuner (39 %) svarat att de har en egenförbrukning som är mindre än en procent vilket är orimligt lågt. Fortsättningsvis, har 7 kommuner (6 %) fyllt i att de har en egenförbrukning på över 25 % av den totala vattenförbrukningen, vilket kan anses högt. Detta visar på att data som rör egenförbrukning har en stor osäkerhet och att kommuner i Sverige behöver få bättre kontroll på sin egenförbrukning. Att ha kontroll på sin egenförbrukning är viktigt för att kunna få kontroll på sin vattenförlust och på så vis även sitt utläckage. Spridningen ligger mellan 0–82 % egenförbrukning av den totala vattenförbrukningen.



Figur 4.6 Den procentuella andelen egenförbrukning i förhållande till den totala vattenförbrukningen.

För att kunna kategorisera egenförbrukningen ännu tydligare kan VA-verksamheten också dela upp egenförbrukningen på olika typer av katego-

rier utifrån där förbrukningen sker. Som ett gott exempel kan man dela in i följande kategorier:

- Byggvatten
- Brandpost på spolning
- Ny ledning på spolning
- Ny servisledning på spolning
- Spolning av matarslang för tillfällig förbrukning
- Slangade fastigheter (tillfällig vattenförsörjning vid arbeten på dricksvattennätet)
- Rengöring av reservoarer
- Uppfyllning/avtappning ny ledning
- Dricksvattenfontäner
- Fontäner (om inte vatten recirkuleras)
- Privata fontäner utan mätning
- Rengöring av avloppspumpstationer
- Spädvatten – svavelväte
- Privata läckor (svår att uppskatta)
- Fyllning av spolbilar
- Förbrukning i byggbodar

I kalkylarket har de källor som visas i uppräknings ovan valts att ta hänsyn till, och schablonvärden enligt tabell 4.1 har angetts. En källa som ofta bortses från är byggvatten, men den bör vara med i beräkningarna. För byggvatten har få uppgifter erhållits men Kungsbacka kommun har använt det schablonmässiga värdet på 50 m³/hus. Denna schablon används framförallt på småhus eftersom de idag inte mäter denna förbrukning.

Förbrukningskällorna kan delas upp i olika schablonmässiga värden för att de ska vara lättare att beräkna. Detta är ett stöd för de kommuner inte själva mäter sin egenförbrukning. I den högra kolumnen finns information som VA-verksamheten måste ta reda för att kunna beräkna egenförbrukningen. Vattenvolymen som har förbrukas anges i m³ och för att kunna fylla i denna information krävs det tillgång till mätare.

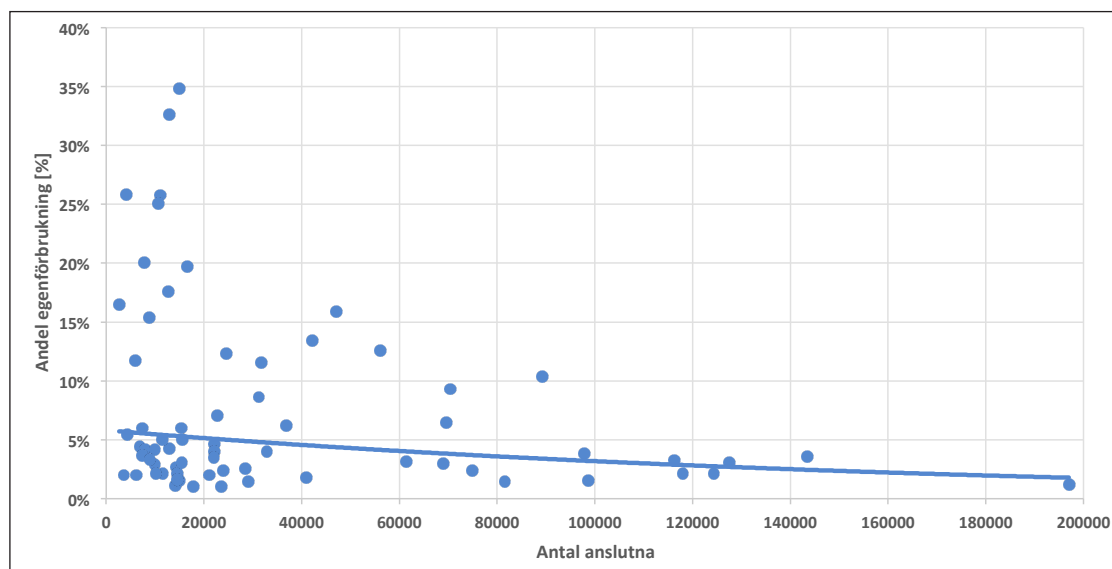
När nya ledningar ska fyllas så kan två olika typer av schablonmässiga värden användas beroende på dimensionen på ledningen. Här har dimensionen DN200 använts för att skilja på rör som ligger över eller under denna dimensionen. Det krävs även information om hur många dagar det har tagit att fylla röret samt hur många nya ledningar man har lagt ut. Storleken på röret bestämmer sedan flödet som man ska räkna med. Om nya fastigheter ska anslutas till systemet så måste servisledningen spolas och då används en vattenförbrukning på 10 m³/hus som schablonmässigt värde.

För slangade fastigheter och spolning av matarslang behövs också information om antalet dagar samt antalet fastigheter/spolställen. När man vet detta kan man använda de schablonmässiga värden som är angivna i tabellen. För Brandposter har tabellen skiljt på brandposter med och utan sparplugg som reducerar flödet.

Tabell 4.1 Exempel på data som behövs för att kunna beräkna egenförbrukning

Byggvatten	50 m ³ /hus
Rengöring bassänger	m ³
Fyllning ny-ledning (≥400 mm)	m ³
Ny ledning på spolning Från DN200 och uppåt (208 liter/min, uttag)	Antal Antal dagar
Ny ledning på spolning Upp till DN200 (76 liter/min)	Antal Antal dagar
Ny servisledning på spolning	10 m ³ /servis
Spolning av matarslang (20 l/min, spolställe)	Antal spolställen Antal dagar
Slangade fastigheter (10,5 l/min, fastighet)	Antal fastigheter Antal dagar
Brandpost på spolning (100 l/min, BP)	Antal Brandposter (BP) Antal dagar
Brandpost (BP) på spol med sparplugg (20 l/min, BP)	Antal Brandposter (BP) Antal dagar
Fyllning av spolbil (m ³)	Antal fyllningar per dag Antal dagar
Spoling pumpstationer (antag 5 m ³)	Antal pumpstationer Antal gånger
Förbrukning i byggbodar (30 m ³ per månad)	Antal byggbodar

I figur 4.7 har alla värden under 1 % och över 35 % eliminerats från datamängden som visades i figur 4.6. Detta för att se om man kan se ett samband mellan antal anslutna personer till det allmänna vattenledningsnätet i kommunen och den procentuella andelen egenförbrukning. Figuren visar att det finns ett visst samband. De flesta kommunerna har en egenförbrukning som är mindre än 10 %.



Figur 4.7 Samband mellan antal anslutna personer till det allmänna vattenledningsnätet i kommunen och den procentuella andelen egenförbrukning.

Göteborg redovisar varje månad sin egenförbrukning internt och använder detta underlag till redovisning i VASS. De har en egenförbrukning på ca 2 % varje år, ett värde som till stor del är uppmätt men som också utgörs av schablonvärden. De schablonvärden som föreslås i Kalkylark 1 är i huvudsak från Göteborgs data. I egenförbrukningen ingår inte vatten till byggarbetsplatser, eftersom detta vatten mäts och debiteras. Även i Linköping är egenförbrukningen uppskattad till 2 %. Siffran är en schablonmässigt framtagen volym för egen omätt och odebiterad förbrukning för spolning av ledningsnätet, släckvatten och vatten för flödesmätarlaboratoriets användning av brutet vatten vid test och kalibrering av vattenmätare. Utöver 2 % räknar de bort uppskattad dricksvattenförbrukning på sina stora centrala avloppsreningsverk som än så länge ligger utan debitering, motsvarande ca 1,5 % ytterligare i egen omätt och odebiterad förbrukning. För Göteborg ingår avloppsreningsverkets användning inte heller i siffran 2 % eftersom avloppsrening sköts externt.

En egenförbrukning mellan 2 och 10 % kan anses vara rimligt för att värdera om ens värde på egenförbrukning är lågt eller högt. Större kommuner har normalt lägre andel egenförbrukning.

4.1.3 Beräkning av genomsnittligt tryck

Det genomsnittliga trycket krävs för att beräkna ”Unavoidable Annual Real Losses” (UARL), som används för att härleda Infrastructure Leakage Index (ILI), se flik ”Tryck”. Det genomsnittliga trycket om natten är också en nyckelparameter för många andra typer av modelleringsberäkningar som är baserade på nattförbrukning. Detta är ett viktigt incitament till att systematisera beräkningarna för nattförbrukning. Kalkylbladet innehåller en metod för att beräkna detta som är hämtad från ILMSS Ltd (2013).

4.1.4 Beräkning som påverkas av längden på servisledningen

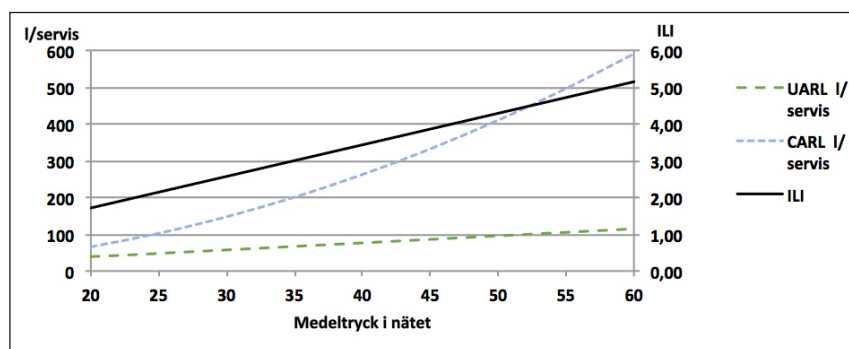
Värden för längden på servisledningar krävs för att beräkna ILI, och anges i flik ”Startsida”. Detta kan hittas i VA-verksamhetens GIS-system eller genom att ta reda på avståndet från byggnaden till ledningen i gatan (eller i mitten av vägen).

I Sveriges finns det totalt 80 000 km dricksvattenledningar enligt VASS (Svenskt Vatten, 2017). Om det finns mycket gemensamhetsanläggningar i området som ILI beräknas för kommer servisledningarnas längd vara längre än snittet. Detta gör att den privata delen av vattenförlusten kan vara underskattad på grund av att de gemensamma servisledningarna har många kopplingar som kan orsaka vattenförluster. Här kan man kompensera genom att förlänga längden på servisledningarna för att på så sätt få en bättre fördelning mellan värdet för de allmänna ledningarna och värdet för serviserna.

4.1.5 Förhållandet mellan ILI och andra mätningar av vattenförlust

Det finns en stark korrelation mellan tryck och vattenförlust. Ju högre tryck desto mer förluster. I figur 4.8 exemplifieras detta för ett fiktivt

ledningsnät, representativt för svenska förhållanden med 35 000 anslutna personer, 10 meter ledning per person samt 8 000 serviser. Med medel servisleddningslängd om totalt 12 meter blir resultatet enligt följande: Om trycket förändras från 30 mvp till 60 mvp kommer den årliga vattenförlusten (CARL) att öka från knappt 150 l/servis till nästan 600 l/servis medan den oundvikliga vattenförlusten (UARL) ökar från ca 60 l/servis till ca 120 l/servis. ILI ändras från ca 2,5 till 5.



Figur 4.8 Förhållandet mellan ILI, CARL och UARL för olika tryck.

4.2 Osäkerhetsberäkningar

Det finns en viss osäkerhet gällande beräkningarna för vattenbalansen. Detta är bland annat till följd av bristande eller felaktiga data. Osäkerheten i indata är särskilt relaterat till icke uppmätt vattenförbrukning. Vidare så kommer det alltid finnas en risk för mätfel i alla vattenmätare. Storleken på mätfelet och osäkerheten kan vara svår att uppskatta. De flesta kommuner/VA-verksamheter kan beräkna sina hållbara utläckagenivåer utan att använda osäkerhetskalkyler. Detta görs genom att de använder den data som de anser ha störst trovärdighet (den förväntade) medan annan data sällas bort.

Osäkerhetsberäkningar kan utföras på olika sätt och förklarad metodik för osäkerhet finns nedan:

- För de kommuner som vill inkludera osäkerhet i *kalkylblad 1 – Vattenbalans* så beskrivs en förenklad metodik i kapitel 4.2.1.
- Olika scenarier kan användas för att beskriva osäkerheten kring vissa parametrar som användas i *kalkylblad 2 – SELL*. Beskrivs i kapitel 4.2.2.
- En avancerad metod för osäkerhet finns tillgänglig för de VA-verksamheter som vill utföra mer avancerade osäkerhetsanalyser och beskrivs i kapitel 5.5.2. Denna metod använder avancerade tilläggsmoduler som finns tillgängliga via Excel.

4.2.1 Förenklad metod - osäkerhetsanalys

Kalkylblad 1 Vattenbalans uttrycker osäkerhetsanalysen i procent och utföraren får den maximala och minimala osäkerheten för respektive post specificerad, vilket visualiseras i figur 4.9. Den föreslagna osäkerhetsanalysen existerar som en separat flik i kalkylbladet. Det är viktigt att poängtera att osäkerheten kan ha en positiv eller en negativ inverkan beroende på

mätare, uppskattning av värden etc. I bostäder ger exempelvis vattenmätare ofta för låga värden för små tappningar på natten. Detta beror på att mätaren inte upptäcker ”för låga” vattenflöden, vilket gör att mätvärden som bäst kan ha (maximalt) 0 % förlust och som sämst ha (minimum) 3 % förlust. Osäkerheten i procent anges som indata i fliken ”Osäkerhetsanalys”. När detta görs uppdateras alla nyckeltal automatiskt.

Osäkerheterna påverkar vattenbalansens olika delar och även små osäkerheter ger tydliga förändringar. För att visa vad som påverkar mest sammantatt värdena i en tabell, se figur 4.10.

Osäkerhetsanalys	Min	Medel	Max	Simulerat	Min	Max
				Medel		
A. Deb mätt förbrukning	-2%	8000000	2%	8000000	7840000	8160000
B. Deb omätt förbrukning	-3%	215330	3%	215330	208870	221790
C. Odeb mätt förbrukning	-2%	75000	2%	75000	73500	76500
D. Odeb omätt förbrukning	-5%	11000	5%	11000	10450	11550
E. Otillåten förbrukning	-10%	10000	10%	10000	9000	11000
F. Nattförbrukning	-10%	1655640	10%	1655640	1490076	1821204
Levererat vatten, mätfel	-2%	10000000	2%	10000000	9800000	10200000

Simulera Min

Simulera Medel

Simulera Max

Figur 4.9 Osäkerhetsberäkning i kalkylblad för min och max.

	Volym (m ³)	Osäkerhet (%)	Osäkerhet, volym (m ³)
Levererat vatten	10 000 000	2%	200 000
		-2%	-200 000
Mätt fakturererat	8 000 000	2%	160 000
		-2%	-160 000
Omätt fakturererat	215 330	3%	6 460
		-3%	-6 460
Mätt ofakturererat	75 000	2%	1 500
		-2%	-1 500
Omätt ofakturererat	11 000	5%	550
		-5%	-550
Tillåten förbrukning	8 301 330		168 510
			-168 510

Figur 4.10 Sammanställning av poster som bidrar till osäkerhet när beräkningarna utförs.

4.2.2 Scenario för enskilda parametrar

Ett alternativt sätt att beräkna osäkerheten i beräkningarna är att analysera olika scenarier med olika värden på ingångsdata. De värden som är osäkra eller de som man vill testa effekten av kan varieras systematiskt. I en simulering läggs minimivärdena till och i en andra beräkning läggs de maximala värdena till. Ofta sammanfaller inte alla mininivåer samtidigt för alla osäkerheter det bör därför beaktas vid inmatning av värden och/eller när man gör sin analys att minsta värdet inte har hög sannolikhet. Detsamma gäller maxnivåer.

5 En hållbar vattenförlustnivå - Kalkylblad 2

I kalkylblad 2 är ”SELL” en modell för beräkning av en hållbar nivå på vattenförlusten i en kommun baserad på IWA-modellen. Figur 5.1 i kapitel 4 visar kostnader och besparingar som bör beaktas vid beräkning av hållbara vattenförluster. Under respektive underrubriker i denna rapport beskrivs dessa i detalj. Schablonvärden, i den mån de finns, finns i kalkylbladet.

Nedan beskrivs de poster som bör ingå i kalkylen och tips om hur man kan resonera när man saknar data. Posterna är indelade i fyra huvudkategorier. Underkategorierna som ingår visas i figur 5.1.

- VA-verksamhetens kostnader för att reducera vattenförluster/förbättra nätet
- Samhällskostnader för att leta efter reducera vattenförluster/förbättra nätet
- VA-verksamhetens kostnader för vattenförluster
- Samhällskostnader för vattenförluster

Samhällskostnader kan utelämnas i beräkningarna. Då får man sin nivå på Economic Level of Leakage (ELL).



Figur 5.1 Kostnader som ingår i SELL. Ljusare blå är samhällskostnader och kostnader med Asterisk (*) är negativa.

Data från kalkylark 1 behövs, och dessa ska anges i flik ”Grunddata”. De data som behövs är Levererat vatten till kommunens nät, Tillåten förbrukning av vatten, samt Antal km huvudledning.

Det är mycket data som ska fyllas i och en stor del är på uppskattningsnivå. Därför finns det inlagt defaultvärden i databladet att utgå ifrån. Dessutom, för att det ska bli siffror i resultatrutorna har värden för en typkommun lagts in i en version av kalkylarket.

Användarna uppdaterar med egna siffror och kan göra överväganden utifrån storleken på sin kommun i förhållande till typkommunen.

5.1 VA-verksamhetens kostnader för vattenförluster

5.1.1 Vattenförlustskostnader för produktion, distribution och avledning till avloppsreningsverk

För produktionskostnaderna är marginal kostnader ofta de kemiska kostnaderna och energikostnaderna som uppstår i processen och för pumpning av vatten. För ledningsnäten är marginalkostnaden främst energikostnader för pumpning. Denna kostnad varierar beroende på var man befinner sig i ledningsnätet, från noll till de delar som påverkas av gravitationskraften när vatten ska transporteras från de lägsta delarna av staden till de högsta liggande zonerna. Pumpens effektivitet varierar också beroende på pumpens tillstånd och i vilken zon vattenreservoaren ligger. Beräkningarna använder ett medelvärde. Mängden dricksvatten som läcker in i avlopssystemet och transporteras till avloppsreningsverket varierar beroende på typ av system det är och hur markförhållandena ser ut. I ett system där rör för avloppsvatten och spillvatten är kombinerade antas en större andel dricksvatten gå till avloppsreningsverket än i ett separat system, där en andel troligen hamnar i dagvattennätet. Vid avloppsreningsverket kan en marginalkostnad användas vid beräkningen.

5.1.2 Kostnader för att etablera nya råvattentäkter/utbyggnad av vattenverk

Om vattenförlusten är så stor att det påverkar behovet av att bygga ut vattenverken eller t om att etablera nya vattentäkter och vattenverk, innebär det stora kostnader. Om vattentäkten är nödvändig för att säkerställa robusthet och ökad säkerhet, ska kostnaden inte inkluderas. Den ska endast inkluderas om valet står mellan att bygga om/nytt eller minska vattenförlusten.

En hög vattenförlust kan innebära ökad risk pga. av att systemet inte klarar av förändringar lika väl och säkerheten mot vattenbrist blir lägre. Om det finns risk för detta, kan denna riskkostnad inkluderas, men inte hela kostnaden för utbyggnad.

5.1.3 Kostnader för fler akuta reparationer

När utläckage inte upptäcks vid aktiv utläckagesökning är risken för att läckor måste lagas akut högre. Detta ökar reparationskostnaden per läcka då t.ex. risken för övertidskostnader ökar när arbetet kanske inte kan ske under dagtid. Dokumentation av antalet identifierade läckor vid läcksökning kan användas för att bedöma antalet läcklagningar som behöver lagas akut för olika nivåer på vattenförluster.

5.1.4 Kostnader för att reparera fler läckor när förnyelsetakten inte ökas

Om en ökad förnyelsetakt inkluderas görs detta genom att beräkna antalet läckor som har eliminerats pga. av att fler ledningar är förnyade. Eftersom man inte vet om det är just dessa ledningar som skulle fått läckor, används en generell nivå, antingen en siffra (# per km, år) för hela ledningsnätet eller om det finns dataunderlag. Ett annat alternativ är att det finns en specifik siffra för varje material. I SELL-arket används data i fliken "Tidigarelagd förnyelse" och sammanfattas under fliken "A. Intäkter" i SELL-arket. Med "Tidigarelagd förnyelse" avses förnyelse som görs enbart för att minska utläckaget, och inte för att antalet avbrott är för många eller ledningssträckans livslängd är bedömd att vara till ända.

Förnyelse av ledningar görs ofta pga. en hög frekvens läcklagningar och ledningsbrott och inte på grund av vattenförluster. Det är ofta inte lönsamt att öka förnyelsen i ledningsnätet i syfte att minska vattenförlusterna (se 3.2.1), dock är förnyelse viktig för att upprätthålla god status generellt på ledningsnätet.

5.2 Samhällskostnader för vattenförluster

5.2.1 Miljökostnader för användning av vatten

Miljökostnader för utvinning av råvatten antas vara små. Råvattenuttaget är ofta en liten del av vattentäkten och påverkar inte det naturliga vattenflödet i vattendraget. Detta gäller dock inte kommuner som har sämre tillgång till råvatten, som kan behöva beakta miljökostnaden. Användningen av vattentäkten för dricksvatten kan leda till investeringar i uppströms avloppsanläggningar. Enligt EU:s vattendirektiv 2000/60/EF måste dock en god status uppnås i vattentäkter/vattendrag, vilket innebär att restriktioner måste genomföras under alla omständigheter. Kostnader behöver därmed inte inkluderas och är satt till noll i kalkylarket.

5.2.2 Klimateffekter

Varje onödig kWh kostar inte bara pengar utan har också en miljöpåverkan. Sverige har dock en koldioxidskatt som är högre än de samhällskostnader för koldioxidutsläpp som funnits i litteraturen, vilket medför att i beräkningen av SELL kan miljökostnaden för koldioxidutsläpp antas vara inkluderade i skatter och därmed redan är en del av de direkta kostnaderna. Någon ytterligare extra kostnad är inte inkluderad i kalkylarket.

5.2.3 Hälsorisker

Varje otäthet i systemet innebär en risk när vattenförsörjningssystemet blir trycklöst. Ju högre vattenförluster, desto mer otätheter finns i systemet. Dock, tidigare studier indikerar att risken är störst när ledningen ligger trycklös och blottad, och sannolikt blir risken större ju mer akut och stressat läckan lagas. Så en förenklad hypotes är att högre utläckage ger mindre antal läckor som lagas, men att de läckor som måste lagas (mer akut) var och en innebär en större risk. En kostnad per extra akut lagad läcka har lagts in som förslag i kalkylarket.

5.2.4 Störningar för invånare och trafik

När ingen aktiv läcksökning sker, lagas ett mindre antal läckor, men de läcklagningar som sker ger värre störningar eftersom de är akuta. Dock är störningarna ofta inte så omfattande att det innebär en betydande samhällskostnad. Denna post är satt till noll i SELL-arket, men det är lätt att lägga till en kostnad om man vill.

5.3 VA-verksamhetens kostnader för att leta efter läckor/förbättra nätet

5.3.1 Personal- och transportkostnader

Att arbeta mer med vattenförlustkontroll innebär behov av fler tekniker och ingenjörer som arbetar med utläckagesökning och analys. Den största kostnaden är lönekostnader för ökade personalresurser. Övriga utrustningskostnader antas vara obetydliga i förhållande till lönekostnaderna, men eventuella extra bilkostnader bör inkluderas.

5.3.2 Mätutrustningskostnader

Kostnaden för mätutrustning kan fyllas i per styck (antal) i kalkylbladet och en total årskostnad beräknas därefter fram. Här kan man ange både antal sensorer och andra mätare. Det är viktigt att vara medveten om att det är den årliga kostnaden i avskrivning och ränta som anges. Det vill säga om en vattenmätare förväntas ha en livslängd på 10 år, ska endast en tiondel av anskaffningskostnaden (plus ränta) anges. Observera, att om de ekonomiska avskrivningstiderna är mycket kortare än den förväntade livslängden (de bör vara samma men ibland avviker verkligheten från ekonomisystemen) bör man justera så att avskrivningen per år fördelas på den förväntade verkliga livslängden.

5.3.3 Kostnader för analys

Ett strukturerat arbete för att reducera vattenförluster kräver att man lägger tid på analys. Till personalkostnaden kan även kostnad för dataprogram tillkomma. Att använda en hydraulisk nätverksmodell är en fördel när man arbetar med utläckagereduktion, men kostnader för att upprätta och driva en sådan modell ska inte inkluderas eftersom användningen av en hydraulisk modell också har andra fördelar och användningsområden, som att kunna testa hur nyanslutningar och kapacitetsförändringar påverkar.

5.3.4 Kostnader för att reparera fler utläckage

När organisationer söker efter utläckage hittar de fler läckor än vad de hade hittat om de inte sökt efter utläckage. Några av läckorna skulle förmodligen ha upptäckts förr eller senare, men en andel av utläckagen skulle ha blivit oupptäckta i flera år. Det innebär att kostnaderna för dessa ”extra” vattenläckor måste inkluderas i kostnaden. Det kan antas att de flesta av de extra läckorna skulle ha upptäckts ändå, men långt senare och med mycket större volym vattenförluster.

5.3.5 Kostnader för tidigarelagd förnyelse

Förnyelse av vattenledningar görs ofta för att reparera läckor och inte minska utläckagenivåerna. Det finns vanligtvis ingen klar koppling mellan förnyelse av ledningar och lägre utläckagenivåer (se kapitel 3.2.1 för Göteborg). Med "Tidigarelagd förnyelse" avses förnyelse som görs enbart för att minska utläckaget, och inte för att antalet avbrott är för många eller ledningssträckans livslängd är bedömd att vara till ända. För att minska utläckagenivåer måste förnyelsen vara både riktad och omfattande för att uppnå önskad effekt. Eftersom man inte alltid vet exakt var utläckaget inträffar i ledningsnätet måste man ersätta många meter ledning för att minska vattenförlusten. Det är ofta inte lönsamt, men för att bedöma det kan man göra så här:

- Tänk på vilka ledningar/områden som utläckaget kan tänkas komma ifrån (t.ex. om ett rör av grått gjutjärn läcker mycket).
- Beräkna hur många meter som ska bytas ut (t.ex. hur mycket måste bytas ut för att hålla ledningen i ett acceptabelt tillstånd) eller för att minska utläckaget.
- Beräkna kapitalkostnaden per år för varje mätare.
- Data anges i fliken "Tidigarelagd förnyelse" och sammanfattas i fliken C, "Kostnader" i SELL-arket. I SELL-arket finns en separat beräkningsknapp för detta.
- Om man planerar att förnya en ledning för att minska utläckagemängden men avbryter detta (dvs. reducerar förnyelsetakten), kan en minuspost inkluderas i beräkningarna.

5.4 Samhällskostnader för att leta efter utläckage/förbättra nätet

5.4.1 Klimateffekter

Att aktivt söka efter utläckage kommer göra att man hittar fler läckor som behöver repareras. Detta leder till ökade koldioxidutsläpp. Under ersättningsarbete och reparationer föreslår Ofwat (2008) att använda miljöpriset baserat på koldioxidutsläpp från bränsle. Sverige har dock en koldioxidskatt som är högre än de samhällskostnader för koldioxidutsläpp som funnits i litteraturen, vilket medför att i beräkningen av SELL kan miljökostnaden för koldioxidutsläpp antas vara inkluderade i skatter och därmed redan är en del av de direkta kostnaderna. Denna post är därför inte inkluderad i SELL-arket.

5.4.2 Hälsorisk vid reparation av ledning

Hur stora hälsoriskerna är beror på hur rörbrott/utläckage uppstår samt hur lagningen genomförs. Hälsorisen är större om det är nödvändigt att kapa befintliga rör och ersätta med ett nytt rör. Då måste trycket sänkas helt och röret är öppet under reparationen vilket medför att risken är stor att något kommer in i röret vid reparationen. Risken för att något kommer in är däremot mycket liten i de fall när ledningens insida inte blottas och trycket kan upprätthållas medan ledningen repareras, t.ex. med en repara-

tionsmuff runt den befintliga rörledningen (Malm et al., 2015b). Ju bättre rutiner man har för reparationsarbetet desto mindre är risken. De flesta svenska kommuner har ingen egen bedömning av hälsorisken, och resultaten från Säve-Söderbergh et al. (2007) har därför använts i kalkylbladet.

5.4.3 Goodwill - "inget slöseri"

Goodwill är svår att bedöma och det är svårt att veta vilken effekt som insatserna har på både lång och kort sikt. Det finns inte heller studier att förlita sig till. De faktorer som påverkar värdet på "Goodwill" är:

- Ett ur samhället förklaringsbart värde på vattenförlusterna ger Goodwill, förslagsvis kan Goodwill tillgodoräknas om förlusterna är mindre än 10 %.
- Ett högt förtroende för VA-verksamheten i stort innebär att man har Goodwill. Hållbarhetsindex för 2018 visar att bland de 161 kommuner som besvarat undersökningen har ca 90 % av befolkningen stort förtroende för kommunens VA-verksamhet (Svenskt Vatten, 2018).
- En låg vattenförlust ger de anställda ökad stolthet. Det är roligare att arbeta när man ser resultat av sitt arbete när det gäller att minska vattenförlusten. Om personer blir mer nöjda till följd av att de är en mer positiv atmosfär på jobbet, har det i sig fördelar och ökar arbetsplatsens attraktivitet, vilket också är en del av Goodwill.
- Leveranssäkerheten. Med minimalt antal oplanerade leveransavbrott på grund av akuta rörbrott blir Goodwillen högre.

I kalkylbladet har ett värde på Goodwill inkluderats, men det är upp till varje VA-verksamhet att värdera. Observera att Goodwill ger en negativ kostnad.

5.4.4 Innovation och tillväxt

Användningen av smart vattenteknik har högsta möjliga potential för och stora möjligheter till att bidra till samhällsförbättringar (GWI, 2017a). I denna studie föreslås att innovationspotentialen handlar om 5–10 % av kostnaden för att installera smart teknik. Observera att Innovation och tillväxt ger en negativ kostnad.

5.4.5 Robusthet

Aktiv läcksökning ger en bra översikt över ledningssystemet och låga utläckagenivåer ger säkerhet för de anställda. Säkerhet innebär att operatörerna inte behöver oroa sig och mindre arbetstid används för att beskriva och förklara utläckage och uteblivna resultat. Vilket i ett senare skede minskar stressnivåerna. Observera att Robusthet ger en negativ kostnad.

5.4.6 Störningar för invånare och trafik under utförande/konvertering

Om vattenförluster minskas med en ökad förnyelsetakt ger det färre reparationer eftersom flera ledningar är nya. Den sociala kostnaden för att söka utläckage ger inte så stor påverkan (4.2.3) och på samma vis ger varje reparation inte så stor samhällspåverkan. Detta gör att den totala kostnaden blir liten. Denna post är satt till noll i SELL-arket.

5.5 Osäkerhetsberäkningar

Det finns en viss osäkerhet gällande beräkningarna för en hållbar nivå på vattenförluster. Osäkerhetsberäkningar kan utföras på olika sätt och förklarad metodik för osäkerhet finns nedan:

- Olika scenarier kan användas för att beskriva osäkerheten kring vissa parametrar som användas i *kalkylblad 2 – SELL*. Beskrivs i kapitel 5.5.1.
- En avancerad metod för osäkerhet finns tillgänglig för de VA-verksamheter som vill utföra mer avancerade osäkerhetsanalyser och beskrivs i kapitel 5.5.2. Denna metod använder avancerade tilläggsmoduler som finns tillgängliga via Excel.

5.5.1 Scenario för enskilda parametrar

Ett sätt att beräkna osäkerheten i beräkningarna är att analysera olika scenarier med olika värden på ingångsdata. De värden som är osäkra eller de som man vill testa effekten av kan varieras systematiskt. För *Kalkylblad 2 – SELL* finns dock inga celler att fylla i osäkerhet. Scenarios får göras genom att kopiera *Kalkylblad 2 – SELL* och använda en fil för varje scenario. I en simulering läggs minimivärdena till och i en andra beräkning läggs de maximala värdena till. Ofta sammanfaller inte min och max och det bör därför beaktas vid inmatning av värden och/eller när man gör sin analys.

5.5.2 Avancerad metodik för osäkerhetsanalys

En mer avancerad metodik för att beräkna osäkerheten är att ange en osäkerhetsfördelning som är associerad till varje ingångsparameter. En sådan osäkerhetsfördelning kan exempelvis vara en normalfördelning. Med hjälp av Monte Carlo-simulering kan man sedan beräkna den totala osäkerheten. Det finns programvara för att utföra sådana simuleringar, som till exempel Crystal Ball i Excel (Oracle Corporation).

I en Monte Carlo-simulering utförs ett stort antal simuleringar. Vid varje simulering extraherar programmet slumpmässigt värden från den individuella fördelningskurvan i ingångsdata. Vanligtvis ställer man in programmet så att det görs 10 000 simuleringar och baserat på resultaten från de olika simuleringarna kan den totala osäkerheten beräknas.

En känslighetsanalys kan utföras genom att beräkna osäkerhetsbidraget från varje ingångsparameter till den totala osäkerheten (variansen) av resultatet. När den används på detta sätt identifierar känslighetsanalysen vilka parametrar som påverkar den övergripande osäkerheten mest. Insatserna bör därefter inriktas på att minska osäkerheten i dessa parametrar för att förbättra tillförlitligheten.

De kalkylblad som utvecklats i projektet inkluderar inte Monte Carlo-simulering eftersom det inte ingår i Excels standardutbud. Sådana beräkningar kan ändå utföras på eget initiativ med utgångspunkt i de arbetsblad som utarbetats i projektet. I Göteborg har en sådan avancerad metod använts, se mer i kapitel 3.2.1.

6 Hur kommer man igång med arbetet?

6.1 Börja med vattenbalansen

Erfarenheter från norska VA-verksamheter som har infört utläckagezoner samt Göteborgsanalyserna visade att utläckagezoner är en effektiv åtgärd och ger också medarbetarna en ökad motivation för att söka efter utläckage. Om man vet att man har en läcka så hittar man den också. Det blir svårt att hitta läckor om man inte har utläckagezoner och letar efter läckorna planlöst.

Det är också viktigt att beräkna osäkerheten i volym (m^3) så att man fokuserar på rätt saker. De tre faktorer som spelar mest roll för resultatet i beräkningen av vattenförluster bedöms vara följande:

- Osäkerheter i debiterad förbrukning när avläsning sker en gång per år av kunden. Det kan göra stor skillnad i volymen om schablonerna är fel, och vid fastighetsägarbyte. Smarta vattenmätare kommer minska dessa fel betydligt.
- Osäkerheter i egenförbrukning påverkar nivån på förlusterna, men man kommer långt med att använda schabloner om man inte har data.
- Det är huvudvattenmätaren från vattenreningsverket som har det största vattenflödet. Osäkerheter i utlevererad volym från vattenverk/grundvattenbrunnar ger stor påverkan. Kalibrering av vattenmätare är väl investerade medel.

6.2 Metoder för att hitta vattenläckor

Svenskt Vatten har i *Publikationen P107* beskrivit olika metoder för utläckagesökning samt givit rekommendationer för hur man arbetar med utläckagesökning av vattenledningar. Publikationen ger en sammanfattning om den övergripande kunskapen som berör utläckagesökning inklusive internationella standarder och metoder. I publikationen (figur 6.1) ingår:

- Hur man får kontroll på sitt utläckage, vattenbalans inkl. att tänka på kring egen förbrukning samt oundvikligt utläckage (UARL)
- Vad påverkar utläckaget
- Planering inför läcksökning
- Sökmetoder
- Lokaliseringsmetoder
- Ledningslokalisering

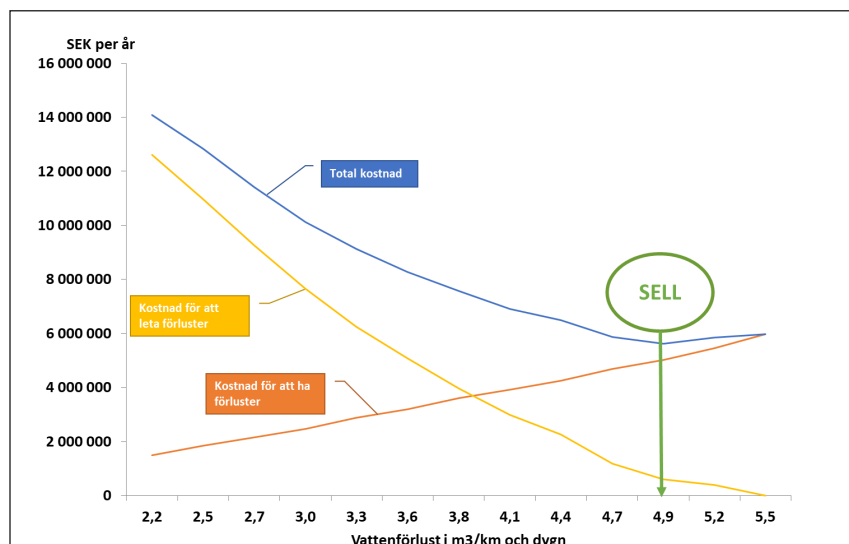
6.3 Hur påverkar utvecklingen av ny teknik mängden utläckage?

Det finns alltid en kontinuerlig utveckling av nya metoder och tekniker för att minska mängden utläckage. Under de kommande åren kommer ny teknik att utvecklas, till exempel som en följd av en ökad digitaliseringen av vattenindustrin. Detta kommer påverka det som för närvarande anses



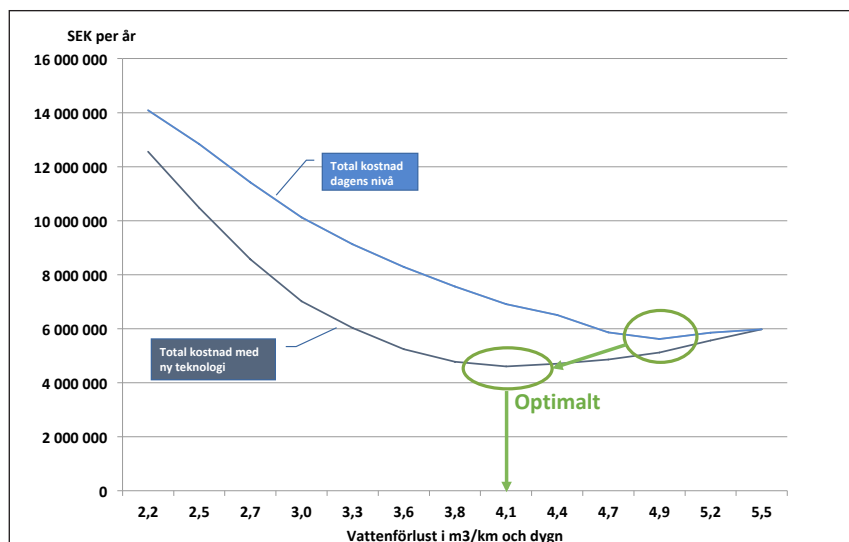
Figur 6.1
Publikationen för läcksökning

vara den ekonomiskt optimala vattenförlustnivån och/eller den optimala hållbara vattenförlustnivån. Följaktligen kommer det som nu anses vara den optimala hållbara vattenförlustnivån för en VA-verksamhet att förändras över tid som ett resultat av bättre och billigare metoder. Det betyder att det optimala området för SELL i figur 6.2 kommer att flyttas till vänster, se figur 6.3. En annan fördel med mer teknik är att vattenförlustarbetet blir mindre personberoende.



Figur 6.2 Exempel på att bestämma den hållbara nivån av vattenläckor

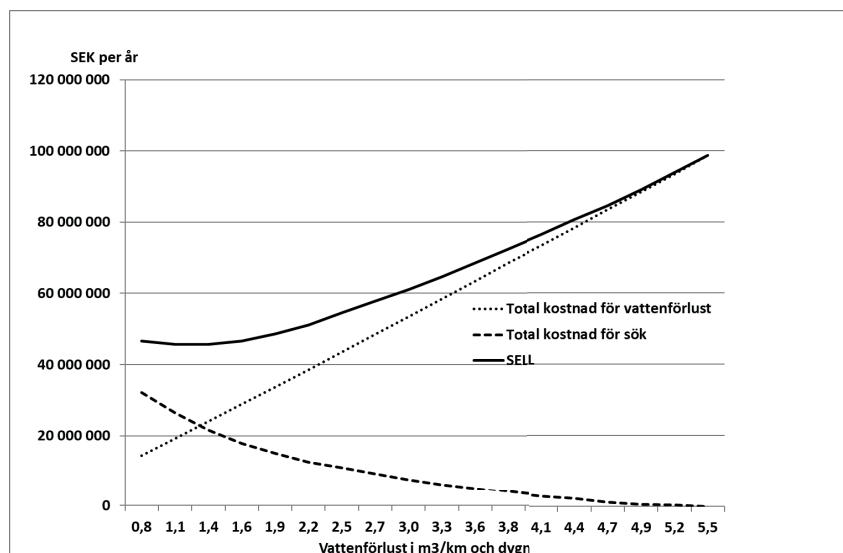
Figur 6.3 visar två olika värden på SELL. För dagens nivå är det värt att leta efter utläckage ner till 4,9 m³ / km och dygn. I det andra exemplet har nyttan blivit 50 % högre till följd av ny teknik som finner utläckage 50 %



Figur 6.3 Bilden visar hur teknologitvecklingen har påverkat den hållbara vattenförlustnivån SELL

lättare än tidigare. Detta gör det lönsamt att leta efter vattenförlust ner till $4,1 \text{ m}^3 / \text{km}$ och dygn.

En annan faktor som påverkar SELL mycket är priset på vatten. I ett exempel i figur 6.4 visas att med nuvarande vattenpris beräknat som den genomsnittliga årliga avgiften för alla svenska kommuner för 2018, 7 291 kr/år inkl moms, (Svenskt Vatten, 2018) och med en konsumtion på $150 \text{ m}^3/\text{år}$ blir det lönsamt att minska vattenförlusterna ner till nära $1 \text{ m}^3 / \text{km}$ och dygn.



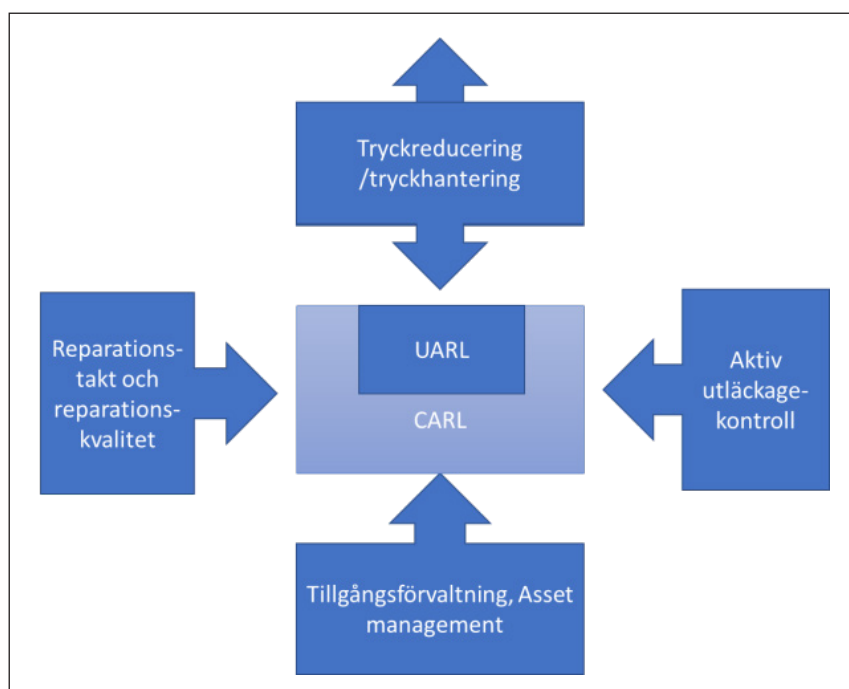
Figur 6.4 Vattenförlust vid annat vattenpris, 48 kr per m^3 , motsvarande genomsnittliga årliga avgiften i Sverige 2018.

Teknikutveckling kommer att påverka kostnaderna för utläckage och även kostnaden för att minska utläckagen. Utvecklingen av förbättrad vattenbehandling och desinfektion på norska vattenverk under de senaste 10–20 åren har ökat värdet av det förlorade vattnet om man jämför med tidigare vattenbehandling utan tillräckliga hygieniska barriärer. I detta projekt fokuserar vi på utläckagereduktion och därför beskrivs effekten av ny teknik och metoder för att minska utläckagen.

Utveckling av ny teknik och metoder för att minska vattenförlusterna kan delas in i fyra huvudkategorier som är kopplade till funktionen på åtgärden, se figur 6.5 nedan):

- Reparationstakt och reparationskvalitet
- Tryckreducering /tryckhantering
- Aktiv utläckagekontroll
- Tillgångsförvaltning, med rätt underhåll och förnyelsetakt, Asset management

Hur snabbt ett utläckage detekteras, lokaliseras och repareras påverkar hur mycket vatten som spolas ut. Även en liten läcka som läcker över en lång tid representerar en stor vattenförlust. Det är därför viktigt att: a) identifiera läckor så snabbt som möjligt, b) hitta vilka ledningar eller komponenter som läcker, och c) reparera läckan så bra och snabbt som möjligt. För var och en av dessa faser finns kontinuerlig teknikutveckling.

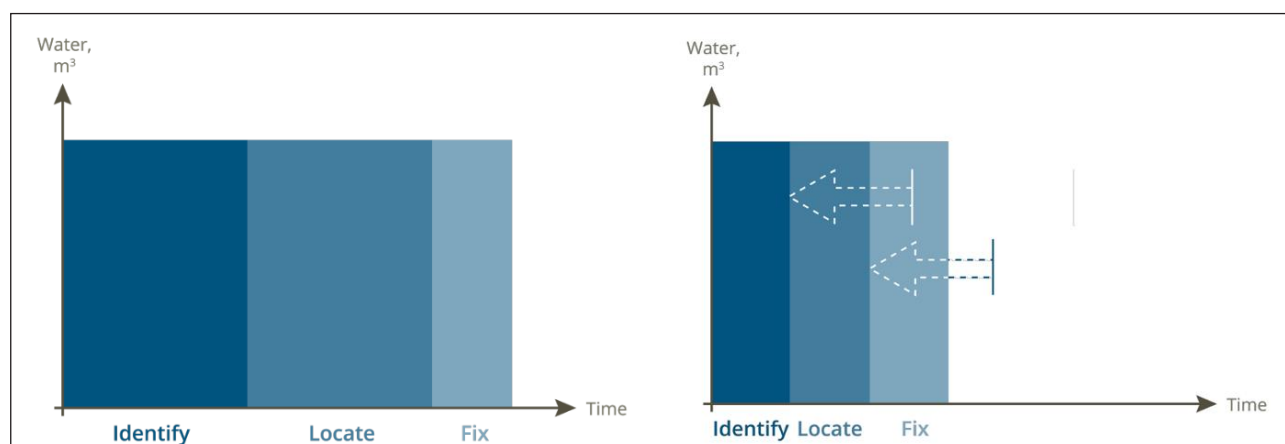


Figur 6.5 Grundläggande metoder för att reducera vattenförlusten (Farley og Throw, 2003 i Bosnjakovic, 2017).

Tryckreducering ger stor effekt på vattenförlusterna. Smart teknik, som tryckreducering som kan reducera trycket på natten och distriktsmätning underlättar sänkning av tryck. En inte så avancerad teknik, men väl effektiv, är helt enkelt att sänka trycket strukturerat, lite i taget, tills det inkommer klagomål.

Aktiv utläckagekontroll beskrivs i exemplen nedan. Rätt förnyelse och underhåll av nätet är viktigt ur ett långsiktigt perspektiv, men kräver stora eller precisa insatser för omedelbar effekt, se även kap 3.2.1.

Figur 6.6 illustrerar hur vattenförlusten vid utläckage kan reduceras genom att identifiera och lokalisera utläckageplatsen snabbare. Distriktsmätning (DMA) underlättar denna process.



Figur 6.6 Åtgärder för att minska vattenförlust genom att identifiera och laga läckor snabbare ger stor effekt.

Det har inte ingått i projektet att studera nya möjligheter i utvecklingen av ny teknik och metoder. För att ge en överblick har vi valt att beskriva hur vissa kommuner arbetar för att minska vattenförlusten.

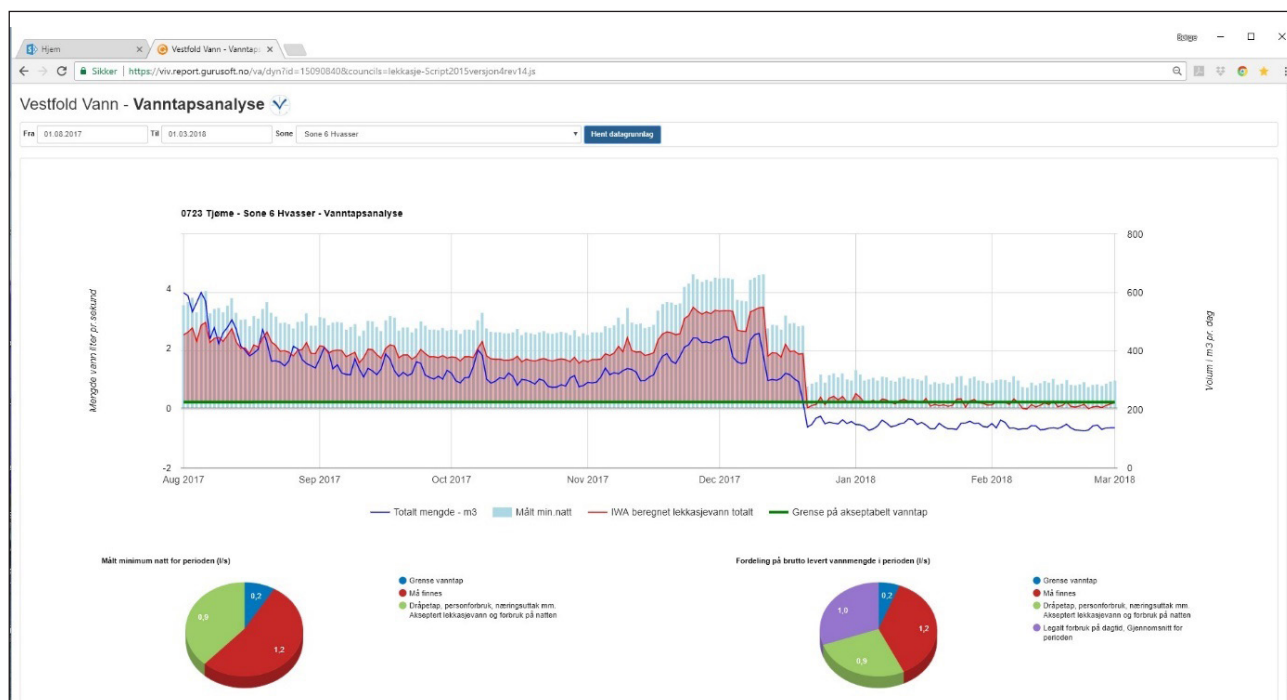
6.4 Utvalda exempel och initiativ

6.4.1 Exempel från Vestfold Water IKS

Vestfold Vann IKS har använt IWA:s metodik, minsta nattförbrukningsmetoden, för flera av sina ingående kommuner i flera år. Metoden gör det möjligt för utläckageavdelningen att identifiera de kommuner eller zoner med högst vattenförluster, vilket i sin tur gör det möjligt för avdelningen att prioritera utläckageinsatserna så effektivt som möjligt.

Tillsammans med datapresentation och övervakning i Scada-system skickas nyckeltal från alla vattenmätare och vattenzoner till ett rapporterings-system som tillhandahålls av Gurusoft VA Rapport. Både volymvärden och minsta uppmätta nattflöden presenteras i ett antal rapporter för varje kommun och för varje vattenzon varje dygn. Därefter beräknas vattenförlustnivån med hjälp av IWA:s metodik "Bottom-up-Minimum-Night-Use Method" (BOMNF). En webbaserad metod för grafisk presentation av samma data har också utvecklats.

Figur 6.7 visar en vattenzon från Færder kommun i Norge (tidigare Tjøme kommun) med relevant data för att identifiera vattenförlustnivån. Varje punkt och varje post representerar dygnsvärde. Röd zon representerar vattenförlustnivån som måste nås för att komma ner till en acceptabel vattenutläckagenivå på 20 % per dygn.

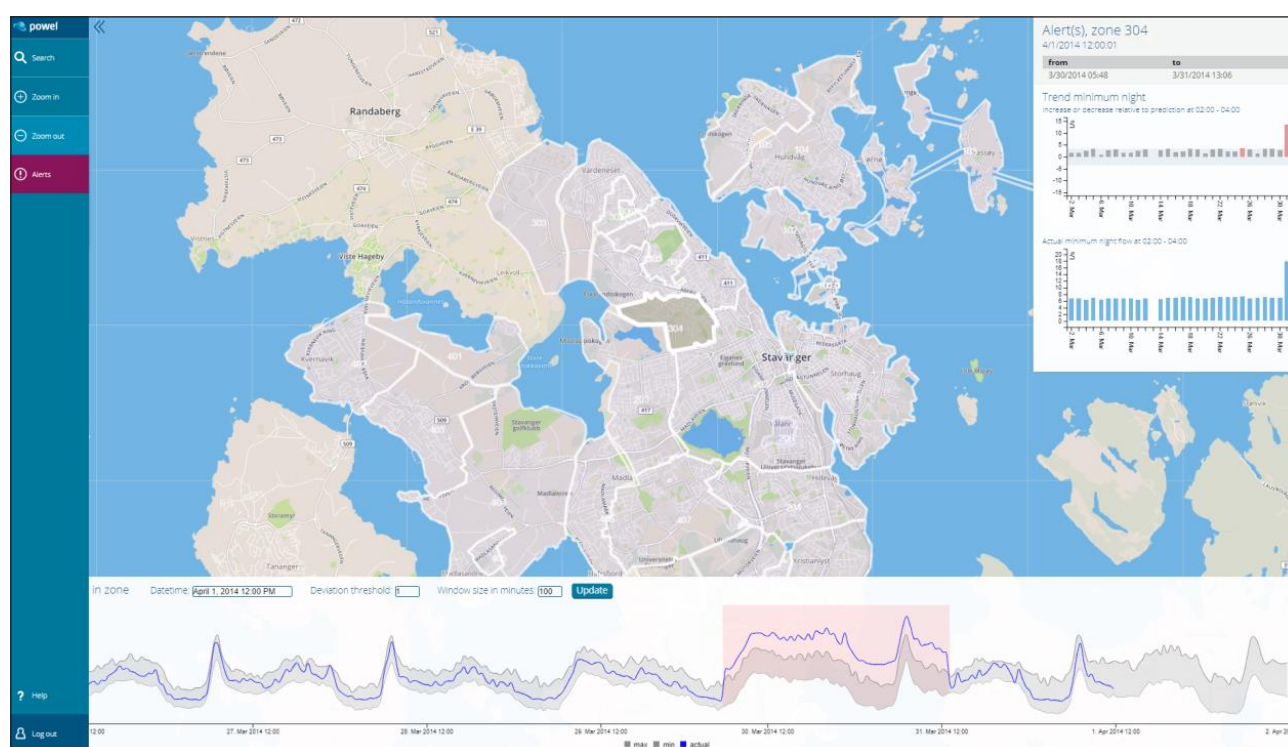


Figur 6.7 Presentation av vattenzonsmätning i en norsk kommun.

Efter att ha hittat två läckor på en sjöledning och reparerat dem uppnåddes en acceptabel vattenutläckagenivå. När den accepterade nivån är uppnådd för en vattenzon, förblir utläckaget på denna låga nivå. Vestfold vatten ser att denna form av grafiskpresentation kan användas som instrumentbräda. Då den på ett lätt och tydligt sätt visualiserar medlemskommunernas driftavdelningar med en rullande presentation av relevanta vattenzoner. Detta kommer göra att varje kommun kommer kunna få en uppdaterad presentation av vattenförlustnivån i sitt vattendistrikt.

6.4.2 Exempel från Stavanger kommun

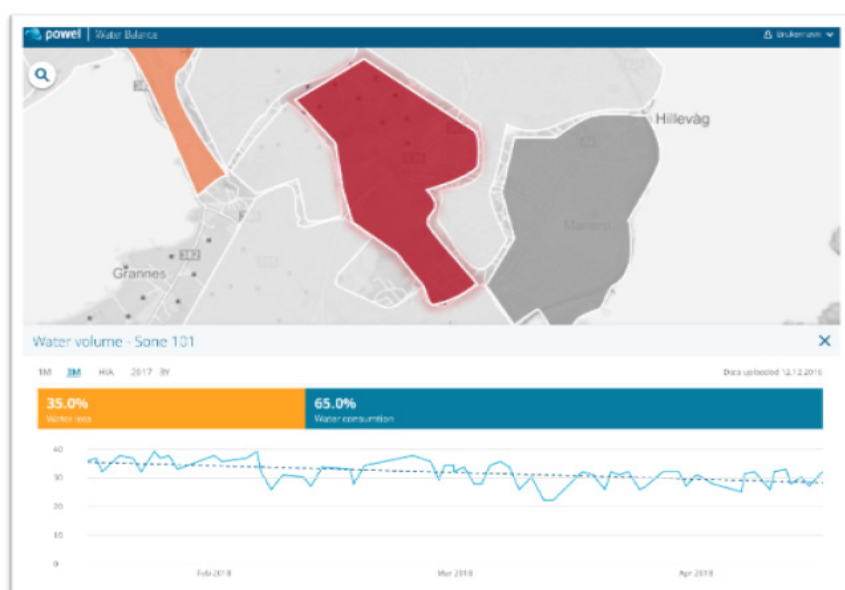
Det finns redan metoder för att snabbt identifiera utläckage. Stora utläckage detekteras med hjälp av ett SCADA-system eller via systematiska nattförbrukningsanalyser. Nattförbrukningsanalyser sker varje natt kl. 02–04 i en zon för att identifiera de mindre läckorna. En metod som testas i Stavanger kommun är lösningen Water Alert (Powel, 2018), som bygger på avancerad analys (maskininlärning) av utläckagevattenmätar-data (tillgänglig via SCADA) som detekterar utläckage snabbare. För varje utläckagezon beräknas den förväntade vattenförbrukningen under dygnets alla timmar baserat på maskininlärning. Om vattenförbrukning i en zon registreras utanför det normala definieras det som ett eventuellt utläckage. Liknande analyser görs också för nattkonsumtion där man kan hitta de mindre läckorna. Figur 6.8 är en skärmdump av lösningen som används i Stavanger.



Figur 6.8 Analys av zonzvattenmätare med maskininlärning för snabbare identifiering av vattenläckor (Stavanger kommun).

För att kunna jobba med utläckagesökning på effektivt sätt är det viktigt att ha en holistisk syn över dagens distributionssituation. Ett sätt att få

denna överblick är att använda vattenbalansen för just den delen av vattensystemet som man vill studera närmre. En grund för att kunna utveckla dessa delar är att dela in systemet i olika försörjningsdistrikt och vattenzoner. När det är gjort kan vattenbalansen beräknas för varje zon och för hela systemet. Figur 6.9 nedan är en bild över en prototyp som används i Stavanger för att följa upp vattenbalansen baserat på IWA:s vattenbalansmodell. Data till prototypen är tagen direkt från SCADA. Denna typen av lösning visualiserar vattenbalansen med hjälp av en karta samt att man får ut ett eller flera värden för olika viktiga parametrar i vattenbalansen. Detta gör att Stavangers lösning är beroende av en indata som håller en hög kvalitet. Ett sätt att säkra att data håller en hög kvalitet är att använda en stor mängd indata. Data kan matas in antingen manuellt eller via SCADAs realtidsdata. Lösningen är ett bra underlag för strategiska beslut samt för att effektivt kunna arbeta med utläckage.

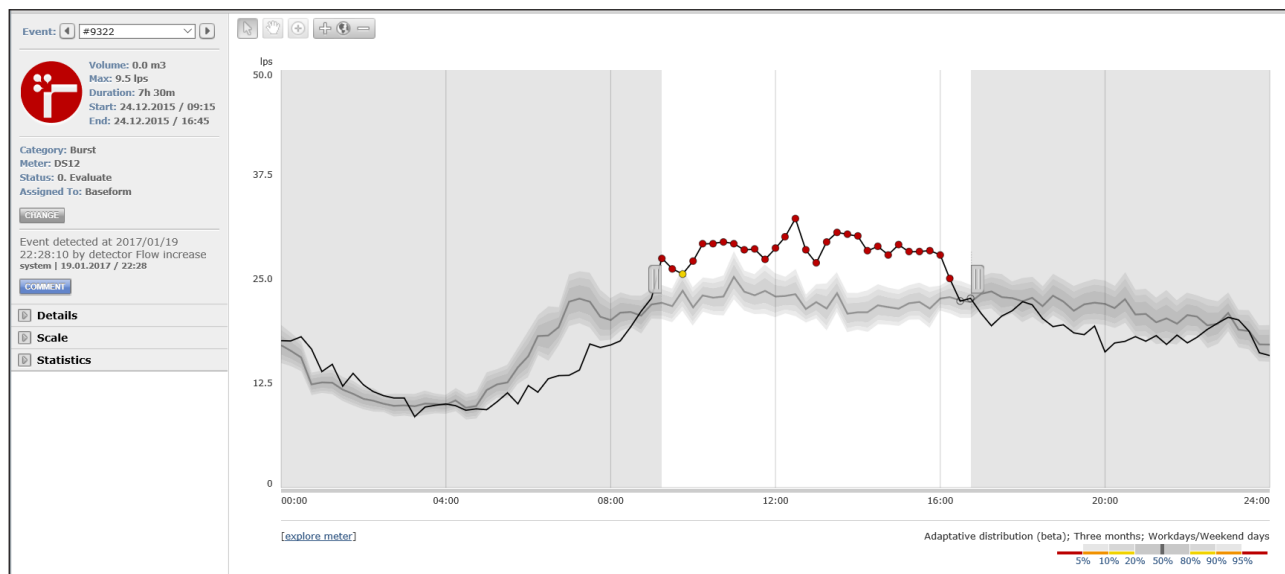


Figur 6.9 Prototyp som används i Stavanger för att följa upp vattenbalansen baserat på IWA:s vattenbalansmodell.

6.4.3 Andra lösningar och initiativ för identifiering av vattenläckor

Godt Vann Drammensregionen (GVD) har testat en liknande lösning för några av sina zoner (www.baseform.com). Figur 6.10 visar ett identifierat potentiellt utläckage där de röda prickarna representerar en period av mer vatten än vad som är normalt i denna zon under den specifika tidsperioden. Området mellan de röda prickarna och de förväntade värdena (den grå linjen) representerar den förlorade vattenvolymen. Den specifika händelsen inträffade på julaftonsmorgon och vattenförbrukningen är då högre än den borde ha varit om det varit en vanlig vardag. Modellen tror att detta är en vattenläcka, men vattenförbrukningen vid jul i norska hem är inte som en vanlig dag. Detta beror på att konsumtionen av vatten är hög då behovet av att duscha och laga mat på morgonen är högre än normalt. Detta är en händelse som är OK och representerar inte en vattenläcka. Normalvattenkonsumtion under allmänna helgdagar kan sättas in i model-

len så att modellen inte meddelar detta som en vattenläcka när det inte är fallet (dvs. minska förekomsten av falska larm).



Figur 6.10 Teknik som automatiskt identifierar eventuella vattenutläckage (www.baseform.com).

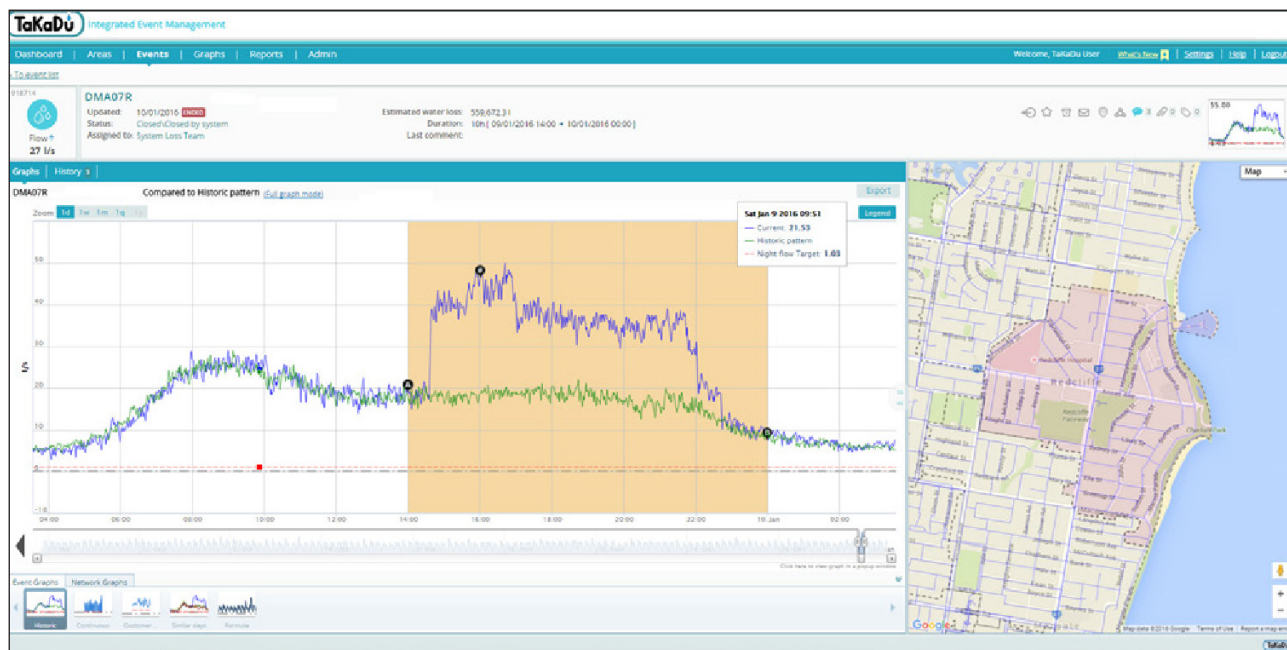
Figur 6.11 visar en annan liknande lösning som heter TaKaDu (www.takadu.com). TaKaDu används internationellt av vissa vattenverksamheter. Denna lösning är mer omfattande och kan identifiera en större mängd problem kopplade till specifika händelser eller fel. Exempel på fel som detta verktyg kan identifiera är fel i tryckreducerande ventiler (PRV), kommunikationsproblematik, fel vid mätningen av förbrukningsmängden hos stora konsumenter/industrier etc. Verktöget kan sedan beräkna varaktigheten och omfattningen av varje händelse. Omfattningen av verktyget gör dock att det bara är aktuellt för större VA-verksamheter som har ett ledningsnät på över 1 000 km ledning. TaKaDu kan också integreras tillsammans med andra verktyg som det geografiska informationssystemet GIS, system för arbetsorderna eller observationer kopplade till drifhändelser.

I Baseforms (figur 6.10) och TaKaDus lösningar (Figur 6.11) är det endast data från SCADA-system som analyseras. Water Alerts lösning har även möjlighet att använda kundförfrågningar och data från nya sensorer som ytterligare förklarande variabler.

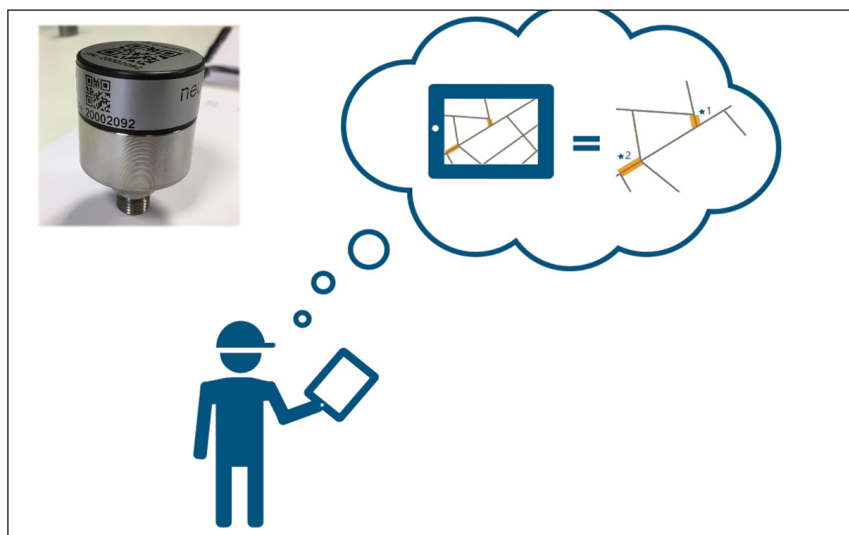
Figur 6.12 illustrerar en trycksensor som är baserad på IoT (Internet of Things) teknologi. Dessa trycksensorer kan enkelt placeras ut på lämpliga platser i vattenledningsnätet.

Sådana sensorer och produkter finns och många är på väg in på marknaden. Olika former för kommunikation från sensorn är möjliga t.ex. NB-IoT, LoRaWAN och Sigfox.

I teorin är exempelvis NB-IoT-tekniken särskilt lämpad för begrävd infrastruktur, såsom vattenledningsnät. Detta öppnar upp för möjligheter att implementera helt nya lösningar och tjänster tack vare en mer uppkopplad framtid. I Sverige är NB-IoT endast i testningsfasen (Telia, 2018).

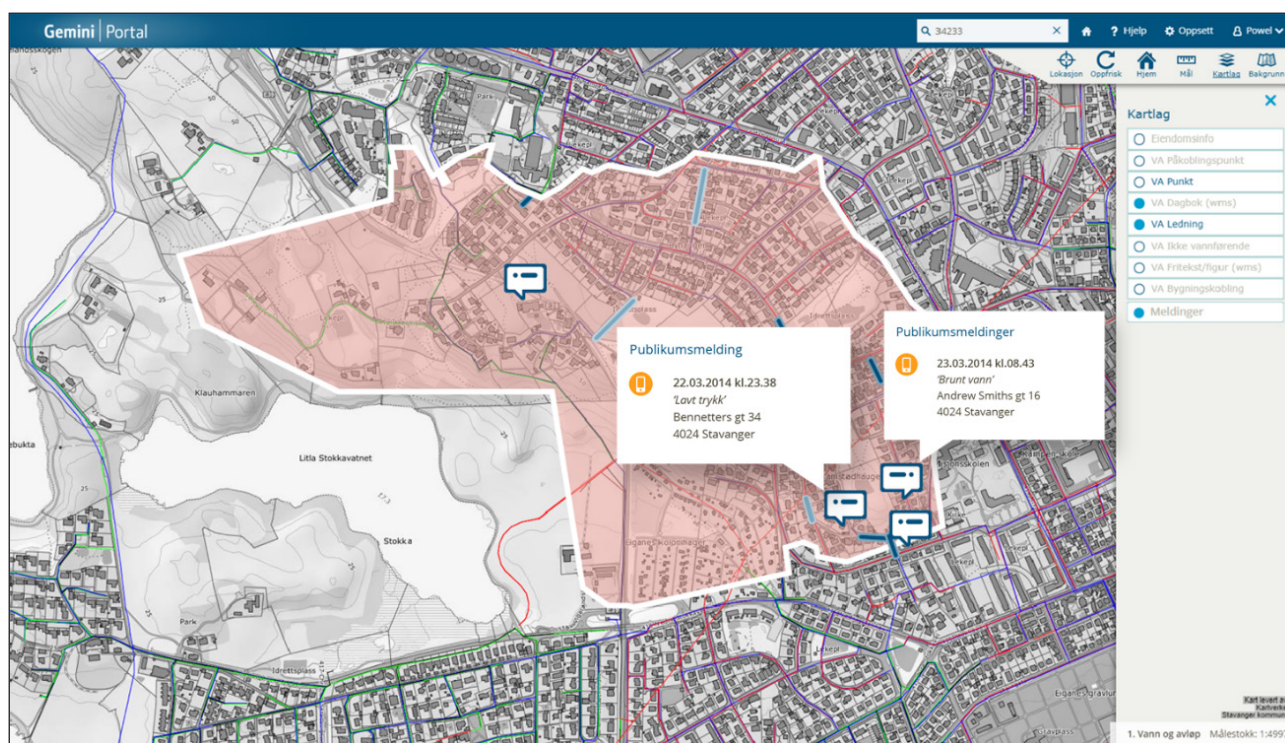


Figur 6.11 Exempel på en lösning som hittar möjliga vattenutläckage (www.takadu.com).



Figur 6.12 IoT-sensorer som mäter tryck kan ge information som hjälper till när utläckage letas på ledningsnätet.

Baserat på sådana modeller som visas i figurerna 6.9 till 6.11, identifieras vilka zoner som kan ha vattenläckor. Frågan är om det finns nya metoder som även kan peka ut vilka ledningar i zonen som ligger till grund för utläckaget. Dagens metoder för att hitta vattenutläckage är antingen grovsökning eller finsökning och kan göras med hjälp akustiskutrusning. Det finns framtida möjligheter att använda nya generationer av IoT-sensorer för att registrera tryck (se figur 6.12) och avancerade utskriftsmetoder baserade på webbmodeller (WDnetXL eller motsvarande) för att identifiera vilka ledningar som läcker. Detta kan också kombineras med återkoppling av kunder (se figur 6.13).



Figur 6.13 Offentliga meddelanden kombinerat med tryckmätningar på ledningsnätet för att lokalisera utläckaget i zonen.

Smarta vattenmätare som också mäter tryck kommer i praktiken att vara en IoT-sensor. Om tidsupplösningen är tillräckligt bra kan information från sådana mätare också användas för att hitta läckor snabbare. Flera svenska kommuner installerar nu smarta vattenmätare, som exempelvis Kalmar, Vindeln och Västerås.

Utvecklingen av dagens smarta vattenmätare går ständigt framåt och de blir bättre på att hantera olika typer av kommunikationsmöjligheter samt att de kan knyta till sig nya funktioner. Exempel på nya funktioner som blivit implementerade är flödesmätare och mätare för att mäta parametrar som kan säga hur bra vattnets kvalitet är. En sak som är viktigt att tänka på när man installerar smarta vattenmätare är att se till att data är säkra och på så vis även försäkra sig om att det är VA-verksamheten som har äganderätt över all data som kommer in. Om VA-verksamheten låter leverantören av vattenmätaren äga all data så riskerar de även att behöva betala två gånger för att få tillgång till den.

Förutom att man vill undvika dubbel debitering så är det som VA-verksamhet viktigt att ta hänsyn till persondata enligt GDPR. Ju finare upplösning det är på data desto mer går det att säga om enskilda individer och detta måste man ta hänsyn till vid planering. Detta görs bäst genom att utföra riskanalyser för systemet så att man kan försäkra sig om att data-säkerheten inte försämras.

Figur 6.14 visar en dansk lösning där de endast använder smarta vattenmätare för att söka efter utläckage. De kan identifiera utläckage genom att jämföra vattenflödet i varje zon (timvärdet) med den totalt summerade vattenförbrukningen i samma zon under den timmen. Jämförelsen skapar möjlighet att identifiera avvikelser i realtid. Denna metoden kan användas

som ett alternativ metod för maskininlärningsmetoder som baserar sin data direkt på SCADA-data.



Figur 6.14 En skärmbild av en lösning som identifierar vattenutläckage baserat på en samanställning av data från smarta vattenmätare i Kastrup. (www.Kamstrup.com)

6.4.4 Användning av kundmeddelanden som informationskälla för utläckage

Om man har uppdaterad information från invånarna kan det också användas för att identifiera områden där vattenutläckage kan ha inträffat genom att invånare får klargöra/bekräfta. Invånarna är i praktiken levande sensorer som är utspridda över hela nätet. De rapporterar dåligt tryck, färg på vattnet etc. i nära realtid genom olika kundinriktade system och använder gärna smarttelefoner och surfplattor. Detta visas i figur 6.15.

Detta är data som ska vara tillgänglig i VA-verksamhetens driftsystem för att kunna identifiera om det finns ett utläckage eller inte.

I det nyligen avslutade EU-projektet SW4EU (www.sw4eu.com) har man för fyra olika vattenorganisationer (England, Nederländerna, Spanien och Frankrike) identifierat olika system för att hitta vattenutläckage. En erfarenhet från projektet är att det krävs mycket arbete för att sortera data för analys innan man kan använda mer avancerade analyser och ny teknik. Vidare bör det påpekas att det finns flera automatiserade lösningar för detektering och lokalisering av vattenläckor, men det finns utmaningar

relaterade till robusthet på förutsägningsnivån. Man vill identifiera så många läckor som möjligt och så få falska larm som möjligt. Det är svårt att veta exakt var i nätet vattenförsörjningsstörningen inträffar baserat på SCADA-data. Den huvudsakliga slutsatsen från projektet (GWI, 2017b) är att det fortfarande behövs en IT-plattform som hanterar alla typer av data (SCADA, sensorer, kundmeddelanden, smarta vattenmätare etc.) på ledningar på ett flexibelt och säkert sätt.



Figur 6.15 *Inwånarna/konsumenterna är spridda över hela distributionsnätet och kan bidra med data genom rapportering av kundmeddelanden som nästintill ges i realtid.*

I de flesta VA-verksamheter har personalen som har hand om driften god kunskap om vad som är den normala vattenförbrukningen i en zon. Förbrukningen påverkas av flera faktorer t.ex. av veckodag, tid på dygnet, väderförhållande och vilken zon som studeras. Om man utnyttjar den kunskapen som driftpersonalen besitter och kombinerar den med data från SCADA kan man sätta upp tydliga larmgränser som gör det ännu lättare att identifiera utläckage i ett visst område. Om det finns tillgång till realtidsdata från smarta vattenmätare så kan detta också förbättra utläckagesökningen.

För att identifiera hur och om ett utläckage har uppstått så kan olika ljuddetektorsutrustningar användas, man kan studera drifthistork, studera tryckdata från nätet, kartlägga vilka ledningar som historiskt har haft många utläckage eller använd hydrauliska ledningsmodeller där sannolikheten för att ett utläckage uppstår simuleras.

Väderförhållanden kan också användas för att identifiera potentiella utläckage. Under torkan år 2018 kunde man med hjälp av satellitbilder identifiera områden som fortfarande hade hög markfuktighet trots att det inte har regnat. Hög markfuktighet var ett tecken på potentiellt utläckage. Kundrapporteringssystemet, sociala medier eller dagstidningar kan också användas för att identifiera områden med utläckage.

Att förnya ledningssystemet är dyrt och det är därför viktigt att de rör med högst förnyelsebehov byts ut först. Stockholm Vatten och Avfall (Rehn och Giertz, 2019) har precis börjat testa ett nytt utvecklingsprojekt

baserat på ett examensarbete utförd vid KTH, se figur 6.16. Examensarbetet studerar hur Artificiella neurala nätverk (ANN) kan användas för att identifiera vilka ledningar som bör bytas ut först. I en sådan modell upprättas sambanden mellan olika ostrukturerade data såsom t.ex. rörlängd, flödeshastighet, ledningsmaterial, ledningens ålder, ledningens diameter och ledningens anslutning. Detta används sedan för att identifiera i vilken utsträckning röret behöver förnyas.



Figur 6.16 En del av resultatet av det artificiella neurala nätverk (ANN) som har använts för att visa på vilken ledning som ska bytas ut först.

7 Slutsatser och rekommendationer

Grunden i arbetet med vattenförluster är en god kontroll av den egna vattenbalansen. Användningen av kalkylbladen i denna rapport hjälper VA-verksamheter /kommuner att få mer inblick i sin vattenförlust (kalkylblad 1). Se till att ha koll på osäkerheter och börja med att försöka minska de osäkerheterna som ger mest påverkan på resultatet (störst volym).

Vid bedömning av vattenförlust är slutsatsen att vattenförlust mätt som m^3/km och dygn är en mycket bättre indikator än att ange samma förlust i procent. För jämförelse inom den egna verksamheten kan procent användas, men aldrig för att jämföra med andra, eftersom ledningssystemets storlek och struktur varierar.

När kalkylbladet för att beräkna SELL (kalkylblad 2) används får VA-verksamheten en översikt över hur de bäst kan arbeta för att minska vattenförlusten. Varje kommun måste hitta sin egen acceptabla vattenförlustnivå (one size does not fit all!). Om analysen visar att en VA-verksamhet inte har något behov att reducera vattenförlusten ytterligare, behöver det inte betyda att de ska vara passiva i sin utläckagereducering. Det kan fortfarande betyda att det är mer ekonomiskt försvarbart att börja reducera sina vattenförluster idag så att de på sikt kan uppfylla hållbarhetsmålen när ny teknik gör det billigare och enklare att minska förlusterna. VA-verksamheter kan börja med att beräkna sin ekonomiska vattenförlust (ELL) innan man går över för att beräkna SELL.

Att få rätt bedömning av vattenförlusterna på nationell basis ger underlag för korrekt data vid kommunikation med t.ex. media, internationella kontakter och myndigheter. Om vi på nationell basis har fel värden på vattenförlusterna kan det innebära att fel åtgärder kommuniceras. Det är viktigt att detta inte sker, inte minst i kommunikationen kring vattenbrist. Dessutom ingår vattenförluster som frågor i hållbarhetsindex, vars svars-kvalitet därmed ökar med en korrekt vattenbalans.

Att bedöma den önskvärda nivån på vattenförluster genom att använda samhällsekonomisk analys där man jämför samhällskostnaden för att ha vattenförluster med samhällskostnaden för att reducera vattenförlusterna ger goda underlag för VA-verksamheterna att optimera sitt arbete. När-generella nivåer på vattenförluster diskuteras bör därför SELL vara en utgångspunkt.

Svenskt Vattens driftundersökning i VASS innehåller ett avsnitt om vattenbalans, som ligger till grund för rapporteringen av vattenanvändning och vattenförluster nationellt. Kommunerna får nu ett verktyg, Kalkylblad 1, för att ta fram korrekta uppgifter om vattenanvändningen, som rekommenderas att användas för rapporteringen i VASS. På sikt bör Kalkylblad 1 integreras i VASS.

8 Referenser

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, H., Hirner, W., Baptista, J.M., Parena, R. (2000) Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Manual of Best Practice.

Bergen commune (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

City of CapeTown. (2018) Residential water restrictions explained. Hämtat från City of CapeTown: [https://www.capetown.gov.za/Family %20and %20home/Residential-utility-services/Residential-water-and-sanitation-services/Residential-water-restrictions-explained](https://www.capetown.gov.za/Family%20and%20home/Residential-utility-services/Residential-water-and-sanitation-services/Residential-water-restrictions-explained)

Eureau (2017) Europe's water in Figures http://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/1ddfa34-e1ce-4888-b031-6c559cb28e47/Good %20Practices %20on %20Leakage %20Management %20- %20Main %20Report_ Final.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/1ddfa34-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.

Folkehelseinstituttet (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 Inter Zusammenarbeit, GIZ.

GWl (2017a) Global Opportunity Report 2017.

GWI (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 – Mikkel 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. <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4144.pdf>

ILMSS Ltd (2013) Guideline relating to the Assessment and Calculation of Average Pressure in Water Distribution Systems and Zones. <http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2015/04/AvePressureGuidelinesInt-Version28Jul13.pdf> besökt: 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](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> besökt: 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

Malm, A., Svensson, G., Røstum, J. (2018) Beregning av bærekraftig lekkasjenivå. Norsk Vann rapport 239/2018.

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 (2017) Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen. Vedtatt på årsmøtet 2017. ([https://www.norskvann.no/files/docs/B %C3 %A6rekraftstrategi_2017.pdf](https://www.norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi_2017.pdf))
- 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 http://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.
- Powel. (2018). Water Alert - Smart sanntidsoversikt over vannforsyningen. Hämtat från Powel: <https://www.powel.com/no/about/produktinfo/water-alert-smart-sanntidsoversikt-over-vannforsyningen/>
- 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 http://www.myong.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)
- Trafikverket (2014) Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn, ASEK 5.
- Svenskt Vatten (2014) Läcksökning på vattenledningsnät – läckagekontroll och lokalisering av läckor. Svenskt Vatten Publikation P107.
- Svenskt Vatten. (2018) Kommentarer till 2018 års taxestatistik. Svenskt Vatten AB. Hämtat från Svenskt Vatten. <http://www.svensktvatten.se/globalassets/organisation-och-juridik/vass/taxa/taxestatistik2018.pdf>
- Svenskt Vatten (2017) Privata servisleddningar för dricksvatten, spillvatten och dagvatten – så långa är de. Svenskt Vatten Utveckling Rapport 2017-13

SVT Nyheter. (den 30 Januari 2019) Större risk för vattenbrist i år. Hämtat från SVT Nyheter: <https://www.svt.se/nyheter/snabbkollen/storre-risk-for-vattenbrist-i-ar>

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

Telia (den 24 Maj 2018) TELIA FÖRST I SVERIGE MED RIKSTÄCKANDE NÄT FÖR SAKERNAS INTERNET – NARROWBAND IOT. Hämtat från Telia: <http://press.telia.se/pressreleases/telia-foerst-i-sverige-med-rikstaeckande-naet-foer-sakernas-internet-narrowband-iot-2517174>



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se