



SINTEF Byggforsk
Vann og miljø

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøk: Klæbuveien 153
Telefon: 73 59 24 18
Telefaks: 73 59 23 76

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Aldrende ledningsnett
Internasjonal status og strategier for ledningsfornyelse -
eksempler på god praksis

FORFATTER(E)

Sveinung Sægrov

OPPDRAGSGIVER(E)

Svenskt Vatten, NORVAR

RAPPORTNR.

GRADERING

OPPDRAGSGIVERS REF.

åpen

Trond Andersen, Hans Bäckman

GRADER. DENNE SIDE

ISBN

PROSJEKTNR.

ANTALL SIDER OG BILAG

åpen

58000401

52

ELEKTRONISK ARKIVKODE

PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)

VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)

Aldrende ledningsnett 24 august 2007 norsk.doc

Sveinung Sægrov

Leif Sigurd Hafskjold

ARKIVKODE

DATO

GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)

2007-10-11

Arnstein Watn, forskningssjef

SAMMENDRAG

Svensk Vatten og NORVAR undersøker internasjonale erfaringer knyttet til aldring av ledningsnett for vann og avløp. Hensikten er å oppnå kunnskap som kan brukes for langtids planlegging av nødvendige nasjonale ressurser for å opprettholde standarden på ledningsnett og som grunnlag for å utarbeide fornyelsesplaner i kommunene.

Rapporten behandler følgende hovedspørsmål i en hovedsakelig europeisk sammenheng:

- Hva er feilhyppighet for vann- og avløpsledningsnett?
- Hvilke strategier brukes ved anvendt praktisk fornyelsesplanlegging?
- Eksisterer nasjonale publikasjoner og retningslinjer som kan støtte fornyelsesplanlegging?
- Hvilken programvare er anvendt for fornyelsesplanlegging, og hvilken input krever de?

Informasjonen er samlet inn ved hjelp av et spesielt tilrettelagt spørreskjema, en litteraturundersøkelse og direkte samtaler med kollegaer fra land i Europa utenfor Skandinavia.

Tilstanden målt som feilhyppighet viser store variasjoner og skyldes forskjeller i valg av rørmaterialer og deres kvalitet, samt omfanget av drift og vedlikehold. Analyse av tilstand krever data som ofte ikke er tilgjengelig i et hensiktsmessig format. Det er derfor viktig å legge til rette standarder for informasjon om vann og avløpsnett. Flere datasystemer har blitt utviklet for å støtte fornyelsesplanlegging. Noen av dem handler om spesifikke problemer, så som lekkasjer i ledningsnett, feilprediksjon eller leveringssikkerhet, men noen har som en generell tilnærming å støtte identifisering og rangering av prosjekter så vel som langtids trender. Ved å demonstrere bruken av disse, fremheves verdien av informasjonsinnsamling

STIKKORD

NORSK

ENGELSK

GRUPPE 1

Ledningsnett

Network

GRUPPE 2

Rehabilitering

Rehabilitation

EGENVALGTE

Vann

Water

Avløp

Wastewater

Internasjonal kartlegging

International review

Forord

Denne rapporten presenterer resultatene fra et prosjekt opprettet av Svenskt Vatten og NORVAR med formål å kartlegge internasjonale erfaringer og status med hensyn til fornyelse av ledningsnett. Den omfatter strategier (langtidsplanlegging), taktikk (utvelgelse og rangering av prosjekter) og teknologier (reparasjons- og renoveringsmetoder). Oversikten skal tjene som et kunnskapsgrunnlag for kommunene i deres arbeid med ledningsfornyelse.

Opprinnelig var det planlagt å basere rapporten på resultater fra et bredt anlagt spørreskjema. Dette ble utviklet og distribuert til kontakter over hele verden. Selv om vi mottok en rekke svar, var den egentlige responsen mager. Det tok antakelig for mye tid å fylle ut og tilgangen på den aktuelle informasjonen var vanskelig. Kun fire land: Ungarn, Italia, Portugal og Nederland, gav vesentlig informasjon tilbake. Derfor ble informasjonen som ble mottatt ved spørreskjemaet supplert med en litteraturgjennomgang. Mengden av relevant litteratur er enorm, og det har vært nødvendig å velge ut en liten del av denne for å gi en smakebit på fornyelse av ledningsnett utenfor Skandinavia.

En referansegruppe har fulgt prosjektet. Den hadde følgende medlemmer

Trond Andersen, NORVAR
Hans Bäckman, Svenskt Vatten
Ivar Kalland, Bergen kommune
Kjell Kihlberg Borås kommune.

Arbeidet er utført av Sveinung Sægrov, SINTEF Byggforsk, støttet av Jon Røstum, SINTEF og Rita Ugarelli, Bologna university,

Helena Alegre, LNEC, Dora Laky, Budapest Universitet, Gabriele Freni, Palermo Universitet, Rita Ugarelli, Bologna Universitet and Miriam Blokker, KIWA har gitt verdifull støtte ved å fylle ut spørreskjemaet fra brukere i deres respektive land, mens Annie Vanrenterghem Raven, New York Polytechnic University, Ingo Kropp, Dresden og Eliane Algaard, Veolia London har gitt informasjon, synspunkter og litteratur om emnet. Axel König, SINTEF har tilrettelagt informasjon fra Techneau-prosjektet.

Vi vil takke kollegaene nevnt ovenfor for viktige bidrag and Svensk Vatten og NORVAR for en meget utfordrende oppgave.

Trondheim, Oktober 2007
Sveinung Sægrov

Innholdsliste

Sammendrag	4
1 Innledning	6
2 Tilstanden til vann og avløpsnett	9
2.1 Feil ved drikkevannsnettet	9
2.1.1 Aldrende ledningsnett	9
2.1.2 Feilindikatorer	9
2.1.3 Ledningsmaterialer og alder	11
2.2 Avløpsnett	14
3 Strategier for fornyelsesplanlegging	15
3.1 Strategisk planlegging, tjenestenivå	15
3.1.1 Oppnåelse av tjenestemål	15
3.1.2 Risikobasert fornyelse	17
3.1.3 Eksempel på bruk av ledningsinformasjon	18
3.2 Taktisk planlegging	19
3.3 Teknisk planlegging	19
3.4 Nasjonale retningslinjer for fornyelse	20
3.5 Lovgrunnlag	20
4 Anvendte beslutningsstøtteverktøy	22
4.1 Metoder og programvare	22
4.1.1 Hydroplan	22
4.1.2 SEAMS	22
4.1.3 Verktøy for integrert lekkasjekontroll (TILDE)	23
4.1.4 CityNet programvare	23
5 Eksempler	25
5.1 Analyse av spørreskjema	25
5.1.1 Status	25
5.1.2 Drivkrefter for fornyelse	26
5.2 Praktisk drift, vedlikehold og fornyelse i europeiske byer	27
5.2.1 Bristol	27
5.2.2 Leipzig	29
5.2.3 Lisboa	30
5.2.4 Zürich	31
6 Diskusjon og anbefalinger	33
7 Publikasjoner	35
Appendix 1 Questionnaire	37
Appendix 2: Analysis of questionnaire	46

Sammendrag

Bakgrunn

Denne rapporten inneholder en diskusjon av grunnleggende spørsmål ved fornyelse av ledningsnett for vann og avløp:

1. Hva er nåværende tilstand og fornyelseshyppighet for VA - anlegg utenfor Skandinavia?
2. Hvilke strategier brukes for praktisk fornyelsesplanlegging og hva er nødvendig input til disse?
3. Hvilke teknologier brukes ved fornyelse?
4. Hvilken beslutningsstøtte brukes?
 - a. Programvare
 - b. Nasjonale retningslinjer
 - c. Publikasjoner om fornyelsesplanlegging

Opprinnelig var det planlagt å basere rapporten på et bredt anlagt spørreskjema. Dette ble utviklet og distribuert til kontakter i Europa, Nord-Amerika og Australia. Imidlertid viste det seg vanskelig å få gode tilbakemeldinger. Dette er trolig fordi opplysningene var for tidkrevende å hente fram. Kun fire land, Ungarn, Italia, Nederland og Portugal gav signifikant informasjon tilbake. Informasjonen fra spørreskjemaet ble derfor supplert med en litteraturgjennomgang. Generelt er det mer informasjon tilgjengelig for vann enn for avløpssystemer.

Rapporten behandler tekniske spørsmål knyttet til konsekvenser av valgt ledningsmateriale og utførelse. Den er videre avgrenset til det kommunale ledningsnettet. Konsekvenser av klimaendringer og migrasjon/urbanisering er ikke en del av denne rapporten.

Viktige utfordringer er reduksjon av lekkasjer, som står for en signifikant andel av vann som blir produsert for forsyning. Sikker levering av stabil vannkvalitet er en annen problemstilling. På avløpssiden er oversvømmelser og sviktende gatefundamenter på grunn av undergraving forårsaket av vannlekkasjer viktige utfordringer. Rapporten gir noen eksempler som viser tilstanden på ledningsnett og måter å møte de utfordringene som aldrende ledningsnett representerer.

Tilstand og fornyelseshyppighet

Noen figurer er presentert som viser situasjonen internasjonalt med hensyn til vanntap, brudd og vannkvalitet. Det er vist at beste praksis med hensyn til vannkvalitet vil bringe lekkasjeandelen til et nivå mindre enn 5 % og bruddhyppigheten under 10 pr 100 km/år. Det er videre vist at rør av grått støpejern og asbestsement ofte har høyere bruddfrekvens enn rør av seigt støpejern og plastrør. En omfattende "benchmark" studie som ble utført i 2001 og senere studier konkluderte at 1 % av ledningsnettet rehabiliteres årlig, selv om dette tallet varierer mye mellom byene. En fornyelsesfrekvens mellom 0.3 % og 1.5 % kan betraktes som "normal".

Drivkrefter for fornyelse

Prosjektets spørreskjema spurte etter drivkrefter for fornyelse. Dette var for drikkevannsnett hovedsakelig styrkemessig tilstand, vanntap, vannkvalitet, pålitelig service og koordinering med annen service. For avløpsnett er tilsvarende drivere styrkemessig tilstand, lekkasjer, oversvømmelser og forurensning. Dette gjenspeiler også kriterier for godt servicenivå. De økonomiske behovene på kort og lang er ofte analysert for ledningsnettet som helhet istedenfor den enkelte ledning, med metoder som tar utgangspunkt i levetid for grupper av ledninger.

Metoder og verktøy for fornyelsesplanlegging

En generell strategi for fornyelsesplanlegging kan omfatte tre nivåer; strategisk, taktisk og teknisk. Den strategiske planleggingen finner sted på "nettnivå" og inkluderer tjenestenivå, tilstandsoversikt, overordnet behov for fornyelse og tilhørende økonomisk behov. Den strategiske planen vil støtte masterplaner. Den taktiske planen refererer til enkeltledninger og behandler utvelgelse av prosjekter og rangering av dem. Det tekniske nivået omhandler valg av hensiktsmessig teknologi for enkeltprosjekter.

Mange ulike programmer eksisterer for å støtte drift, vedlikehold og fornyelse av vann og avløpsnett. Generelt kan de bearbeide data fra ledningsregistre og GIS systemer slik at de bedre kan brukes for å analysere tilstand og fornyelsesprosjekter. Forskjellige systemer med indikatorer er foreslått av den internasjonale vannverksorganisasjonen (IWA), av den amerikanske vannverksorganisasjonen (AWWA), av internasjonale prosjekter (CARE-W, CARE-S) og av nasjonale organisasjoner.

Noen av de mest kjente internasjonale programmer som brukes ved fornyelsesplanlegging er det belgiske HYDROPLAN, det engelske SEAMS, det europeiske TILDE, tyske KANEW og de felles europeiske CITYNET programmene som inkluderer spesielt APUSS (lekkasjer til/fra avløpsnett, AISUWRS, (lekkasjer fra avløpsnett og påvirkning på grunnvann), CARE-S og CARE-W.

Eksempler

Det er samlet inn informasjon fra en rekke byer ved hjelp av spørreskjema. Rapporten presenterer svar fra byene Bristol, Storbritannia, Leipzig, Tyskland, Lisboa, Portugal og Zürich, Sveits. Disse byenes praksis med hensyn til drift, vedlikehold og fornyelse er behandlet og gir et bredt bilde av ulike utfordringer og løsninger.

Lærdom

Denne studien viser at byer over hele verden har tilsvarende utfordringer som Skandinavia mht allerede ledningsnett. Metoder og systemer for planlegging av fornyelse eksisterer, men bygger på analyse av eksisterende tilstand basert på data om ledningsnett og fra undersøkelser. God og nøyaktig informasjon om ledningsnettet er en forutsetning for effektiv bruk av planleggingsmetoder og Svensk vatten og NORVAR bør sette inn ressurser for å sikre at systemene for dette fungerer i praksis.

1 Innledning

Bakgrunn: Det globale problemet

Globalt er knapphet på vann og urbane miljøer truet av forurensning er viktige problemer i dag. I utviklede land er hovedutfordringene for urbane vannsystemer knyttet til urbanisering/migrasjon, aldring av ledninger og virkning av klima. Urbaniseringen leder til et høyere press på vannressurser og miljø, mens aldrende ledningsnett forårsaker økende vanntap og redusert kapasitet til å transportere overvann. Klimaendringer forårsaker alvorlig tørke som kan legge restriksjoner på vannforsyning og konsentrerte uvær som medfører hyppigere oversvømmelser. Som en følge av dette er det en økende oppmerksomhet rettet mot vann og avløpssystemer og en forsvarlig drift, vedlikehold og fornyelse av ledningsnett for vann og avløp. Brevet nedenfor mottatt fra en kollega i Sør-Amerika gir en ganske representativ beskrivelse med hensyn til hvordan problemet oppleves i mange land:

“De fleste byene mitt land har vann og avløpssystemer som er i ferd med å bli gamle. Dette har skjedd i hovedsak på grunn av institusjonelle problemer (manglende lovverk, korrupsjon). Det har ikke blitt investert i vann, avløp og overvannssystemer de siste 30 årene. Som en følge av dette så forfaller ledningsnettene slik at en rekke driftsproblemer har utviklet seg. For eksempel, så er vanntapet nå i gjennomsnitt 40 %, i noen byer hele 70 %. På den andre siden, har vår president signert en ny føderal vann og avløpslov som gir en oversikt over føderal politikk i sektoren. Loven har som mål å øke investeringene og å gi tilgang på vann og avløpstjeneste for alle. For å oppnå dette, er det antydning et behov på årlige investeringer på 4.5 milliarder US\$ pr år eller 24 \$pr person, eller en tredobling av nivået fra 2005.

Fra denne situasjonen så er mitt spørsmål: Hvordan kan vi (forskere) bidra til en bedre bruk av disse investeringene? Således så jeg at Care verktøyene kunne hjelpe oss å identifisere kritiske systemer for å prioritere slike investeringer”.

Denne situasjonen er behandlet organisatorisk så vel som lovmessig. Fra et nasjonalt synspunkt er det viktig å sikre at kunder får hensiktsmessige tjenester til en rimelig pris. Mange land har etablert nasjonale kontrollvirksomheter for å se til at de enkelte vannverkene leverer tilfredsstillende tjenester til en riktig pris. Disse kan ha sitt mandat fra staten som OFWAT i Storbritannia eller operere som en uavhengig organisasjon med makt basert kun på kompetanse og integritet (IRAR, Portugal). I tillegg til kontroll kan slike organisasjoner også tilby veiledning til vannverkene.

Problemstillingene er komplekse. Denne rapporten avgrenser seg til tekniske spørsmål knyttet til konsekvenser av valgt ledningsmateriale og utførelse. Den er videre avgrenset til det kommunale ledningsnettet. Konsekvenser av klimaendringer og migrasjon/urbanisering er ikke en del av denne rapporten.

Aldrende ledningsnett

Den eldste delen av vann og avløpsnettene oppfyller ofte ikke moderne krav til tilstand og funksjonsevne. Ledningene ble ikke bygget med materialer og i henhold til regler for styrke, bestandighet og funksjon som gjelder i dag. Konstruksjonssvakheter gjør nettet sårbart med hensyn til ytre last. Noen materialer utsatt for nedbrytning og vil over tid miste styrke og tetthet. Dette er bakgrunnen for at ledende autoriteter som USEPA (amerikansk forurensningstilsyn), AWWA-WERF (amerikansk vannverksforening – forskningsstiftelse), UKWIR (britiske vannselskapers forskningsstiftelse) og WSSTP (EU og europeisk vannindustri teknologiplattform) har rapportert bekymring for aldrende ledningsnett.

Bekymringen over aldrende ledningsnett er dokumentert i en rekke rapporter, her nevnes et par eksempler. 24 ordførere i amerikanske byer ble bedt om å prioritere hvilke av 24

vannressursproblemer som var viktigst for deres by. Topp tre listen fra denne øvelsen var (USEPA 2002):

1. Aldrede ledningsnett
2. Sikkerhet og beskyttelse av ledningsnett
3. Tilstrekkelige vannressurser

I en annen undersøkelse ble aldrede infrastruktur identifisert som en prioritet i 40 % av de mindre byene, 34 % av middels store byer og 26 % av store byer. USEPA har estimert at fornyelsesbehovet for vann g avløpsnett i USA er over \$500 milliarder innen 2019. Skalert for Sveriges og Norges befolkning, så tilsvarer dette 100 milliarder SE/NOK.

Brudd og lekkasjer er de viktigste konsekvensene av fysisk nedbrytning av nettet. Det er mange mekanismer som kan lede til degradering av vannkvalitet, som korrosjon på metalliske rør, oppvirvling av sedimentert materiale og biologisk vekst på rørveggen. Utette vannledninger kombinert med undertrykk kan bære til innlekking av forurenset vann til vannledningsnettet. Videre vil blokkeringer, brudd og lekkasjer fra avløpsledninger medføre serviceavbrudd, utlekking av forurenset vann og forurensingstap fra overløp.

Formålet med denne rapporten

Formålet med denne rapporten er å gi en internasjonal status for problemstillinger knyttet til vann og avløpsnett. Status er utarbeidet ved hjelp av et spørreskjema som ble utviklet for dette prosjektet og en studie av nyere rapporter og publikasjoner fra en rekke land. Vi har prøvd å beskrive problemer som kan oppstå, årsaken til dem og hvordan de er løst.

VA-forsk i Sverige planlegger et større prosjekt med hensyn til metoder og praksis for fornyelse av ledningsnett, der kommune selv vil være viktige aktører. I Norge er det en diskusjon omkring virkelige behov for fornyelse. Denne rapporten er ment å gi input til den svenske utviklingen så vel som framtidige norske prosjekter for å analysere fornyelsesbehov og teknologier. Problemstillingen er:

- Hva bør Svensk Vatten og NORVAR foreta seg mht fornyelse av ledningsnett?
- Hvordan kan vi bevise av eksisterende nettkvalitet er bærekraftig?
- Hva er fornyelsesbehovet de kommende 40 år og hvordan kan dette konkretiseres ytterligere?

Oppdragsgiver ønsker at rapporten gir praktisk informasjon som kan brukes av kommuner og bransjeorganisasjoner, for eksempel:

- Kriterier for fornyelsesplanlegging
- Hvordan er planer og strategier forankret i driftsorganisasjonen
- Hvilke indikatorer er viktige med tanke på fornyelse
- Definisjon av "ledningsalder"
- Prinsipper for planlegging implementert i praktisk rehabilitering

Med andre ord; hva er problemet? Hva er gjort for å løse problemet? Hvilke retningslinjer eksisterer for å gjøre dette? Det er et problem hvis ledningsnettet ikke oppfyller forventet funksjon, som er stabil leveranse av vann ved riktig trykk og kvalitet. I tillegg skal vandistribusjonen ikke forårsake noen ytre skade på bygd miljø, som oversvømte bygninger og skader på veger. Avløpstjenestene må være kontinuerlige, systemet skal være tilstrekkelig designet til å lede bort overvann fra sterke regnskyl, blokkeringer skal ikke forårsake skader på bygninger og urbane elver og bekker skal ikke bli forurenset av avløpsvann. Derfor starter denne rapporten med en kort beskrivelse av funksjonalitet og hovedårsaker til at kravene ikke oppfylles. Dette inkluderer feil design, dårlige materialer, dårlig konstruksjonspraksis og svikt ved drift og vedlikehold.

Gapet mellom krav og eksisterende situasjon vil være en drivkraft for fornyelse og planleggingen bør frembringe best mulig strategi for å møte kravene. Mange strategier har vært utviklet for planlegging, men et tilbakevendende utfordring er behovet for informasjon for å implementere planleggingsmetoden. I dag er manglende tilgang på gode data fremdeles en begrensende faktor for anvendelse av fremtidsrettede strategier for fornyelsesplanlegging.

2 Tilstanden til vann og avløpsnett

2.1 Feil ved drikkevannsnettet

2.1.1 Aldrende ledningsnett

Drikkevannssystemer er designet for å levere kontinuerlig tilstrekkelig vann med hensiktsmessig trykk og kvalitet til alle kunder. De viktigste rapporterte begrensningene er avbrudd på grunn av bruk eller ekstrem tapping (brannvann) eller store lekkasjer. Avbrudd kan medføre trykløst system i noen områder og påfølgende innsuging av forurenset vann. Sedimentering av partikler og etterfølgende oppvirvling kan påvirke vannkvaliteten. Tilsvarende av avløpsnett designet for å transportere spillvann og dreningsvann bort uten ulemper for abonnenter og uten forurensinger i lokale resipienter. De viktigste rapporterte begrensningene er lokale oversvømmelser på grunn av manglende kapasitet og lokale forurensingsutslipp via overløp eller blokkerte ledninger.

2.1.2 Feilindikatorer

Tilstanden for vannledningsnett har blitt analysert i en europeisk ”benchmark” studie i 2002 (Alegre, 2002). Noen resultater er vist i tabell 2.1. Tabellen viser hvor mange byer som var med i undersøkelsen og de mest representative 50 %. Den viser at vanntapet er betydelig og at mange abonnenter klager på manglende vanntrykk. Det er verdt å merke at tallene representerer tilstanden nå. Det er mulig å beregne fremtidig tilstand med stokastiske metoder basert på data for egenskaper og feilhendelser for det aktuelle nettet, kombinert med kunnskap om prosesser som medfører svekkelse av nettet.

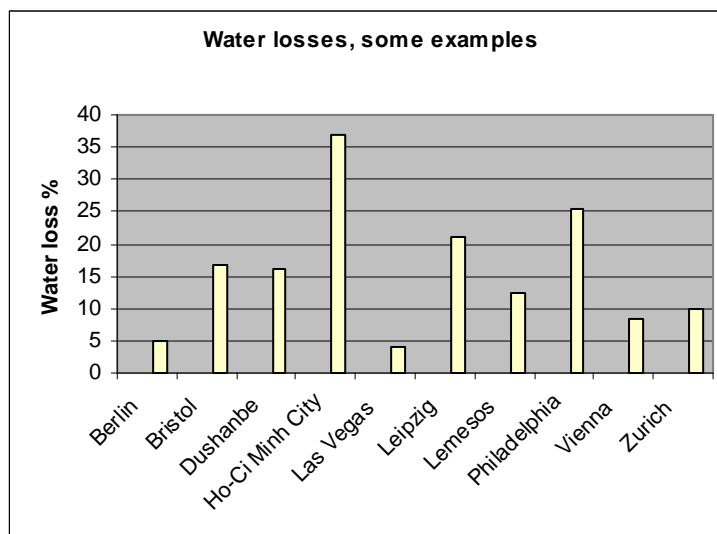
Tabell 2.1 Noen resultater fra en europeisk sammenligningsstudie, gjengitt som de intervaller for de 50 % nærmest gjennomsnitt (Alegre 2002)

Parameter	50% område	Antall byer
Vanntap/antall tilknytninger (m ³ /år)	75-172	27
Kvalitet på vannforsyning (% innenfor krav i standard)	95-100	16
Klager på vanntrykk (% sammenlignet med totale klager)	17-96	14

Generelt er bruddhyppighet og vanntap (%) de hyppigst refererte indikatorer. Bruddhyppighet representerer et mål for styrkemessig tilstand og også sårbarhet med hensyn til forurensning av drikkevann. Vanntap bringer informasjon om tilstanden til ledningsnettet totalt sett, og er naturlig nok særlig viktig i områder som er utsatt for tørke og vannmangel, som i Middelhavsregionen.

Vanntap

Statistikk for vanntap viser store variasjoner, se figur 2.1. Typiske nasjonale verdier varierer fra 10 til 30 %, noen byer rapporterer enda høyere lekkasjer. Beste praksis synes å kunne redusere lekkasjene til ca 5 %. For eksempel Las Vegas, som ligger i ørkenen med begrensede vannressurser, rapporterer 4 % vanntap. I Europa rapporterer Berlin, som også har meget begrensede vannressurser om et ikke-fakturert vannvolum under 5 %.



Figur 2.1: Vanntap i noen byer over hele verden

Nasjonale organer er vanligvis forsiktige med å publisere data om lekkasjeprosent, siden bakgrunnsdata ofte er begrensede og resultatene avhenger av definisjonen som er brukt. Lekkasjeprosenten er ofte mer et grovt estimat enn et eksakt tall. Noen land oppgir landsgjennomsnitt, for eksempel Storbritannia (27 %, Ofwat), Italia (27 %, mer i syd enn nord) og Tyskland (15 %).

IWAs spesialistgruppe for effektiv drift og vedlikehold foreslår en såkalt ”infrastruktur lekkasje Indikator”, ILI, isteden for lekkasjeprosent. ILI er forholdet mellom årlig reelt tap og uunngåelig årlig lekkasjetap. Den varierer typisk fra 1-7 i utviklede land, mens for eksempel afrikanske vannsystemer har ILI fra 1 til 35. Det finnes gratis programvare for beregning av ILI som kan lastes fra Internett (Liemberger et al, 2007).

Et europeisk prosjekt (TILDE) har analysert praksis for lekkasjekontroll. 11 europeiske byer ble spurt om metoder, verktøy og instrumenter for å oppdage og reparere lekkasjer. Teknologier som ble behandlet var ”step test”, distriktsmåling med dataloggere, korrelator, lytting, mikrofoner oppå bakken og logger for vannføring. Tildeprosjektet gir en veiledning i hvilke teknologier som skal brukes i ulike situasjoner (www.waterportal.com, se også www.leakageforum.org). Et gratis verktøy for første kontroll av lekkasjesituasjonen er tilgjengelig på vannportalen. Den kan hjelpe til å svare på spørsmål som:

- Hvordan skal vi organisere lekkasjekontroll?
- Hva er komponentene for ikke-registrert (ikke-fakturert) vann?
- Hvor mye lekkasjer finnes i mitt system?
- Hvordan kan jeg sammenligne funksjonsevnen til mitt nett med andres?
- Hva er lekkasjenivået for mitt system?

Bruddhyppighet: Styrken til vannledninger er ofte tallfestet som antall brudd pr 100 km. og år. Bruddhyppighet for vannledninger er undersøkt med nyere litteratur støttet av spørreundersøkelsen. Noen resultater er presentert i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Bruddhyppighet, resultater fra noen undersøkelser

By/område	Feil pr 100 km/år	Referanse	Kommentar
32 Europeiske byer	58	Alegre (2002)	Inkluderer rør, ventiler, tilknytninger
3 byer i Nederland	5	Spørsmål 2006 (Blokker, Ugarelli, Laky)	Gjennomsnittsverdier
5 byer i Italia	23		
6 byer i Ungarn	137		
Berlin	10	Techneau 2006 (Sægrov, König)	
Bristol	17		
Leipzig	93		
Lisbon	48		
Zurich	24		

Disse resultatene viser at resultatene er forskjellige fra sted til sted, hovedsakelig bestemt av alder, materialer som er brukt og intensitet av drift og vedlikehold. De viser at beste praksis kan redusere feilhyppigheten til under 10 pr 100 km. pr år. Mens det er en økning i bruddhyppigheten om vinteren i Nord Europa og Kanada, så er det motsatte tilfellet i Sør-Europa, som Italia. Det er antatt at lav temperatur er hovedårsaken i nord og trykkøkning på grunn av at aktiviteten er redusert i byene i sommerperioden er hovedårsaken for den italienske situasjonen.

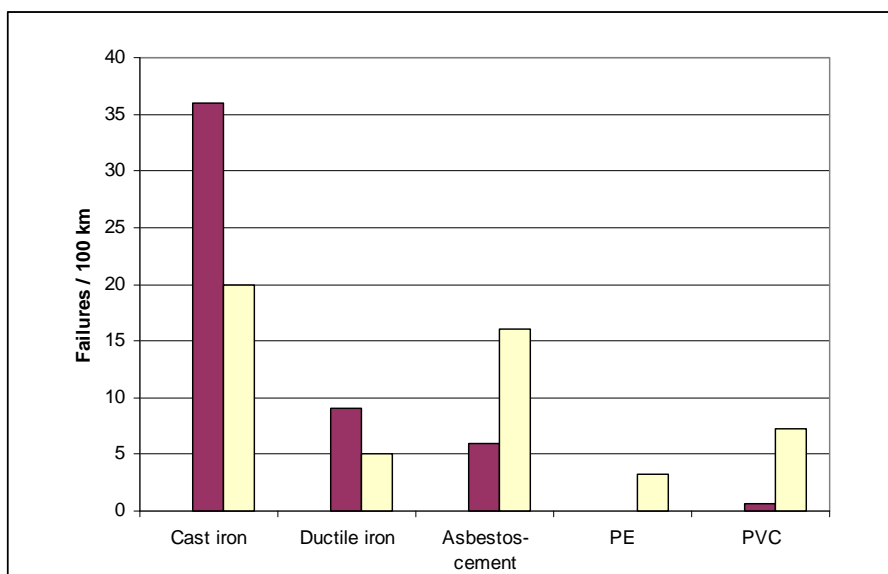
2.1.3 Ledningsmaterialer og alder

Det er store variasjoner mellom byene når det gjelder bruk og erfaringer med rørmaterialer. De eldste ledningsnettene består typisk av grått støpejern, stål og asbestsementrør, mens nyere nett typisk bygges med seigt støpejern, PVC og PE. Det er flere feil og større reparasjonsbehov ved gamle ledningsnett enn nye. Men dette er ikke helt konsekvent. I Nederland er en vesentlig del av nettet gammelt men de har ikke en tilsvarende høy feilhyppighet. I Italia så er høy feilhyppighet også dokumentert for moderne ledninger (PE). Det er lokale årsaker til dette, så som materialkvalitet og drift og vedlikeholdspraksis.

Feilhyppigheter har også blitt rapportert fra Kanada (Rajani og Makar 1993) og Storbritannia (MacKellar og Pearson, 2003). Et sammendrag er gitt i figur 2.2. De britiske tallene er fra den nasjonale offisielle statistikken for perioden 1998-2003. Den kanadiske rapporten bringer resultater fra en undersøkelse i 21 byer som representerer 11 % av Kanadas befolkning. Hovedkonklusjonene er at materialer som representerer gamle rør har en høyere bruddrate enn materialer som representerer nyere rør.

Reduksjon av styrke og gjennomtæring av metallrør på grunn av korrosjon er de vanligste feilårsakene. Asbestsementrør har en høy feilrate som trolig skyldes nedbrytning av asbestsement og dårlig praksis ved legging. Disse ledningene ble hovedsakelig lagt etter 1960. Første generasjon PVC rør har en forhøyet bruddhyppighet. Årsaken til dette ligger i rørproduksjonen, som imidlertid ble rettet mot slutten av 1970-årene. I Italia så er høye feilrater dokumentert også ved nye PE rør. Dette skyldes feil ved produksjonen av PE rør i Italia, og er ikke representativt for Nord-Europa.

I Sør-Afrika regner man med en levetid for plastrør på 20-30 år (Bakken, 2005), det samme gjelder Sør-Korea (Jun-Lae, 2007), mens vi i Europa regner med en levetid på 1000 år for disse rørene. Årsaken til at disse rørmaterialene vurderes så pessimistisk i disse landene er usikker.



Figur 2.2: Feil i sammenheng med ledningsmaterialer, rapporter fra Kanada (Rajani og Makar 1993, rød) og Storbritannia (MacKellar og Pearson, gul)

Mens omlag 1/3 av ledningsnettene er eldre enn 30 år I Sverige og Norge, så er situasjonen motsatt i andre Europeiske land. I for eksempel Italia så er 60 % av vann og avløpsnettene eldre enn 30 år. Utfordringene med hensyn til drift og vedlikehold er derfor enda høyere utenfor Skandinavia.

Ledninger av grått støpejern

Rajani and Makar (2000) presenterer en metode for å estimere gjenværende levetid for vannledninger utsatt for korrosjon. Metoden kombinerer beregning av belastning og gjenværende styrke for ledningsnettet, antatt korrosjonshastighet og målinger av korrosjonsgroper ved direkte inspeksjon eller innvendig inspeksjon. Sikkerhetsfaktor for hvert enkelt ledningssegment beregnes og sammenlignes med kriterium for nødvendig sikkerhet sett av ledningseier. Derved kan gjenværende levetid beregnes. Levetidsestimatet kan deretter brukes for å planlegge riktig nivå på vedlikehold og fornyelse av ledninger av grått støpejern.

In Australia så har CSIRO presentert en metode for å analysere utvendig korrosjon på støpejernsledninger (P Davis, M Moglia, S Burn, M Farlie). Selv om det er en kjent sammenheng mellom omgivende grunn og ytre korrosjon, så er det nå akseptert at gropkorrosjonen ofte opptrer tilfeldig. CSIRO undersøkte tilstand for aktuelle ledninger i detalj. På grunnlag av disse ble det laget en stokastisk (Monte Carlo) modell for sannsynlig feilhyppighet ved spesielle grunnforhold. Resultater fra denne modellen skal kunne brukes for å prioritere kritiske ledninger for vedlikehold og fornyelse.

Forskningsorganisasjonen for produsenter av duktile rør (DIPRA) anbefaler et 10-punkts vektningssystem basert på grunnforhold (elektrisk motstand, pH, sulfider og fuktighet). Et slikt system baserer seg på en detaljert grunnundersøkelse. Men feltmålinger er mulige på små prosjekter, så det i de fleste tilfeller ikke praktisk å undersøke hele ledningsnettet. Et effektivt alternativ er å gjennomføre regional generell kartlegging av grunnforhold og presentere dette på GIS. Dette kan da brukes for å identifisere potensielle korrosive områder. Undersøkelse i Australia har vist at kartlegging med DIPRA's metode er et verdifullt verktøy for undersøkelse av ledningsnettet. (P Davis, I Allan, S Burn, R vd Graaff).

Det har lenge vært et uttalt behov for en kontinuerlig målemetode for innvendig korrosjon på metalliske rør. I Kanada er det utviklet et utstyr "Hydroscope", som kan måle innvendig korrosjon på rør opp til 200 mm. I Storbritannia har Thames Water engasjert seg i en utvikling av tilsvarende utstyr basert på en akustisk metode, uten at dette har ledet til kommersielle resultater. Utvikling av en ny metode for innvendig inspeksjon er kommet langt i Norge (Breivoll Inspection Technology, www.breivoll.no), og vil om kort tid bli lansert på det internasjonale markedet. Både Thames Water og den norske metoden vil være beregnet på større ledninger, over 250 mm.

Feil på plastledninger

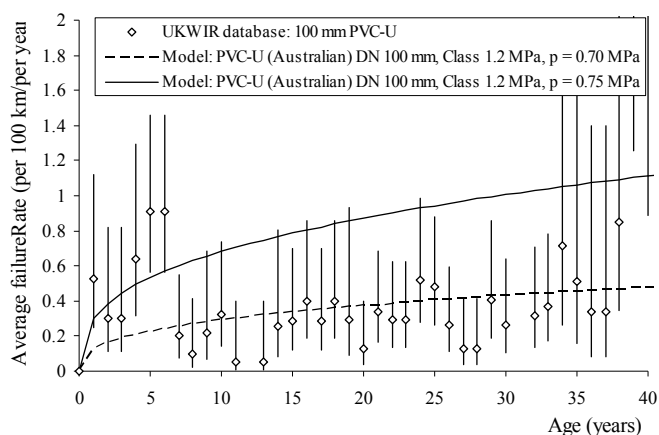
Feil på plastledninger er brutt ned til feil som er knyttet til sprekkvekst og feil i rørskjøter. Nesten halvparten av alle feil på plastledninger er sprekkvekst og en femtedel feil i rørskjøter. For de siste 40 % er feilårsaken ikke kjent, se tabell 2.3.

Tabell 2.3: Feil ved plastledninger – utdrag fra nasjonal britisk (UKWIR) feildatabase (MacKellar and Pearson, 2003)

Materiale	Sprekkvekst %	Feil i rørskjøt %	Annet %	Ukjent %	Totalt %
PE	39.1	18.8	3.9	38.2	100
PVC	49.3	19.6	3.7	27.4	100

Disse feilene inkluderer tverrbrudd, langsgående brudd og groper kan betraktes som små sprekker som trenger gjennom rørveggen før sprekken er ustabil og utvider seg i rørets lengderetning. I mange tilfeller starter sprekken ved spenningskonsentrasjoner og defekter i rørveggen. I andre tilfeller vil utenforliggende årsaker, som skarpe kanter i leggeverktøy resultere i en sprekk. Feildatabaser inneholder vanligvis ikke en fullstendig angivelse av feilårsak ved brudd på plastrør. (P. Davis and S Burn 2004).

Noen feil skyldes som vist ovenfor feil ved installasjon, større innvendig trykk eller større belastning enn forutsatt. Første generasjon PVC ble produsert med manglende omblending og for lav temperatur i ekstruderingsprosessen, som gjorde dem mer sprø. For alle generasjoner rør vil mindre overlateriss som kan initiere sprekker kunne oppstå. Figur 2.3 viser en modell for sprekkvekst i PVC rør, dersom innvendig trykk er 0.7 -0.9 MPa (70-90 mvs). Modellen er brukt for data fra den engelske feildatabasen (UKWIR). Merk at feilraten innen de første 40 år er mindre enn 1 pr 100 km/år. UKWIR's database dekker en periode der det var i ettetid kjente svakheter ved PVC som nå er luket bort. Den er derfor kun representativ som metode og som en grov antydning, og må ikke brukes for generell estimering av fremtidige feil på plastrør.



Figur 2.3: Feilmodell for PVC (Davies and Burns, CSIRO)

På grunn av materialegenskapene er det vanskelig å måle lekkasjer på rør av plast med korrelator eller konvensjonelt lytteutstyr. I Storbritannia er det nå utviklet utstyr med hydrofoner som trekkes gjennomrøret og registrerer disse lekkasjene ("SAHARA"). Dette kan bidra til å løse potensielle problemer med lekkasjekontroll på grunn av rehabiliteringer med plastledninger inne i støpejernsledninger

2.2 Feil på avløpsnett

Cardoso et al 2006 laget en benchmark undersøkelse for avløpsnett der 20 europeiske byer deltok. Hun viser bla. at samlet fornyelse fra spillvannsledninger i gjennomsnitt er 0.5 % pr år, ca halvparten av dette er renovering. Normale nivåer for fornyelse av avløpsnett er fra 0.2 % til 1.0 % pr år, tilsvarende for renovering mellom 0 og 0.3 % pr år. Det er også presentert tall for fornyelse av kummer (0.5 % pr år), for blokkeringer (mellom 10 og 120 pr 100 km pr år, gjennomsnittlig 60 og ledningskollaps (1-2 pr 100 km pr år).

I følge OFWAT (2002) er 45% av oversvømmelser på avløpsnettet forårsaket av hydraulisk overbelastning, og 40 % (>5000/year) av blokkeringer (OFWAT 2002). Blokkeringer er således en av hovedårsakene til lokal forurensning og kjelleroversvømmelser.

Svar fra spørreundersøkelsen viser at feil på avløpsnettet har en meget stor spredning, fra 14 til 211 feil pr 100 km/år. Byen med den største feilhyppigheten har et gammelt avløpsnett dominert av betong og keramiske rør. Disse resultatene indikerer at avløpsnettene i alle fall ikke har færre feil enn vannledningsnettene, men de er for få til å utvikle pålitelig statistikk. Avløpsnett blir vanligvis kontrollert med CCTV inspeksjon. Denne metoden blir i større og større grad brukt systematisk ved fornyelsesplanlegging. Gamle data kan ofte ikke spores på grunn av på grunn av manglende standardisering av lagring. Nye resultater fra CCTV blir derfor i økende grad lagret digitalt. Det er utviklet flere kommersielle produkter som støtter dette.

CCTV inspeksjon dominerer som metode for å bestemme tilstand på avløpsledninger og brukes over hele verden. Den amerikanske forskningsorganisasjonen WERF (Water and Environment Research Foundation) har utviklet en metode for å identifisere ledninger med sannsynlighet for strukturelle og driftsmessige feil som kan brukes ved prioritering av ledninger for inspeksjon. Slik prioritering inkluderer en vurdering av konsekvensene ved feil. Metoden baserer seg på en bred forståelse av forhold som kan lede til feil. Dette er typisk indre og ytre korrosjon, nedbrytning av materiale, infiltrasjon og driftsfeil. Denne informasjonen er behandlet i en modell basert på avansert (bayesiansk) statistikk. Hensikten er at vannselskaper skal fokusere strategisk ved å legge inspeksjonsprogrammer til områder som har et forhøyet behov for oppmerksomhet.

CCTV vurderes som et nødvendig første skritt for i neste omgang å utvikle planer for fornyelse. Som sådan kan metoden sammenlignes med den europeiske metoden CARE-S (Computer Aided Rehabilitation of Sewer and Storm water networks), se kapittel 3. Tilstandsgrader gir en oppfatning av strukturell tilstand, men for en fullstendig vurdering av fornyelse, må tilstandsklasse vurderes i sammenheng med konsekvenser av feil, for eksempel lokalisering i følsomme områder og påvirkning av feil og avbøtende tiltak på kundenes velferd (sosiale kostnader).

3 Strategier for fornyelsesplanlegging

En overordnet strategi for fornyelsesplanlegging kan inneholde tre nivåer, strategisk, taktisk og teknisk. Den strategiske planen ligger på et samlet ledningsnettnivå og inkluderer tjenestenivå, tilstand, overordnet behov for fornyelse og økonomiske behov. Den støtter hovedplaner. Den taktiske planen refererer til enkeltledninger og handler om utvelgelse og rangering av fornyelsesprosjekter. Det tekniske nivået omfatter valg av riktig teknologi to de enkelte prosjektene. (Vanrenterghem-Raven, 2006).

3.1 Strategisk planlegging, tjenestenivå

Det er laget fornyelsesplaner for vann og avløp mange byer over hele verden. For eksempel i Wellington, New Zealand, dekker fornyelsesplanen en 10-års periode med følgende tre hovedmål:

- Sikre alle innbyggeres helse og miljø
- Ledningsnettets skal ha en pålitelighet for å møte krav i lovgivning og tilfredsstiller kundene
- Ledningsnettets skal ha nok kapasitet til å betjene alle innbyggere med vannforsyning og avløpstjenester.

I spørreskjemaet ble det spurt etter drivkrefter for fornyelse av vann og avløpsledninger. Dette var for vannledningsnett hovedsakelig styrke, vanntap, vannkvalitet, pålitelige tjenester og koordinering med andre arbeider. For avløpsnett var dessuten oversvømmelser og forurensing viktige drivkrefter. Dette er viktige kriterier for tjenestenivå.

De korresponderende økonomiske behovene er noen ganger analysert med metoder som bygger på livssyklusanalyser for grupper av ledninger, aggregert til hele ledningsnettets. I analysen for Wellington, New Zealand, er nåverdien for ledningsnettets beregnet som fornyelseskostnadene for hele nettet minus avskrivning av eksisterende nett relatert til anleggsår.

3.1.1 Oppnåelse av tjenestemål

En overordnet strategi for fornyelsesplanlegging forutsetter en forståelse av nåværende tilstand og forventet fremtidig utvikling. Tjenestenivåer er diskutert i ulike sammenhenger. Indikatorer er mye brukt for å måle oppfyllelse av tjenestemål, gjerne sammenlignet med ressurser som brukes for dette. USEPA har sammenlignet indikatorer for tjenestenivå fra flere land (USEPA, 1999). De anbefalte indikatorene for vannforsyningsnett er:

- Klager fra kunder (lukt, smak, farge, trykk, avbrutt tjeneste), samlede klager pr geografisk område, pr 1000 kunder
- Forsyningsavbrudd (tid/kunde, planlagt/ikke planlagt)
- Ledningens tilstandsgrad
- Brudd pr ledningslengde, år, arealtype, type ledning
- Lekkasje, prosent av totalt produsert vann, totalt volum, volum pr enhetslengde
- Vannforbruk, % av produsert
- Prosjektert vannbehov om 5 år/nåværende kapasitet
- Vannforbruk pr personekvivalent
- Prosent av brudd, lekkasjer et c som er reparert innen x timer etter melding

Tilsvarende indikatorer for avløpsnett er:

- Rørtilstand i sammenheng med lokalisering
- Antall dager avløpsmengden overstiger kapasiteten til renseanlegget.

- Blokkeringer pr år og rørlengde
- Kollaps pr år og rørlengde, rørmateriale, alder, diameter og dato for feil
- Prosjektert nødvendig kapasitet om 5 år/nåværende kapasitet
- Antall leiligheter oversvømt av avløp, forårsaket av blokkeringer, feil ved utstyr, kapasitet
- Overløp og hendelser på grunn av blokkeringer
- Overløp pr rørlengde pr 100 abonnenter

Internasjonalt er IWA Benchmarking system eller World Bank Benchmarking system for vannressurser (IBNET) mye brukt. Modeller og programvare er utviklet for å bruke disse systemene. I Storbritannia er tjenestenivåer utviklet av det britiske OFWAT (vannregulator). Flere byer bruker indikatorsystemet for ledningsfornyelse som ble utviklet av de europeiske prosjektene CARE-W og CARE-S. I disse prosjektene ble en rekke indikatorer utviklet for å analysere ledningstilstand og behov for rehabilitering. Disse indikatorene har som mål å analysere omfanget av problemer og effektiviteten av tiltak. Ved å kombinere indikatorer for tjenestekvalitet og økonomiske indikatorer, kan kost – effektivitet uttrykkes. Men disse resultatene må brukes med forsiktighet, siden det ikke er mulig å inkludere alle variasjoner og komplekser i et begrenset antall indikatorer

CARE-W og CARE-S deler indikatorene i følgende grupper:

- Driftsindikatorer (operational indicators)
- Økonomiske indikatorer (financial indicators)
- Indikatorer for tjenestekvalitet (quality of service indicators)
- Vannressursindikatorer (water resources indicators)
- Fysiske indikatorer (physical indicators, eksempel grunnforhold, temperatur)

En benchmark studie som ble utført i 2002 sammenlignet 35 byer fra 9 land, og representerte alle deler av Europa (Alegre et al 2003). Byene ble spurt om data for 49 indikatorer. Noen data, for eksempel feil ved hovedledninger og stikkledninger, vanntap, kapasitet i distribusjonssystem og lagringskapasitet, rehabilitering av hovedledninger og stikkledninger ble presentert fra de aller fleste byene. Andre indikatorer, som feil ved strømforsyning, årlige investeringer for nye og oppgradering av hovedledninger var ikke tilgjengelig i de fleste byene. En tilsvarende benchmark ble utført for CARE-S i 2004, og omfattet 20 byer og 40 indikatorer.

Illustrasjonen nedenfor viser rehabilitering av hovedledninger fra byene som var inkludert i undersøkelsen av vannledninger. I gjennomsnitt 0.91 % av nettet ble rehabilitert pr år. 50 % av byene hadde en fornyelsesrate mellom 0.25 % og 1.3 % pr år. Dette synes å være en normal fornyelsestakt for vannledningsnettet i byer

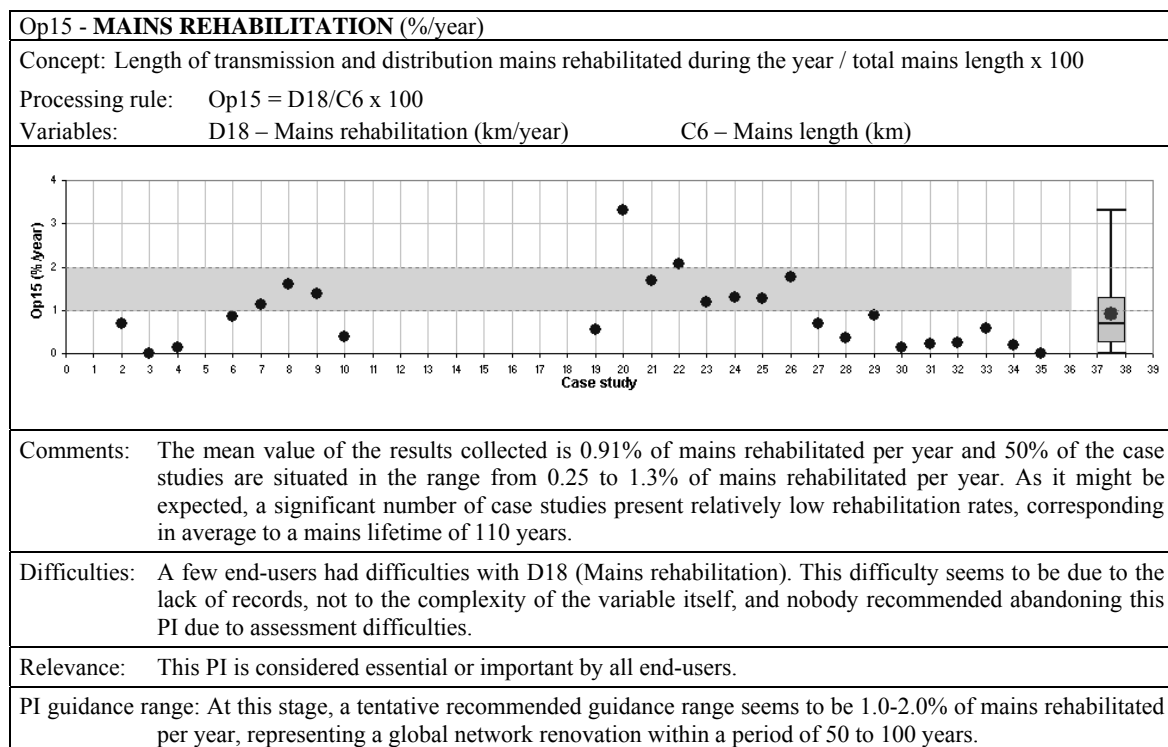


Figure 3.1. Eksempel av en PI rapport.

3.1.2 Risikobasert fornyelse

Vurderinger mht tjenestenivå bør også inkludere risiko, dvs. sannsynligheten for at en ønsket funksjonalitet ikke kan bli oppnådd, og konsekvensen av dette. En risikobasert fornyelsesplanlegging inkluderer som første steg en beskrivelse av mulig farer formulert i såkalte hendelsestre eller feiltre, og tilhørende påvirkning. Det andre steget er en analyse av forebyggende tiltak og kostnader. Til slutt er akseptabelt risikonivå og kostnader vurdert og en strategi foreslått.

Således inneholder en risikobasert planlegging en analyse av ulike strategier for rehabilitering og hvordan denne vil forbedre risikonivået. Eksempel: rørinspeksjon av avløpsledninger gir informasjon om tilstand presentert som tilstandsklasse. Hver klasse er forbundet med en sannsynlighet for at ledningen ikke vil fungere tilfredsstillende; f eks tilstandsklasse 5 gir høy sannsynlighet for kollaps og følgende manglende vannføringsevne. Konsekvensen av dette er stor sannsynlighet for utslipp til sårbare vassdrag og oversvømmelser i kjellere. Dette vil ramme et antall abonnenter og koste et antall tusen kroner. CARE-W og CARE-S filosofien inkluderer sannsynlighet og konsekvens på tilsvarende måte.

Risikovurdering blir mer og mer grunnleggende for ledningsforvaltning, og en rekke bøker er skrevet om dette i løpet av de senere årene. Prosjektet TECHNEAU, for eksempel (www.techneau.org/), har inkludert en større seksjon om risikometodikk, der både vurdering av risiko og planlegging av tiltak for å redusere risiko er inkludert. Prosjektet utvikler også en database for risikohåndtering i drikkevannssystemer.

Som et eksempel på nyere artikler vil vi nevne en artikkel om risikohåndtering I amerikanske drikkevannssystemer: "Risk and opportunity in upgrading the US drinking water infrastructure system" publisert i "Journal of Environmental Management, Elsevier", 2007, skrevet av Rogers and Louis. Denne artikkelen presenterer en praktisk tilnærming for en objektiv

risikobasert planlegging. Hensikten er å opprettholde ønsket tjenestenivå og leveringssikkerhet, der en tar hensyn til usikkerhet ved fastsettelse av nødvendige budsjetter.

Vannselskapet Three Valleys Water i London har utviklet en risikobasert forvaltningsmodell for vannledningsnett. Den er basert på 4300 prøver fra ledningsnett som har blitt grundig undersøkt i laboratorium og vurdert sammen med en statistisk analyse av bruddhistorie og andre parametere. De bruker denne informasjonen til å predikere fremtidige feil, som igjen er viktig for prioriteringen av fornyelsesprosjekter. Metoden omfatter også en grundig analyse av driftskostnader (OPEX) og nåverdien av ledningsnett.

3.1.3 Eksempel på bruk av ledningsinformasjon

Wood et al (2007) introduserer en måte å konstruere en ledningsdatabase som kan brukes for ledningsnett. De konsentrerer seg om brudd på ledninger, siden de også betrakter dette som inngangsporten til informasjon som er relevant for kontaminering av drikkevannet. Et eksempelstudium ble gjennomført for byen Marple Ridge i Kanada, og følgende erfaringer ble oppsummert:

- *Behandling av data er nøkkelen til suksess.* For eksempel, innsamling av data om grunnforhold forbedret forståelsen for sammenhengen mellom jordtype og antall brudd i ledningsnett. Men sammenstilling av data om grunnforhold er avhengig av kompetanse på dette feltet.
- *Konstruerte databaser har noen begrensninger:* Innsamlede data er ikke alltid nøyaktige og kvantifiserbare. Disse begrensningene kan overvinnes med et program som verifiserer dataene over tid.
- *Fremtidige feil må registreres og verifiseres.* Ansvarlig ingeniør bør sørge for at det utvikles langtid strategier som forbedrer og verifiserer både bredde og tillit til databasen. Bruk alle anledninger til å samle inn rørprøver, og verifiser kvaliteten av innvendig beskyttelse, grøftarbeid, tilbakefylling og utvendig beskyttelse.
- *Intervjuer kan fange opp informasjon som er kjent av personellet men ikke rapportert.* Medlemmer av personellet deler mer informasjon når intervjueren begynner med å diskutere konkrete observasjoner og så diskuterer hvor vanlige disse er. Personellet er ofte ukomfortable med å dele egne observasjoner, hvis de ikke også kan nevne unntak.
- *Oppbygging av database forbedret organisasjonsmessig kommunikasjon og beslutningstaking.* En dialog om databruk har blitt utviklet som leder til at kunnskap etableres og deles i hele organisasjonen. Når en slik felles plattform er etablert, er det mulig å hente fra ytterligere opplysninger som vil forsterke informasjonsutvekslingen. Etter hvert som nye dataverktøy blir tilgjengelige, må det vurderes hvilke av dem som vil møte fremtidige behov og som derfor skal kjøpes inn og implementeres.
- *Denne arbeidsmetoden kan tilrettelegges for vann, avløp, overvann og andre systemer for å forbedre arbeidet med ledningsfornyelse, såvel som drift og vedlikehold, fastsettelse av funksjonskrav og nivå for vannavgiftene.*
- *Marple Ridge distrikt gjør endringer basert på resultater fra denne studien.* Vannselskapet undersøker nå metoder for å forbedre prioriteringen av prosjekter for ledningsfornyelse i sammenheng med risiko for brudd på ledningsnett. Som et resultat av studien, har selskapet endret sin praksis mht datainnsamling og datalagring. Data om fornyete ledninger blir nå tatt vare på, felldata blir samlet inn når nye rør er installert og nye formater for informasjon om ledningsbrudd er implementert. Kommunikasjon mellom etatene om bruk av data forbedrer seg stadig, siden etatene jobber sammen om datafangst. Dette bidrar også til å få en bedre forståelse for de ulike avdelingers rolle i å oppnå det felles målet om effektiv ledningsforvaltning.

3.2 Taktisk planlegging

Fornyelsesprosjekter er vanligvis definert etter en analyse av styrkemessig tilstand og strømnings teknisk funksjon. Hydrauliske modeller er ganske vanlige for drikkevannsledninger. Pålitelighetsanalyse er utført av noen få brukere. Slike analyser gir en vurdering av konsekvensene hvis feil på en ledning gjør at den for en periode må tas ut av tjeneste. Styrkemessig tilstand er vanligvis bestemt fra feildatabaser, og der brudd er viktigste feilårsak for vannledninger.

I følge Wood et al 2007, er det generelt fire ulike prinsipper for prioritering av ledninger for fornyelse:

- Anvist punkt der ledning er nedbrutt
- Break-even analyse (prediksjon av sannsynlighet for brudd, utskifting når sannsynlighet er uakseptabel)
- Regresjonsanalyse for feilsannsynlighet
- Mekanistisk metode, dvs. innsamling av rørprøver Dette er mest aktuelt for store vannledninger med kostbare feilkonsekvenser. (Rajani 2001).

Internasjonal praksis mht tilstand på ledningsnettet kan sammenfattes som følger: GIS-baserte databaser inneholder koordinater for ledningsnett, temakart, feildata, inspeksjonsrapporter og for avløpsdata TV-inspeksjon. I noen land er ledningsregistre vanlig, som for eksempel i New Zealand, der registeret inneholder alder, tilstand, funksjon, materiale, feilhistorie etc. Mange systemer er egentlig bare en utvidelse og tilpasning av kommersielle GIS-systemer, og ikke et egentlig beslutningsstøttesystem. Derfor er det egentlig begrensninger mht å tilleggsinformasjon ut av dataene.

Leveringssikkerhet, feilhistorie og predikerte feil, vanntap og vannkvalitet er de viktigste kriteriene for fornyelse av ledningsnettet for drikkevann er. CARE-W har en multikriterie metode for rangering av kandidater for fornyelse, ved å bruke kriteriene ovenfor sammen med kundetilfredshet og koordinering med arbeid på annen infrastruktur. CARE-S har en tilsvarende metoder for rangering av fornyelsesprosjekter på avløpsnettet, basert på strukturell tilstand, kapasitet og kundetilfredshet.

WRc Sewerage Rehabilitation Manual (2001) er en avansert veiledning for avløpsnett som er mye brukt internasjonalt. Den er basert på forskning og utvikling og praktiske erfaringer over en 20 års periode og beste praksis fra Storbritannia og resten av verden. Manualen viser bestemmelse av avløpsledningers strukturelle tilstand, nedbrytning og fare for sammenbrudd, hvordan hydraulisk funksjon skal bestemmes og hvordan en kan få mest mulig ut av eksisterende avløpsnett. Den har også en veiledning for styrkemessig design av renovering. Analysene av hydraulisk og styrkemessig funksjon er videreført i CARE-S og der støttet av programvare.

3.3 Teknisk planlegging

Teknisk planlegging omfatter valg av riktig teknologi til at bestemt fornyelsesprosjekt. CARE-S gir dataverktøy og databaser for denne anvendelsen. Men mange høyt utviklete land, som Italia og Tyskland, bruker fremdeles ikke renoveringsmetoder i særlig grad. Det er likevel en viss bruk av renovering for vannledninger i disse landene, og sementmørtelforing synes å være den viktigste metoden.

I Storbritannia har en vesentlig del av renoveringen hittil vært drevet av vannkvalitetskrav, og isolasjon av rørveggen for å unngå korrosjon har vært ent viktig formal. Epoksy og senere polyuretan er en hovedmetode. Dersom det er nødvendig å tilføre styrke har inntrekking av PE-rør

og rørsprengning vært hovedmetodene. Det er oppnådd en tydelig forbedring av vannkvaliteten. Imidlertid er trenden framover en større vektlegging på å hindre brudd, slik at metoder som gir styrke blir mer aktuelle, se også avsnitt 5.2.1.

3.4 Nasjonale retningslinjer for fornyelse

Den offentlige reguleringskontoret OFWAT bestemmer de generelle betingelsene for de britiske vannselskapene, for eksempel utvidelse av systemer, fornyelsesbehov og den resulterende vannavgiften. I en statusrapport fra 1999 ble de kritisert for å ha en tilbakeskuende tilnærming til vedlikehold. Dette førte til at OFWAT sammen med den engelske vannindustriens forskningskontor (UKWIR) utviklet et felles rammeverk for økonomiske basert vedlikeholdsplanlegging. Dette er en risikobasert metode som har motivert vannselskapene til å satse mer. Foreslåtte investeringer er nå ofte funksjonsfokuser, basert på data og analysert med hensyn til livssyklus kostnad. Det er viktig å måle funksjon gjennom spesielt definerte nøkkeltall (Key Performance Indicators, KPI) Resultatene skal brukes til å analysere hvorfor, når og hvor det skal investeres ledningsnett.

Disse retningslinjene har medført at flere data har blitt samlet inn. Vannselskaper har investert i rørprøver som har blitt undersøkt for tilstand og korrosjon. Dette har gitt et nødvendig grunnlag for den risikobaserte tilnærmingen.

Som nevnt i avsnitt 3.2, er WRC Sewerage Rehabilitation Manual den mest omfattende veiledning for oppgradering av avløpsnett. Den inneholder følgende en prosedyre for planlegging og implementering:

- Hvordan velge avløpsledninger for undersøkelse
- Detaljert beskrivelse av analysemetoder
- Når og hvordan vurdere oppgradering og rehabilitering
- Identifisering av hensiktsmessig rehabiliteringsalternativer
- Forberedelse av detaljerte arbeidsskjema
- Dag-til-dag vedlikeholdsprogrammer og langtids strategisk planlegging
- Harmonisering av europeiske standarder
- Referanse til europeisk standard EN752-7:1998
- Alternative prioriteringsmetoder for inspeksjonsprogrammer
- Graderingssystemer for tilstandsklassifisering
- Forbedrede designmetoder for nye teknikker

Nåværende versjon er fra 2001, og en ny versjon er planlagt.

Drikkevannstilsynet i Storbritannia (Drinking Water Inspectorate, DWI) har utgitt en veileder for krav ved renovering av vannledninger (2004). Den inneholder praktiske veiledninger ved utføring av ledninger med epoksy og polyetylen (PU).

EU utvikler for tiden standarder for alle materialer og produkter i kontakt med drikkevann gjennom et felles European Acceptance Scheme (EAS). EAS betrakter materialer og produkter definert som byggesteiner og det ferdig EAS vil beskrive krav til aktuelle testmetoder.

3.5 Lovgrunnlag

Da den britiske vannindustrien ble privatisert I 1980 årene, ble et nytt lovgrunnlag utviklet. Dette inkluderer etableringen av en kontrollenhet, OFWAT, som opptrer som en kontraktspartner med

vannselskapene og følger opp tjenestenivåer sammenlignet med prissystem. Vannselskapene lager femårsplaner som er forhandlet og må aksepteres av OFWAT

I Portugal har en noe annerledes kontrollenhet blitt etablert, uavhengig av staten og vannselskapene, og med autoritet basert på integritet og kompetanse. Selskapet IRAR kontrollerer effektiviteten til alle vann-, avløp og renovasjonsselskapene ved hjelp av innsamlede nøkkeldata og beregning av indikatorer, og publiserer resultatene. Nødvendige forbedringer blir ikke krevd av IRAR, men besluttet av lokale politiske styrer som ikke kan akseptere unødvendige begrensninger i vann-, avløp og avfallstjenestene. På den andre siden tilbyr også IRAR bistand til sluttbrukerne for å forbedre deres kunnskap og kapasitet. Et eksempel på dette er utgivelse av portugisiske retningslinjer til fornyelsesplanlegging.

I Italia har den såkalte Galli loven (lov 36/1994) og påfølgende retningslinjer fra regjeringen i 2000 tvunget lokale vannselskaper til en delvis privatisering, ved at offentlige selskaper har blitt aksjeselskaper. Små vannselskaper ble slått sammen for å redusere kostnadene og forbedre servicenivået. Et eget lovdekret n° 99/97 (Disposizioni in materia di risorse idriche: Decreto Ministero Lavori Pubblici n°99 del 8.1.1997) om krav til vannbalanseberegninger for hvert vannsystem ble utgitt i 1997. Et eget dokument "Carta di Servizio", behandler servicenivå og brukes til dialog mellom selskaper og kunder. Direktivet definerer servicenivåer hvor indikatorer skal fastsettes og nådd og som handler med kontraktsmessige forhold og tilgjengelighet for vannforsyning, god kvalitet og riktig pris. Eksempler på minste servicenivåer er

- Vann: Krav til mengde, trykk, leveringssikkerhet
- Avløp: Krav til minstevannhastighet i ledninger (0.5 m/s), oversvømmelseshyppighet på gater, (maks hvert 5.år)
- Vannkvalitet - egen italiensk standard (D.L.vo.n. 27 del 2002)
- Tilgjengelighet personell: kontinuerlig, maks utrykkingstid 1 time
- Overvåkning av trykk, lekkasjer
- Frekvens for oppdatering av vedlikeholdsplaner

I Tyskland gir Grunnloven (Grundgesetz) lokale kommuner retten til å forsyne innbyggerne med vann og avløpstjenester, side disse tilhører "tjenester av allmenn interesse". Kontrollmyndigheten er lagt til den enkelte delstatsparlament. Statlig kontroll er begrenset til retningslinjer med hensyn til misbruk av rettigheter. Det er ingen innblanding i investeringsplaner, finansiering, prising eller forvaltningsforhold. Generelt opererer den tyske vannsektoren svært åpent og svært nær kundene. Dette danner en intern kontroll som har ført til et meget høyt nivå på vann og avløpstjenester.

I New Zealand forbyr loven "Act Amendment no3" byer å utsette nødvendige investeringer til ledningsfornyelse, for å unngå senere økning av vannavgifter, slik at regningen for en eventuell infrastrukturkrise overføres til senere generasjoner.

4 Anvendte beslutningsstøtteverktøy

4.1 Metoder og programvare

Flere metoder og programvare er utviklet for å støtte drift, vedlikehold og fornyelse av vann og avløpsnett. Disse systemene bearbeider data fra ledningsregistre og GIS-systemer til mer avansert informasjon som kan brukes for å analysere tilstand og for å velge ut og rangere prosjekter. I det følgende er noen fremtredende programmer presentert, det belgiske HYDROPLAN, det britiske SEAMS, det italienske (europeiske) TILDE samt flere verktøy fra det europeiske CITYNET-programmet.

4.1.1 Hydroplan

Hydroplan (www.hydroplan-eu.com/) er lagt for å ”støtte bærekraftig forvaltning av ledningsnett”, og inkluderer metoder for planlegging av overvåkning, vedlikehold og prioritering av fornyelsesprosjekter, i første omgang for avløpsnett. Det er bygget av moduler slik at modellbygging og planlegging kan skje over flere år. Følgende arbeidsrekkefølge anbefales av utvikleren:

- *Foreløpig studium – innsamling og kvalitetssikring av data.* I denne fasen samles all tilgjengelig informasjon om avløpsnettet og omgivelsene og legges inn i en egen database. En referanseramme (mål for virksomheten) bestemmes i samråd med vannselskapet.
- *Definere strategiske komponenter i et avløpssystem.* Avløpsledningene klassifiseres med hensyn til sosiale, økonomiske og økologiske konsekvenser av feil. Resultatet presenteres i et strategisk kart som indikerer hvilke avløpsledninger som har stor betydning for vannselskapet (rød) og hvilke som har liten betydning (grønn)
- *Identifisering av flaskehalsen i nettet.* Innenfor de strategiske sonene er det et behov for mer detaljerte data om ledningsnettet. Innsamling av slike data er kostbare. For å spare og spre kostnader, utarbeides en plan for datainnsamling. Denne vil i tillegg til de strategiske sonene også inkludere hovedavløpsledningene. Alle data registreres i databasen. Viktige hendelser blir fortløpende rapportert til vannselskapet og registrert i et oppfølgingssystem.
- *Risikoanalyse av hydrauliske, strukturelle og økologiske feil.* Avløpsnettets funksjon er sammenlignet med en ideell referanseramme som vannselskapet har fastsatt på forhånd. En risikoanalyse utføres både for vannføringskapasitet, styrke og konsekvenser for økologi. Alle data fra tidligere trinn benyttes, i tillegg til alder, inntrengning av røtter, aggressiv vannkvalitet, antall tilknyttede PE, tilknyttede impermeable overflater og vannkvalitet resipienter. På grunnlag av dette blir kart over kritiske avløpsledninger produsert. Tre fargede avløpskart gir vannselskapet en total oversikt over ledninger med høy risiko med hensyn til vannføringskapasitet, styrke og konsekvenser av feil.

Hydroplan er et relativt enkelt planleggingssystem som er fokusert på konsekvenser av feil og nærmest en applikasjon av GIS. Metodikken er oversiktlig, men anvendelsen bør skje innenfor rammen av etablerte ledningsregistre. Systemet har ikke innebygde beregningsrutiner for prediksjon av tilstand og beregning av sikkerhet mot kollaps og blokkering, samt beregning av reell vannføringskapasitet som CARE-S har, og må derfor betraktes som et mindre avansert verktøy.

4.1.2 SEAMS

SEAMS (www.seamsltd.com) er en kommersiell programvare som er utviklet for å støtte vedlikehold og fornyelsesplanlegging, av vannledningsnett. En egen modell (WILCO) knytter sammen kostnader, risiko, servicegrad og tilstand. Et mål for dette produktet har vært å etablere et

felles språk mellom finans og ingeniørfag, slik at kommunikasjon i organisasjonen kan bli lettere. Denne teknologien er spesielt utviklet for å støtte vannselskapet i:

- Opprettholde en effektiv infrastruktur med hensyn til reparasjon og fornyelse
- Balansere drift og kapitalinvesteringen
- Vurdere risiko
- Optimalisere vedlikehold
- Beregne investeringer for ulike scenarier

SEAMS er utviklet av britiske universiteter og bygger mye på avansert statistikk (generiske algoritmer). Økonomi ved drift og vedlikehold er vektlagt spesielt.

4.1.3 Verktøy for integrert lekkasjekontroll (TILDE)

TILDE (TILDE Water Portal, Internet, www.waterportal.com) står for Tool for Integrated Leakage Detection (verktøy for integrert lekkasjedeteksjon) og støtter arbeid med lekkasjer i kommunene. Programvaren inneholder en rutine for rask kontroll av lekkasjenivået sammenlignet med beste praksis og en webportal med informasjon om metoder for lekkasjekontroll.

TILDE Leakage Check-up: Som et første skritt kan kommune få en oversikt over eksisterende lekkasjesituasjon. Denne rutinen bruker Infrastruktur Lekkasje Indeks (ILI) som er forholdet mellom årlige reelle tap og uunngåelig årlig tap, dvs. tilstand og potensial for forbedring. Den beregnede ILI sammen med en beregnet forsyning/forbruk balanse gir en ytterligere oversikt over tilstand og forbedringspotensial.

TILDE Decision Support Tool (DST): er basert på anbefalinger fra IWAs vannbalansetabell og inkluderer en metode for benchmarking.

TILDE Management System (DMS): TILDE DMS er et program som lager alle lekkasjedata som kommer fra måling av vannføring, trykk og lyd (akustiske sensorer). Data for lekkasjekontroll og reparasjoner er også inkludert. I tillegg er et program som prioriterer lekkasjekontroll mellom soner inkludert. DMS inkluderer et program for lagring av alle data knyttet til lekkasjekontroll, fra mengde, trykk og akustiske sensorer, og en beregningsmetode for å prioritere soner med hensyn til lekkasjekontroll.

TILDE har sin styrke som oppslagsverk, dvs. et sted hvor en kan finne informasjon om teknologi for lekkasjekontroll. Enkle bergningsmetoder for grovkartlegging av lekkasjesituasjon kan også være nyttig.

4.1.4 CityNet programvare

The CityNet cluster (<http://citynet.unife.it>, Krebs et al 2007) besto av seks individuelle prosjekter knyttet til ledningsnett for vann og avløp og foreslått uavhengig av hverandre under det femte europeiske rammeprogrammet for forskning. Prosjektene ble gjennomført i 2001-2006 og er svært kort beskrevet i tabell 4.1, hvor web adresser er gitt for detaljert informasjon om prosjektene. CITYNET prosjektene behandlet aldrende ledningsnett for ulik måte, men alle behandler konsekvenser av nedbrytning av ledningsnett.

Generelt gir flere av CITYNET programmene vitenskapelig sett kraftige verktøy som representerer fremste front med hensyn til programvare. Særlig AISUWRS (konsekvenser av utlekking for grunnvannskvalitet), APUSS (inn- og utlekking av avløpsledninger), CARE-S (rehabilitering av avløpsnett) og CARE-W (rehabilitering av vannledningsnett) er viktige analyseverktøy for ledningsnett.

Tabell 4.1 De 6 CITYNET prosjektene

AIUWRS (Assessing and Improving Sustainability of Urban Water Resources and Systems). Integrert modell for forurensningstransport i et urbant system som inneholder vannledninger, avløpsnett, overvann, grunnvann, med tilhørende retningslinjer og anbefalinger for å sikre og beskytte urbane grunnvannsressurser mot forurensning.

Prosjektkoordinator: University of Karlsruhe, Tyskland. www.aisuwrs.de

APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems). Metoder og teknikker basert på traces (kjemikalier og teknikker basert på naturlige radioisotoper) for å tallfeste inn og utlekking i avløpsnett.

Prosjektkoordinator: INSA-Lyon, Frankrike. www.insa-lyon.fr/Laboratoires/URGC-HU/apuss

CARE-W (Computer Aided Rehabilitation of Water Networks). Integrert verktøypakke for optimal fornyelse av vannledninger

Prosjekt koordinator: SINTEF, Norge. <http://care-w.unife.it>

CARE-S (Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks). Integrert verktøypakke for optimal fornyelse av avløpsledninger.

Prosjektkoordinator: SINTEF, Norge. <http://care-s.unife.it>

CD4WC (Cost-effective Development of Urban Wastewater Systems for Water Framework Directive Compliance). Veiledning og støtte for å optimalisere samlet effekt av avløpssystemer med hensyn til økologiske konsekvenser i naturlige resipienter og med hensyn til investeringer og drift.

Prosjektkoordinator: TU Dresden, Tyskland. www.cd4wc.org

DayWater (Adaptive Decision Support System (ADSS) for the Integration of Stormwater Source Control into Sustainable Urban Water Management Strategies). Beslutningsstøttesystem for overvannshåndtering som integrerer teknisk informasjon og verktøy for beste praksis, samt metode for analyse av hydrologisk risiko.

Prosjektkoordinator: ENPC, Frankrike. www.daywater.org and www.daywater.cz

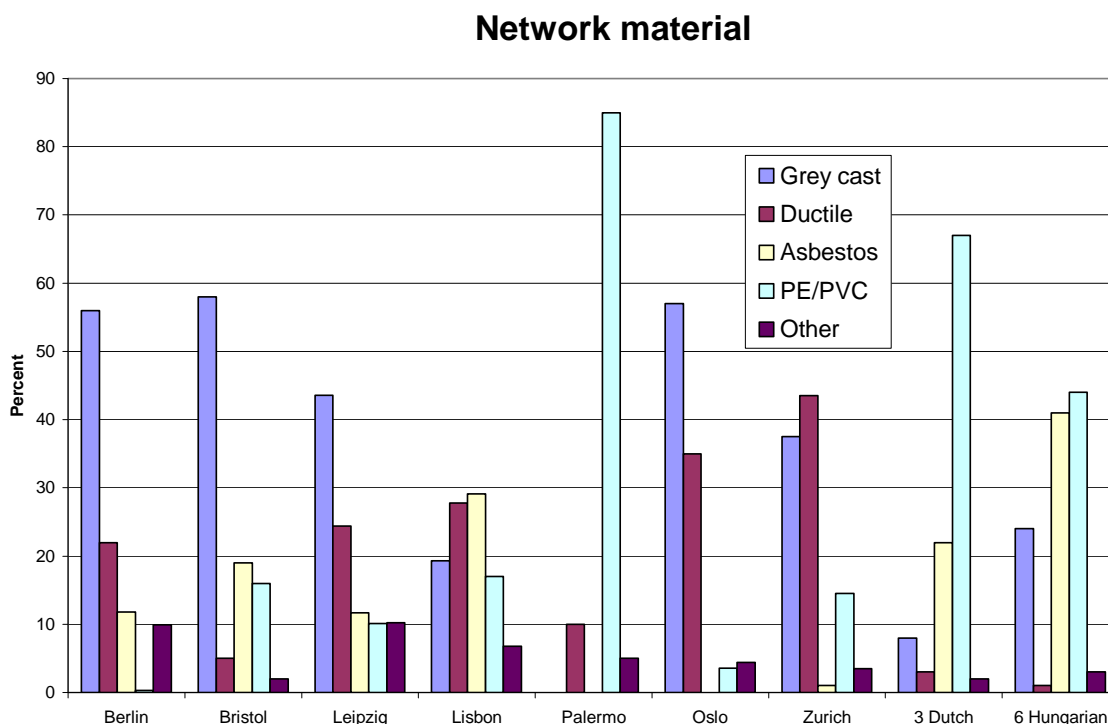
5 Eksempler

Prosjektet inneholdt en innsamling av data fra et antall byer ved hjelp av spørreskjema. Det ble mottatt svar fra noen byer, noen mer omfattende enn andre. Følgende tekst presenterer informasjon fra spørreskjemaet og fra et pågående EU prosjekt om vannforsyningssystemer (Techneau)

5.1 Analyse av spørreskjema

5.1.1 Status

Figur 5.1 og 5.2 viser noen hovedresultater fra spørreundersøkelsen

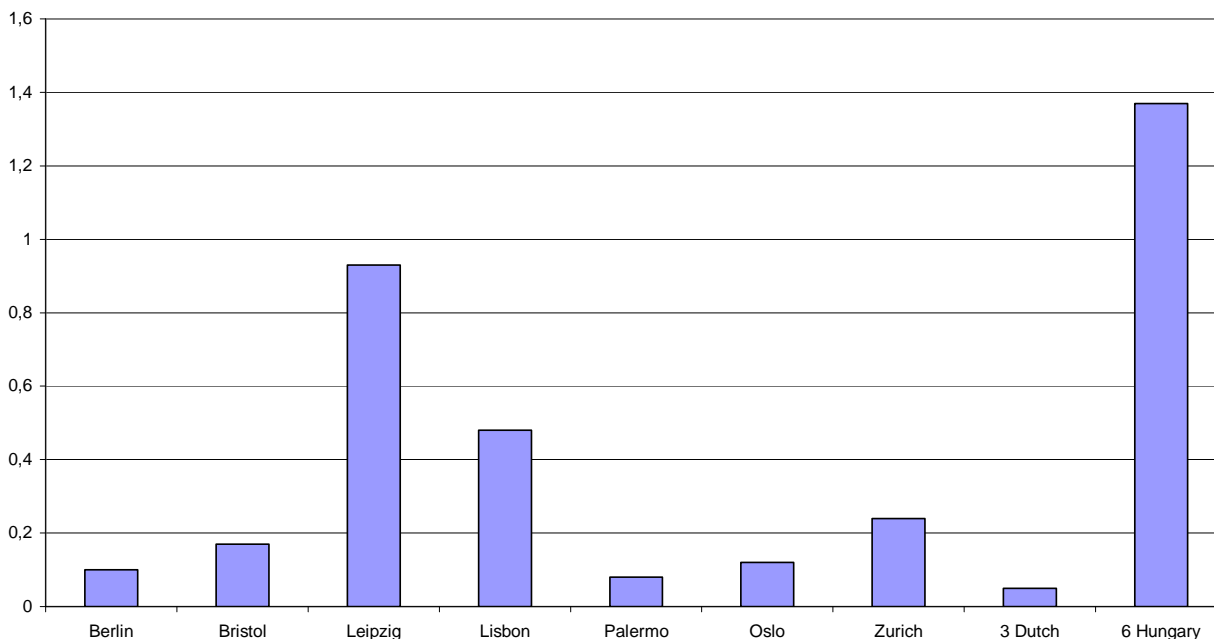


Figur 5.1 Ledningsmaterialer i noen europeiske byer

Figurene viser at de fleste byene i hovedsak bruker rør av grått og duktilt støpejern som materiale for vannforsyning. I Nederland samt i den italienske byen Palermo har plastrør en dominerende posisjon. Materialfordelingen reflekterer også aldersfordelingen for hovedledninger; byer med hovedsakelig plastrør har et relativt nytt nett, mens byer med en signifikant mengde grå støpejernsrør har et mye eldre nett. Der hvor asbestsementrør har stor andel, er det et tegn på at en større del av nettet er bygget i tiårene etter annen verdenskrig.

Feilhyppigheten reflekterer materialsammensetningen. I Ungarn, hvor feilfrekvensen er relativt høy, står de mest sårbare materialene støpejern og asbestsement for 2/3 av nettet og i Leipzig er en stor del av nettet ubeskyttet grått støpejern. På den annen side, i Nederland og i Palermo med et nytt plastrørdominert nett, er feilfrekvensen svært lav (figur 5.2)

Failures frequencies (failures/km/year)



Figur 5.2: Feilhyppighet i noen europeiske byer (vannledningsnett)

Det ble også samlet inn informasjon om avløpsnett i noen byer. Mens betong er dominerende materiale i Palermo og betong + keramiske rør er brukt i Lisboa (Oeiras et Amadora), så har de seks ungarske vannselskapene et nett hvor bare 30 % er eldre enn 35 år. Det er 10 ganger forskjell i feilrate mellom større byer i Europa, og dette illustrerer at det ligger en stor oppgave foran flere storbyer mht oppgradering av avløpsnettet.

5.1.2 Drivkrefter for fornyelse

I følge spørreundersøkelsen er nedbrytning av ledningsmateriale eller aldring den viktigste enkeltårsaken til fornyelse, mens vanntap, vannkvalitet og pålitelighet er sekundære årsaker. Det er en åpenbar sammenheng mellom strukturell tilstand, lekkasje og leveringssikkerhet og også vannkvalitet. De ansvarlige ingeniører synes derfor å vurdere generell styrkemessig tilstand som en hovedindikator. Som en konsekvens leder manglende styrke til svikt i leveringssikkerhet, fare for dårlige vannkvalitet og lekkasjer. Beslutningsstøttemodeller er generelt lite utbredt, men nederlandske byer oppgir at de vil bruke slike i fremtidige fornyelsesplaner.

Informasjon om drivkrefter for fornyelse av avløpsnett er tilgjengelig fra Ungarn, Italia og Portugal. Strukturell tilstand er en viktig drivkraft for disse ledningene, sammen med vurdert fare oversvømmelser. Sannsynligheten for oversvømmelse er i stor bestemt av opprinnelig hydraulisk kapasitet. Forurensningsutslipp er en konsekvens av de to ovenstående kriteriene. Det er forventet at større fornyelsesprogrammer for avløpsnettet vil bli igangsatt i Portugal og Italia i årene fremover. En forsøksplan basert på CARE-S er under utprøving i Palermo.

Generelt så har byene digitaliserte ledningsdatabaser, de bruker nøkkeltall og hydrauliske modeller og CCTV for tilstandsmåling og prioritering av fornyelsesprosjekter. De vil trenge en bedre vurdering av reelle feil og fornyelseskostnader. I Ungarn er fornyelsestenkning støttet av en nasjonal veileder. I Portugal bruker byene veiledninger fra det nasjonale forskningssenteret LNEC og regulatoren IRAR.

5.2 Praktisk drift, vedlikehold og fornyelse i europeiske byer

Dette kapitlet inneholder en kort gjennomgang av erfaringer med hensyn til drift, vedlikehold og fornyelse av vannledningsnett fra utvalgte byer fra ulike regioner i Europa, og presentert av TECHNEAU (Sægrov et. al 2006)

5.2.1 Bristol

Bristol Water har en total stab på 380 medarbeider. 230 arbeider med drift og vedlikehold. De leverer 29 millioner m³ drikkevann med en samlet salgsverdi på 110 millioner Euro til 500 000 kunder. Samlede løpende kostnader er 90 millioner Euro, og 21 % av disse er brukt til drift og vedlikehold. Kapitalkostnadene er 42 millioner Euro, hvorav 60 % er investeringer for ledningsfornyelse. En tredjedel av drift og vedlikehold er skilt ut i egne selskaper

Overflatevann utgjøre 84 % av forsyningen, resten er grunnvann. Dette behandles i 18 konvensjonelle renseanlegg. Kravet til restklor ved forbruker er 0.1 mg fritt klor.

Ledningsnettet har en samlet lengde på 6600 km, med 113 bassenger og 10 tårn. Det er delt inn i 386 distriktsmålerenheter og har 457600 stikkledninger. Majoriteten av ledningene består av grått støpejern (58 %), en mindre mengde duktilt støpejern (5 %), 19 % asbestsement og 14 % PE. Minimumstrykk er 10 m og maks er 60 m.

Ikke-fakturert vann er beregnet til 16% av produksjonen. Det er omtrent 1100 feil per år, noe som svarer til 0.17 feil pr km og år. 150 km (2.3 %) er rensset årlig, 17 km (0.026 %) er skiftet ut og 3.6 km (0.005 %) er renoveret. 821 påkoblinger (0.18 %) ble skiftet i 2005.

Bristol Water har satset på forbedring av vannkvaliteten over siste dekad og har ikke lenger problemer med bakterievekst, turbiditet, lukt og smak. Jerninnholdet overstiger fremdeles terskelverdien i korte perioder (15 ganger pr år).

Drift og vedlikehold utføres av tre avdelinger; Produksjon (kilder og behandlingsanlegg), Ledningsnett og Prosesskunnskap (rådgivning vedr vannkvalitet). Vedlikehold av ledningsnett og laboratorietjenester er skilt ut som egne selskaper. Det er laget prosedyrer som skal følges av eksterne firma som utfører tjenester for vannselskapet. Klager fra publikum har innvirkning på prioriteringen av drift og vedlikehold.

Det er laget egne prosedyrer for å sikre at vannkvaliteten opprettholdes under drift- og vedlikeholdsaktiviteter. Disse inneholder en vurdering av risiko for forringelse av vannkvaliteten og forslag til tiltak for å unngå eller begrense dette. Disse prosedyrene er et resultat av mange års erfaring ved Bristol vannverk, men også basert på generelle engelske retningslinjer.

Ledningsregisteret omfatter hele nettet og inkluderer ledningsdata, netters struktur, grunnforhold og forurenset grunn, sosioøkonomiske kategorier (ACORN), bakgrunnskart, flyfotografering og hendelsesdata. Ledningsnettet overvåkes med SCADA og inkluderer vannføring, trykk, driftsstatus, vannkvalitetsparametre, pumpehastighet, bassengnivå. GIS brukes i utstrakt grad for å presentere resultater.

Hydrauliske modeller er utarbeidet for hele nettet. De kan predikere trykk og vannføring for ulike driftsscenarier. Modellen er bare i meget begrenset grad blitt brukt for vannkvalitetsmodellering. De er derimot brukt for å optimalisere spyleprogrammer, ventilstyring og for å vurdere konsekvensen av å ta bassenger ut av bruk som en del av aktiv lekkasjekontroll.

Justering av ventiler er brukt aktivt for å unngå stillestående vann i nettet.

On-line overvåkning av vannkvalitet brukes. Data er samlet inn og lagret via SCADA og telemetri. Dette gir sanntidsovervåkning og tillater rask respons på alarmer. Følgende parametre er overvåket:

- turbiditet - R, T, D
- pH - R,T
- klor - T,W
- konduktivitet - R,T
- partikkelteller - T
- ammonia - R,T
- nitrat - R,T
- aluminium - T
- farge - R
- oppløst oksygen - R,T
- “streaming current detectors” - T
- ozon - T
- TOC - R
- fosfat - T
- jern - T

Hvor R = råvann, T = renseanlegg, D = distribusjon

Renovering av ledningsnett er delvis drevet av krav til vannkvalitet. Andre prosjekter som er gjennomført for å sikre vannkvaliteten omfatter oppgradering av renseanlegg, ombygging av deler av ledningsnettet, endring av strømningsforhold ved bassenger og etablering av stasjoner for klorering på ledningsnettet

Opprinnelig ble vannledninger rehabilitert med epoksy, men denne metoden er nå endret til PU (polyuretan) belegging. Andre anvendte metoder er inntrekking av PE-rør og utskiftning ved rørsprengning eller konvensjonelle ledningsanlegg. Tidligere var måling av jerninnhold i vannet utgangspunkt for renovering, men nå brukes mer brudddata over de siste 3 til 10 år. Det brukes et GIS verktøy for å prioritere individuelle ledninger. For tiden blir en strategi utviklet for å se både på brudd og forhøyede jernkonsentrasjoner i ledningsnettet. Det er noen begrensninger på grunn av at hendelsesdata ikke er nøyaktig koblet til sted, materiale og alder for de aktuelle ledninger

En standard prosedyre for desinfeksjon er brukt ved reparasjoner og renoveringer og for stikkledninger. Nettet rengjøres ved spyling for å unngå misfarging og bakterier i vannet. Pluggkjøring brukes av og til, men er begrenset fordi det vurderes at den kan skade rørmaterialet.

Bassenger rengjøres hvert fjerde år etter en detaljert prosedyre. Dette inkluderer tømning, vasking av bassengvegger, desinfisering og tilbakesetting til drift. Det gjøres egne tester av tetthet og styrke.

Aktiv lekkasjekontroll gjennomføres og en prøver å holde et minimum vanntrykk på 15 m. Det er ingen indikasjoner på at vannet har blitt forurenset på grunn av innsug til nettet.

Bristol Water har behov for modeller for prediksjon av feil.

5.2.2 Leipzig

Kommunale Wasserwerke Leipzig produserer drikkevann til 600.000 kunder med en total salgsverdi på 64 millioner Euro. 61 % av dette brukes for drift og vedlikehold. Kapitalkostnader er 19 millioner Euro, og 90 % av dette er investeringer for fornyelse av nettet. 80 % av drift og vedlikehold er satt ut på anbud. Totalt 26 millioner m³ vann er fakturert hvert år. Vannverket har total 260 ansatte, og drift og vedlikeholdsstaben er 112 personer.

Leipzig bruker grunnvann, og dette er konvensjonelt behandlet i 5 vannverk. Det er ikke krav om restklor ved tappepunktet.

Ledningsnettet er 2300 km langt, inkludert 19 bassenger og 77643 påkoblinger. Nettet er delt i 30 målerområder. 44 % av nettet består av grått støpejern, 24 % er duktilt støpejern, 9 % stål, 12 % asbestsement og 9 % PE. Halve nettet er uten adekvat korrosjonsbeskyttelse. Grenser for min og maks vanntrykk er 25 og 65 m.

Ikke-fakturert vann er beregnet til 21 % av vannproduksjonen. I 2005 ble det utført 2135 feilreparasjoner, dvs. 0.93 feil pr km. 500 km (21.8 %) av ledningsnettet ble rensert i 2005, 20 km (0.86 %) skiftet ut og 1.7 km (0.07 %) renoveret. 1243 påkoblinger (1.6 %) blir skiftet ut hvert år.

Resultatene fra analyserte vannprøver viser at grensenivået for mikrobiologiske, kjemiske og fysiske parameter er overskredet med 159 prøver I 2005, 20 av dem på bakteriologiske parametre.

Det er lagt vekt på å beskytte vannkildene, og diffusjonstette plastledninger brukes i forurenset grunn. SCADA brukes for å registrere vannføring, trykk, nivå i bassenger, driftstimer og pH. Trykk, hastighet og oppholdstid beregnes med en hydraulisk modell. Denne modellen brukes aktivt for å definere trykksoner, optimalisere strømningsbetingelser og rørdiametre ved fornyelsesprosjekter og for å optimalisere driftskostnader. Ventiler blir regulert for å tilpasse oppholdstid og vannhastighet. On-line sensorer måler trykk og pH ved hver lekkasjesone og andre representative punkter på nettet. Målingene kontrolleres og brukes for å sjekke eventuelle feil på nettet. Et eget dataprogram, SAP R/3, brukes for å optimalisere drift og vedlikeholdsplanleggingen,.

Forbedring av vannkvaliteten er en hovedårsak til renovering av vannledninger. Et hovedmål er å redusere rørdiameter og bassengvolum i et overdimensjonert ledningsnett. Renovering utføres ved hjelp av utforing av rør eller rørsprengning. Et eget program, OPTNET, brukes for å planlegge rehabiliteringen. Det tar utgangspunkt i den hydrauliske situasjonen og den strukturelle tilstanden. Fornyelsesprosjekter skal samsvare med tekniske standard fra den tyske foreningen for gass og vann (DVGW).

Retningslinjer for hygiene brukes ved reparasjoner og renoveringsarbeider, i samsvar med DVGW Teknisk Standard W291. Nye ledninger er systematisk rengjort og desinfisert med H₂O₂. Etter en reparasjon blir ledningen også spylt, men bare av og til desinfisert. Vannprøver blir alltid tatt ut umiddelbart etter spyling og en dag etter reparasjon eller renovering. Desinfeksjon brukes ikke ved utskiftning av påkobling, siden dette kan påvirke vannkvaliteten i hovedledningsnettet.

Det utføres omfattende spyling av ledningsnettet I Leipzig. Endeledninger blir rengjort her måned for å unngå stagnasjon og rødt vann. Rutinene er basert på erfaringer, klager fra abonnenter og vannprøver. Bassenger inspiseres og renses årlig, etterfulgt av desinfeksjon av bassengbunn med klor.

Lekkasjekontroll gjennomføres ved trykkmålinger, men kravet om minimum 25 m vanntrykk opprettholdes. Det er ingen bevis på forurensning på grunn av innsug. Resultatene fra lekkasjekontrollene brukes imidlertid ikke ved fornyelsesplanleggingen.

Som et framtidsmål har vannselskapet I Leipzig som ambisjon å utvikle koordinerte vedlikeholdsprogrammer med andre kommunale tjenester som gatevedlikehold, gass, tele og avløp. De ønsker også å integrere programvare for økonomisk planlegging med GIS.

5.2.3 Lisboa

EPAL er et offentlig selskap som er ansvarlig for vanddistribusjonen i Lisboa, så vel som hovedforsyningen til ca 3 mill mennesker i "stor-Lisboa" og nord for byen. Det etterfølgende gjelder kun den delen av selskapet som driver vanddistribusjon. I 2005 solgte dette selskapet 61 millioner m³ vann for 77.7 millioner Euro. Selskapet har 402 ansatte, 193 arbeider med drift og vedlikehold.

Selskapet har investert mye i fornyelse av distribusjonsnettet. I 2005 var derfor utgiftene større enn inntektene, 71 millioner Euro i drift og 21 millioner Euro i kapitalkostnader. Drift og vedlikehold står for 86 % av de løpende kostnadene. Investeringer i utskiftning og renovering av ledninger står for 89.5 % av de totale kapitalkostnadene.

Den viktigste vannkilden er overflatevann (86 %). De øvrige kildene er borehull (12 %) og naturlige kilder (2 %). Dette påvirker valgte behandlingsløsninger; 86 % renses på tradisjonelt vis mens 14 % kun behandles med desinfeksjon.

Ledningsnettet er 1427 km og de viktigste materialene er asbestsement (29 %), duktilt støpejern (28 %), grått støpejern (19 %) og polyetylen (17 %). I 2005 ble det utført 692 reparasjoner på ledningsnettet, dvs. 0.48 pr km. 6594 påkoblinger (7.3 %) ble skiftet ut. 85 km ledningsnett ble fornyet, hovedsakelig ved utskiftning. Asbestsement og støpejernsledninger blir erstattet av PE ledninger. Lisboa ligger i et jordskjelvutsatt område.

Drift og vedlikehold er inndelt i to ulike avdelinger. Aktiviteten er støttet av to databaserte informasjonssystemer, der generelt kartverk, SCADA, kunderegister og et vedlikeholdssystem er de viktigste. Den hydrauliske modellen dekker ledningsnettet fra 200 mm og oppover. En prosedyre for automatisk oppdatering av topologi for nettet er under utvikling. Register over klager eksisterer og de brukes som begrunnelse for vedlikehold (spyling). Ledningsmodellen er for enkel for bruk til vannkvalitets modellering, men brukes for forenklet beregning av oppholdstid og klorrest. Vannselskapet arbeider mot en fullstendig nettmodell som inkluderer alle ledningene.

Det er godt definerte prosedyrer for vedlikeholdstiltak på nettet, så som reparasjon, spyling, lagringstankerrensing etc., inkludert naturlig hydrauliske prosedyrer. Selv om resultatene er tilfredsstillende og det ikke er noen større problemer, så er selskapet interessert i å utvikle seg videre ved å dele sine gode og dårlige erfaringer med andre selskaper. De vurderer nettet som en "svart boks" med hensyn til vannkvalitet.

On-line vannkvalitetssensorer er brukt for å male restklor, PH, turbiditet, vanntemperatur og konduktivitet. Sensorer er som regel installert på distribusjonsnettet og leveransepunkter til større abonnenter. Andre er installert ved bassenger og pumpestasjoner.

Spyling er rutine og blir vanligvis utført på bakgrunn av klager fra abonnenter på kjente problempunkter, så som blindledninger. I tillegg blir programmert spyling gjennomført innenfor

lekkasjesoner. Nettet skal deles i 130 lekkasjesoner og 30 av dem er allerede driftsklare. Når en ny lekkasjesone er etablert, blir spyling gjennomført og resultatene studert og lagret. Vannprøver blir tatt før og etter spyling. Dersom en lekkasjesone blir vurdert som problematisk med hensyn til avsetninger, blir en periodisk spyleplan satt opp. Spylesekvensen blir bestemt på grunnlag av vannføring. Ventiler og hydranter blir systematisk brukt i dette arbeidet.

Ved planlegging av lekkasjesoner, skal antallet blindledninger holdes på et minimum. Når dette ikke er mulig, avstanden uten forbruk på hver side av den nye soneventilen gjort som kort som mulig. Lekkasjesonene blir utstyrt for kontinuerlig overvåkning av vannføring og trykk. Hensikten er å oppdage større lekkasjer så fort som mulig.

5.2.4 Zürich

Zürich vannverk produserer drikkevann til omtrent 300 000 kunder med en total salgsverdi på 82.5 millioner Euro. Samlede driftskostnader er 42 millioner Euro, og av dette er 75 % brukt til drift og vedlikehold. Kapitalkostnadene er 40 millioner Euro, og 72 % av dette er investeringer for utskiftning og renovering av ledninger. Bare 5 % av drift og vedlikehold er satt bort til private. Zürich vannverk har 277 ansatte, med en drift og vedlikeholdsstab på 200.

70 % av vannforsyning i Zürich kommer fra overflatevann, 15 % fra kilder og 15 % fra grunnvann. 70 % er behandlet konvensjonelt i en 4 trinns anlegg. For øvrig er det to anlegg med karbonatisering og PH-regulering, mens 15 % av forsyningen kun blir desinfisert. Det er ikke behov for restklor ved tapstedet.

Det 1120 km lange distribusjonsnettet består hovedsakelig av duktilt støpejern (43 %), grått støpejern (37.5 %), PE (14.5 %), stål (3 %) og asbestsement (1 %). Trykket er regulert mellom 35m og 110 m.

Ikke-fakturert vann er beregnet til 10 % av produsert volum. Hovedfeil og reparasjoner er 264 i 2005, som korresponderer til 0.24 feil pr km og år. Bare 1.5 km (0,13 %) av nettet er spylt i 2005, 21 km er skiftet ut (1.9 %), men ingen er renovert. Omlang 500 påkoblinger (1.6 %) er erstattet og reparert hvert år. Zürich har ingen problemer med vannkvalitet i nettet og bare unntaksvis høyere bakterietall ved blindledninger. De fleste klagen er forårsaket av innomhusinstallasjoner.

Driftsorganisasjonen er delt mellom flere avdelinger. Produksjonsdepartement er ansvarlig for drift og vedlikehold av renseanlegg og bassenger, ledningsnettavdelingen for vedlikehold og reparasjon av nettet og kvalitetskontrolldepartementet for innsamling og laboratorieanalyser. Vannverket driver regelmessige øvinger i hygieniske forhold for alle ansatte som en del av ISO 9001 systemet. Klager blir registrert, men praktisk talt alle har sin årsak i innvendige installasjoner og ikke ledningsnettet.

Ledningsnettet har et minste vanntrykk på 35 m. Hygieniske tiltak blir gjennomført før nye ledninger settes i drift. Det er ikke observert noen infiltrasjon forurenset vann de siste 10 årene. Retningslinjer er anvendt for rengjøring og desinfeksjon av ledninger etter rehabilitering.

Zürich vannverk har et SCADA system for overvåkning av renseanlegg, bassenger og trykksoner og som måler vannføring på strategiske steder i vannforsyningssystemet. Tekniske data for hele nettet er tilgjengelig gjennom en vannverks-GIS. En hydraulisk modell kalt "EC-Netz" er anvendt for ledningsnettet og beregner hastighet, strømningsstid og trykk. Beregning av oppholdstid er ikke gjennomført enda. Ingen vannkvalitetsparametre er modellert. Ventiler mellom og bassenger driftes og sikrer en oppholdstid på ca 24 timer.

Zürich vannverk har erfart bakterieproblemer på ett anlegg renoverert med en tekstilstrømpe. De aktuelle rørene ble senere skiftet ut. Nå blir enten utforing eller inntrekking av PE-rør brukt ved renovering. Programvare fra SAP og retningslinjer fra sveitisk forening for gass og vannverk brukes for fornyelsesplanlegging. Målet er å fornye 1.5 % - 2 % av ledningsnettet årlig (i 2005; 1.9 %)

Ledningen blir prøvd etter reparasjon og renovering, og hvis det er bakterier så blir spyling gjennomført. Spyling og hvis nødvendig desinfeksjon gjentas inntil vannet ikke overskrider de mikrobiologisk grensene. Desinfeksjon er utført av ledningsnettstaben sammen med kontrollavdelingen. Utenom natriumhypokloritt brukes det ikke rensemidler.

Rensing av hovedledninger blir utført med spyling for å fjerne sedimenter, organisk materiale og bilfilm. En gang årlig blir bassengene renses med vann og desinfisert ved at vegger og gulv sprayes med natriumhypokloritt. Forebyggende lekkasjekontroll utføres en gang årlig for 50 % av nettet ved vannføringsmålinger eller akustiske systemer.

Lekkasjestrømkorrosjon (lekkasje fra trikkesystem) er hovedårsaken til korrosjon. Dette opptrer på grunn av at trikkelinjen løper langs vannledningen. Når en ledning er ødelagt, erstattes den av nye duktile støpejernsrør med elektrisk isolerte skjøter.

Med hensyn til forskning, så etterspør Zürich vannverk en avansert hydraulisk modell som er kapabel til å modellere komplekse ringsystemer, inkludert beregning av oppholdstid, strømningsretning og temperatur. De etterspør også et vedlikeholdsprogram som ser på alder, hydraulisk situasjon, lekkasjer og brudd. De er også interessert i en modell for bakterievekst som en funksjon av temperatur, assimilerbart organisk karbon og oppholdstid.

6 Diskusjon og anbefalinger

Svenskt Vatten og NORVAR vurderer fremtidige strategier for å begrense eventuelle ulemper på grunn av et aldrende ledningsnett for vann og avløp. Denne rapporten gir et innblikk i hvordan andre land vurderer denne problematikken og internasjonale arbeidsmåter og erfaringer med hensyn til tilstand og fornyelse av ledningsnettet. Et spesielt utarbeidet spørreskjema og gjennomgang av litteratur danner utgangspunktet for rapporten.

Vann og avløpsnettenes tilstand varierer svært mye fra land til land og fra by til by avhengig av ledningsmateriale, alder, diameter, utførelse og grunnforhold. Statistikker med hensyn til feilhyppighet er som oftest utarbeidet i forhold til ledningsmateriale. Dette skyldes at det ofte mangler systematisk dokumentasjon for de andre forholdene som kan ha betydning for tilstanden. På den annen side vil materialbruken også reflektere andre faktorer som bestemmer tilstanden, for eksempel konstruksjonspraksis og anleggsår. En europisk benchmark studie i 2002, en undersøkelse av TECHNEAU i 2006 og en undersøkelse av NRC, Kanada i 1993 samt statistikk innsamlet for dette prosjektet viser en hyppighet av feil i vannledninger fra 30 til 50 pr 100 km og år. Men enkelte byer har mindre enn 10 feil pr 100 km pr år, har andre over 100 feil pr 100 km pr år. Det er også store variasjoner fra land til land, hvor for eksempel Nederland representerer lave feilhyppigheter og sentraleuropeiske land tilsvarende høye hyppigheter. Ulik vedlikeholdspraksis og ulikt materialvalg bidrar til disse forskjellene. I gjennomsnitt fornyelse 1% av ledningsnettet per år, men normal fornyelseshyppighet varierer fra 0.3 % til 1.5 %.

Generelt bidrar eldre materialer som stål, grått støpejern og asbestsement til høye feilhyppigheter, mens duktilt støpejern og PVC/PE bidrar til lave feilhyppigheter. Men dette bildet er ikke helt entydig. I Italia og Storbritannia har det vært en overhyppighet av brudd på ledninger av PE og PVC, sannsynligvis på grunn av svakheter ved råmaterialer og produksjonen. Dette er imidlertid forhold som delvis ikke er aktuelle i Nord-Europa (råmaterialer) og delvis er blitt rettet opp for lenge siden som følge av ny kunnskap (produksjon).

Ledningsbrudd forårsaker flere feil, som avbrudd i vannforsyning og avløpstjenester, forurensning av drikkevann på grunn av innsuging, oversvømmelser og forurensningsutslipp fra avløpsnettet. Derfor er metoder for prediksjon av feil et uttrykt behov fra vann og avløpsingeniører over hele verden. Det finnes mange metoder for dette, fra klassifisering basert på tidligere klager, bruddrater eller rent skjønn, til avanserte metoder eller matematisk optimalisering basert på kunstig intelligens (generiske algoritmer). Forskning har vist at en vesentlig andel av fremtidige feil kan varsles på forhånd, og således unngås. Dette vil forbedre servicenivået overfor abonnentene betraktelig.

Det foregår en intensiv en aktiv utvikling av utstyr for å måle kontinuerlig innvendig korrosjon på metalliske rør, skader på armering i betongrør og lekkasjer på plastrør.

Når strategier for fornyelse av ledningsnett diskuteres, er kvaliteten på data om nettet og planer for innsamling av slike data ofte et viktig tema. Dataforvaltning er kostbart og en strategi er nødvendig. Langtidsmålet burde være komplette datasett for drift, vedlikehold og fornyelse som utnytter GIS, databaser og overvåkning optimalt

Følgende trenivå tilnærming synes å være en fellesnevner for fornyelsesstrategien i mange byer:

a) langtidsplanlegging og økonomisk vurdering, b) utvelgelse og rangering av prosjekter og c) valg av teknologi for fornyelse

Lang tid planlegging og økonomisk vurdering

Denne består av en generell undersøkelse av nåværende tilstand basert på feilhistorie (databaser), klager og kostnader analysert ved indikatorsystemer. Fremtidig fornyelsesbehov og effektiviteten ved ulike fornyelsesstrategier kan analyseres på nettnivå med programmer som CARE-W LTP (KANEW) eller lignende.

Fornyelsesstrategier kan betraktes fra ulike synsvinkler: Analyse av funksjon ved hjelp av indikatorer, analyse av konsekvenser av feil eller analyse av tilgjengelige økonomiske ressurser. Valgt fornyelsesstrategi må være en balanse mellom disse hensyn: Forbedring av tilstand, reduksjon av risiko og overholdelse av budsjetter. Når tilstand, konsekvenser og økonomiske forhold er kjent, kan nivå på tjenesteyting konkretiseres. Dette gir en bakgrunn for evaluering og eventuell justering av målene for tjenesteyting.

Utvelgelse og rangering av prosjekter

Denne analysen utføres på ledningsnivå og omfatter hydrauliske flaskehalser, strukturelle feil og konsekvenser for kunder hvis en feil skulle oppstå, såvel som koordinering med andre arbeider. Det er utviklet såkalte multikriteria verktøy for rangering av prosjekter.

Teknologistøtte

Databaser og retningslinjer eksisterer som kan støtte ved valg av teknologi for fornyelse. I tillegg er den generelle kunnskap om nedbrytning av ledninger og kunnskap om den aktuelle situasjonen viktig for valg av teknologi.

Lærdom

Vi tror at fremtiden vil kreve et langt bedre og mer konsistent datagrunnlag enn det som er tilgjengelig i dag for å muliggjøre en effektiv langtids planlegging og en mer riktig rangering av prosjekter. I framtida vil drift og vedlikehold måtte baseres på en langt mer systematisk og objektiv informasjon og ledningsnettene, som operatørene lett kan ha tilgang til gjennom bærbare IT systemene dom de bringer med i jobben. Ingeniørmessig dømmekraft vil imidlertid fremdeles være nødvendig for beslutninger og kontrollopgaver.

Det finnes gode rutiner for innsamling og lagring av VA-data i svenske og norske kommuner i dag. Vår erfaring er imidlertid at disse data ikke kvalitetssikres i tilstrekkelig grad. Svenskt Vatten og NORVAR bør oppmuntre kommunene til å utnytte og utvikle de verktøy som allerede eksisterer for datafangst og datalagring for i neste omgang å oppnå en mer avansert informasjon for fornyelsesplanlegging. De bør også ta i bruk moderne modeller som kan øke verdien av data, slik at drift, vedlikehold og fornyelse kan rettes inn mot de deler av nettet der behovet og nytteverdien er størst.

I dette prosjektet forsøkte vi i utgangspunktet å basere oss på et omfattende spørreskjema. Vi markedsførte dette ved at deltakeren skulle få tilgang til en engelskspråklig rapport og sette sin situasjon inn i en større sammenheng. Det viste seg at dette ikke var et godt nok incitament til å engasjere ansatte i europeiske vannverk. Dersom denne metoden skal lykkes en annen gang, må det settes enda større ressurser inn på å hente inn svar, f eks ved personlige intervjuer og ved å sette opp en personlig premie til de som svarer. Alternativt kunne utredningen vært gjennomført som en komitereise til utvalgte byer.

7 Publikasjoner

1. Alegre H 2001: Construction of a control panel of performance indicators for rehabilitation. Report no 1 from CARE-W, issued by LNEC, Lisbon
2. Alegre H 2002 Construction of a control panel of performance indicators for rehabilitation. Validation of the rehabilitation performance system. Report no 2 from CARE-W, issued by LNEC, Lisbon
3. Bakken, T, hovedoppgave NTNU 2005
4. Cardoso M A, Matos R, Linheiro I, Almeida M C 2006: Performance indicators for rehabilitation (in Computer Aided Rehabilitation of Sewer and Storm water Networks, IWA Publishing,, ISBN 1843391155)
5. Cromwell J E, Spreanza E 2007: Asset management too complicated? Just think about your car, Journal AWWA 99:1
6. Davies P, Moglia M, Burn S, Farlie M, year unknown: "Estimating failure probability from condition assessment of critical cast iron water mains", CSIRO Australia
7. Davies P, Burn S: Developing physical probabilistic models to forecast failure rates in PVC and Polyethylene water pipes, CSIRO Australia
8. Davies P, Allan I, Burn S, vd Graaff R (year unknown): Identifying trends in cast iron pipe failure with GIS maps of soil environments, CSIRO Australia
9. Elliot L and Stecklein M Infrastructure Manager SDOftware, AWWA Journal Jan 2002
10. EPA, year unknown: Case Study Wellington, New Zealand. Asset management Program
11. Giustolosi O , Savic D 2005: A symbolic data driven technique base don Evolutionary Polynomial Regression, Journal of Hydroinformatics
12. Hlavinek ed; Integrated Urban Resources management, Springer Verlag, ISBN 10 1-4020-4684-7
13. IAHR/IWA Joint Specialist group on Urban Drainage, Newsletter no 20, February 2007.
14. IWA: Asset Management International, Issue 1, volume 1 2005
15. Jun-Lae, intern forelesning, SINTEF 2007
16. Krebs P, Krajewski J-L, Sægrov S, Thevenot D, Wolf L: "Improving urban water management – where and how? The European CityNet Cluster". Under preparation March 2007.
17. Liemberger R, McKensie R, Seago C 2007; Leakage Benchmarking. An updtte from the IWA Water loss Task Force; IWA Specialist Group on Efficient Operation and Management, Water Loss Task Force
18. MacKellar S and Pearson D, 2003: National Agreed Failure Data and Analysis Methodologies for Water mains, vol I: Overview and findings. Report no 03/RG/05/07
19. Merill S, Lukas A, Palmer R, Hahn M A; Development of a tool to prioritize sewer inspections, Water Environment research Foundation WERF report 97-CTS-72004. WERF ISBN 1-893664-86-4
20. NRC, Canada 2003: Selection of the technologies for the rehabilitation and replacement of sections of a water distribution system. A best practise by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure
21. OFWAT 2002: Flooding from sewers – a way forward. Ofwat consultation paper
22. OFWAT 2006 Drought in London report (internal letter)
23. Orman N 2004; Sewerage rehabilitation manual, fourth edition, WRc 2004
24. Rajani B and Makar J: "A methodology to estimate remaining service life of grey cast iron water mains" Can. J. Civ.Eng 27: 1259-1272 (2000)
25. Rogers J W, Garrick Louis 2007 Risk and opportunity in upgrading the US drinking water infrastructure system, Journal of Environmental management 2007
26. Sjøvold F Review on end-users performance – Basis for cost/benefit analysis on operation and maintenance, Techneau report 5.1.1, 2007

27. Sægrov S ed: CARE-W, Computer Aided Rehabilitation of Water Networks, IWA publishing, ISBN1843390914, 2006
28. Sægrov S ed: CARE-S, Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks, IWA Publishing, ISBN1843391155, 2006
29. Sægrov S, König A, Pitchers R, Conroy P, Alegre H, Korth A 2006: TECHNEAU. Evaluation report on operational methods and maintenance schemes – Applied in practice and compared to best practise
30. UK Drinking Water inspectorate 2004: Code of Practise; In-situ lining of water mains.
31. UK Drinking Water inspectorate 2004: Operational requirements
32. USEPA 1999: “Optimization of collection system maintenance frequencies and system performance; EPA Cooperative Agreement CX 824902-01-0
33. USEPA 2002: The Clean Water and Drinking Water Infrastructure Gap Analysis, EPA 816-R-02-020
34. Vanrenterghem-Raven A “An independent review for the EU funded CARE-W programme; Water asset management international, issue 2, 2006
35. Vreeburg J 2007 “Discolouration in drinking water systems: a particular approach; Delft university, ISBN 978-90-74741-91-0
36. Wood A, Lence B J, Liu W; Constructing water main databases for asset management, Journal AWWA, January 2007.
37. WRc 2001: Sewer Rehabilitation Manual; Publications@wrcplc.co.uk

Appendix 1 Questionnaire

Ageing of Water and wastewater networks – international review

- Introduction

The Scandinavian water works associations Svenskt Vatten (Sweden) and NORVAR (Norway) are making a reference document of current international experiences on network ageing and practise for rehabilitation of drinking water and wastewater networks. The survey is meant to include fore-front as well as normal practices. The reference document will be used by Swedish and Norwegian municipalities to develop robust practices for their urban water network management. This includes the long term resource allocation for rehabilitation of water and wastewater pipelines and the specific rehabilitation project decisions.

The document will be available in English for the water industry. A number of scientist colleagues and water industry representatives from various parts of the world have been asked to contribute by their experiences by answering some key questions:

1. What are the main reasons (drivers) for network upgrading?
 2. How is rehabilitation planned, and what input is applied?
 3. What kind of software tools is applied for rehab planning, and what kind of input do they require?
 4. Does national publications and guidelines exist that can support rehab planning?
 5. What kind of rehabilitation technologies are applied?
- A detailed questionnaire has been developed as a framework for the registration of practise. We are grateful for the support by colleagues from various countries and we are confident that we together will make a reference document that can be useful for the water industry in meeting upcoming challenges. The final report will be sent to all contributors.

-

Ageing of Water and wastewater networks – international review

**Report on methods and procedures for selection of
candidates for operation, maintenance and renewal**

[Utility identification]

Reference period: 2005

Contact:

Sveinung Sægrov, SINTEF Building and Infrastructure

e-mail: sveinung.sagrov@sintef.no

tlf +47 73592349

fax: +47 73592376

Utility profile

Utility ID:	[Full official designation of the utility]
Number of customers:	
Km water mains (trunk mains)	
Km water mains (distribution)	
Km sewer mains	
Km stormwater mains	
Total costs:	10 ⁶ € /year (including capital, operation and maintenance)
Total costs for rehabilitation	
Drinking water:	10 ⁶ € /year
Sewers	10 ⁶ € /year
Storm water:	10 ⁶ € /year
Running costs of O&M functions:	% of total running costs

- **Comments** [optional field]

-

Water distribution system description

Transmission and distribution of drinking water

Network size:	kms of public mains
	kms of service pipes (optional)
	[Number of] customers
	[Aprox. number of] service connections
	[Aprox. number of] district metering areas
Age:	% of drinking water network constructed before 1970
Mains materials:	% of grey cast iron
	% of ductile iron
	% of steel
	% of ferrous mains without adequate corrosion protection
	% of asbestos cement
	% of polyethylene
	% of polyvinyl chlorine
	% other
Mains failures:	[Number of] failures per year (2005)
Mains repairs:	[Number of] repairs pr year (2005) [planned/unplanned]
Replaced mains:	km of mains 2005
Renovated mains:	km of mains 2005

- Driving forces for upgrading drinking water network (Y/N in grey field)

- Structural condition (including bursts)
- Water losses
- Drinking water quality (including corrosion)
- Reliable service (reduction of service interruptions)
- Coordination other works, f ex road work
- Other

- Has the utility a decided program for upgrading drinking water network? (Y/N in grey field)

-

- Comments [optional field]

-

- **Performance of drinking water networks**

- Have performance of drinking water networks been assessed. Have specific methods been applied (which and to which extent)?
 - [expand as needed]
- Which are the parameters used for performance assessment (f ex. Failure frequency, repair costs, leakage percentage, number of complaints)
 - [expand as needed]
- What are the level of spatial detail for performance assessment (city, leakage district etc)
 - [expand as needed]
- How are data collected (existing records, questionnaire, measurement)
 - [expand as needed]
- Is a specific method applied for performance assessment (IWA, World Bank, Pharms, CARE)
 - [expand as needed]
- Has significant ageing (performance decrease) due to specific deterioration processes been demonstrated?
 - [expand as needed]

- **Long-term rehab planning**

- Are long-term rehabilitation needs estimated?
 - If yes, please specify what they are based on (failure history, leakages, complaints)
 - [expand as needed]
- Is a specific method applied (f ex. CARE-W, KANEW etc)?
 - [expand as needed]

- **Software tools used for rehab planning**

- Do computer based records for the network exist? If so, what do they include (network properties, failure history, inspections, rehab reports)?
 - Is the entire network covered by the record system?
 - [expand as needed]
- Is automatic mapping (GIS) applied to water network management? If so, for what purpose (information provided in thematic maps)
 - [expand as needed]
- Does a hydraulic model of drinking water network exist? Is it used for analysis of pressure, velocity, flow tracks, travel times, water quality parameters (which)?
 - Is a computer model used for operation and maintenance purposes? If yes, what type of model and how?
 - [expand as needed]
- Does a hydraulic + reliability model of drinking network exist? Is it used for analysis of reliability of water networks when a burst/leak occur and hydraulic capacity decreases?
 - [expand as needed]
- Does a hydraulic + water quality model of drinking network exist? Is it used for water quality related issues?
 - [expand as needed]
- Does a failure frequency prediction model of drinking network exist? What type of model? Is it used for practical purposes?
 - [expand as needed]

- **Measurement and inspection**

- Are leakage monitoring applied? Are results used as input for rehabilitation planning
- [expand as needed]
- Are CCTV applied for drinking water mains. Are results used as input for rehabilitation planning
- [expand as needed]
- Other methods for condition assessment
- [expand as needed]

- **Rehabilitation decision support**

- Which national/international publications and guidelines have been used to support rehabilitation planning and decisions?
- [expand as needed]

- **Renovation technologies** (Which renovation technologies have been applied)

- % Cement lining
- [expand as needed]
- % Epoxy lining
- [expand as needed]
- % Polyuretan lining
- [expand as needed]
- % Sliplining
- [expand as needed]
- % Pipe bursting + sliplining
- [expand as needed]
- % Cured-in-place pipe
- [expand as needed]
- % Formed-in-place pipe
- [expand as needed]

- **Research needs**

- What information are you missing for water network rehabilitation planning and execution?
- [expand as needed]

Wastewater collection system description

Collection and transport of wastewater and stormwater

Network size:	kms of public mains (sewers)
	kms of public mains (stormwater pipes)
	kms of service pipes (sewers)
	kms of service pipes (stormwater)
	[Number of] customers
Age:	[Aprox. number of] service connections
	% of sewer network constructed before 1970
	% of storm water network constructed before 1970
Mains materials:	% of concrete
	% of clay (terracotta)
	% of polyvinylchlorine (PVC)
	% of polyethylene (PE)
	% of metallic pipes without adequate corrosion protection
	% of metallic pipes with adequate corrosion protection
Mains failures:	% of other pipes
	[Number of] failures pr year (2005)
Mains repairs:	[Number of] repairs pr year (2005) [planned/unplanned]
Replaced mains:	km of mains
Renovated mains:	km of mains

- **Driving forces for upgrading sewer and storm water network** (Y/N in grey field)

- Pollution of receiving waters (ground, rivers, lakes, sea)
- Flooding of ground/basements
- Structural condition of pipes
- Reliable service (reduction of service interruptions)
- Coordination with road and other works
- Other

- **Has the utility a decided program for upgrading sewer and storm water network?** (Y/N in grey field)

-

- **Comments** [optional field]

-

- Performance of wastewater networks

- Have performance of wastewater networks been assessed. Have specific methods been applied (which and to which extent)?
 - [expand as needed]
- Which are the parameters used for performance assessment (f ex. Failure frequency, repair costs, leakage percentage, number of complaints, overflow frequency, flood frequency))
 - [expand as needed]
- What are the level of spatial detail for performance assessment (city, district etc)
 - [expand as needed]
- How are data collected (existing records, questionnaire, measurement)
 - [expand as needed]
- Is a specific method applied for performance assessment (IWA, World Bank, CARE)
 - [expand as needed]
- Has significant ageing (performance decrease) due to specific deterioration processes been demonstrated?
 - [expand as needed]

- Long-term rehab planning

- Are long-term rehabilitation needs estimated?
- If yes, please specify what they are based on (failure history, leakages, complaints)
 - [expand as needed]
- Is a specific method applied (f ex. CARE-S or KANEW)?
 - [expand as needed]

- Software tools used for rehab planning

- Do computer based records for the network exist? If so, what do they include (network properties, failure history, inspections, rehab reports)?
- Is the entire network covered by the record system?
 - [expand as needed]
- Is automatic mapping (GIS) applied to wastewater network management? If so, for what purpose (information provided in thematic maps)
 - [expand as needed]
- Does a failure frequency prediction model of wastewater network exist? What type of model? Is it used for practical purposes?
 - [expand as needed]
- Does a hydraulic model of wastewater network exist, if yes name of software (MOUSE, SWMM etc.)?
- Is it applied for assessment capacity bottlenecks of wastewater network
 - [expand as needed]

- Measurement and inspection

- Are water flow monitoring applied? Are results used as input for rehabilitation planning

- [expand as needed]
- Are CCTV applied for wastewater mains. Are results used as input for rehabilitation planning
- [expand as needed]
- Are CCTV applied for wastewater mains. Are results used as input for rehabilitation planning
- [expand as needed]
- Other methods for condition assessment
- [expand as needed]

- **Rehabilitation decision support**

- Which national/international publications and guidelines have been used to support rehabilitation planning and decisions?
- [expand as needed]

- **Renovation technologies** (Which renovation technologies have been applied)

- % Sliplining
- [expand as needed]
- % Pipe bursting + sliplining
- [expand as needed]
- % Cured-in-place pipe
- [expand as needed]
- % Formed-in-place pipe
- [expand as needed]

- **Research needs**

- What information are you missing for wastewater network rehabilitation planning and execution?
- [expand as needed]

Appendix 2: Analysis of questionnaire

State for the art

A questionnaire was sent to several contacts of all regions of Europe. Results have been collected from Netherlands, Portugal, Italy and Hungary. Tables 1 and 2 shows some main statistics developed from the questionnaire.

Table 1: Key data of drinking water and sewer network

City	Water mains			Sewers		
	Public water mains (m) pr customer	% older than 1970	Repairs/km water network in 2005	Public sewers (m) pr customer	Repairs/km sewer network in 2005	% older than 1970
Oeiras et Amadora	5.4	18	0.77	3.63	2.11	
Palermo	2.6	15	0.08	1.86	0.14	85
3 NL companies	10.2	31	0.05			
6 Hungarian companies	16.6	39	1.37	11.2	0.72	30

Table 2: Distribution of pipe materials

City	Water mains						Sewers			
	Grey	Ductile	Steel	Asbestos-cement	PE	PVC	Concrete	Clay	PE	PVC
Oeiras et Amadora	0.2	3.3	0	34	31	20	51	34	0.1	13
Palermo		10	5	0	85	0	65	5	0	15
3 NL companies	8	3	2	22	7	60				
6 Hungarian companies	24	1	3	41	15	29	15	4	12	69

The questionnaire demonstrates that there are major differences over Europe with regards to the length of public water mains pr customer, the age profile and necessity of repairs. While Oeiras et Amadora and Palermo have a dense and rather new water distribution network, the Dutch and Hungarian are more distributed (length pr customer) and also older. From this one should expect a higher rehab rate in the latter city categories. However, Dutch cities still have a good control and on the other side, the Portuguese city has a relatively high repair rate. An answer to this unexpectancy may be found when studying the distribution of pipe materials, since Oeiras et Amadora possesses a large percentage of asbestos cement pipes, which is known as more vulnerable for failures than corrosion protected ductile iron pipes and plastic pipes. Hungarian cities have higher repair rate compared to the other categories, which probably is due to a generally older network and a higher percentage of vulnerable materials like unprotected grey cast iron and asbestos-cement.

On the sewer side repair frequency differ between cities by a factor 15:1. This may be partly explained by the distribution of pipe materials.

Drivers for rehabilitation

The table 3 gives an overview of driving forces for upgrading drinking water networks, and demonstrates that rehab reasons are multiple. In general, structural condition due to material degradation (ageing) is predominant, whereas water losses, water quality and reliability are secondary causes. There is obviously a connection between structural condition and leakage and reliability in deliverance and quality. The responsible engineers tend to analyse the general structural condition as a more important indicator that as a consequence can lead to the named inconveniences for the customers.

Table 3 Driving forces for upgrading drinking water network

City	Structural condition	Water losses	Drinking water quality	Reliable services	Coordination other works	Comments
Portugal	y	y	y	y	y	
Italy	y	y	y	y/n	y	5 water companies
Netherlands	y	n	y	y	y	Large investment program finished. Replacements now based on decision models
Hungary	y	y	y/n	y/n	y/n	

The table 4 shows the drivers for wastewater network rehabilitation. Information is available from Hungary, Italy and Portugal. Structural condition is the major driver for these pipes, too, together with flooding. The probability of flooding is affected of the original hydraulic design. Therefore it can be concluded from these very limited data that structural degradation as well as hydraulic design are the drivers for wastewater network rehabilitation. Pollution and service reliability are attached consequences.

Table 4: Drivers for rehab wastewater network

City	Pollution	Flooding	Structural condition	Reliable service	Co-ordination	Comments
Portugal	y	y	y	y	y	Utility has a decided program for upgrading, based on empirical methods
Italy	n	y	y	n	n	The upgrading program will be carried out by a new service utility that will take care of the water and wastewater service from 2007 to 2037. An experimental plan defined via CARE-S approach in Palermo city centre is under examination
Hungary	n	n	y	n	y	One company has a three years program

In general the cities possess digitized networks, they apply performance assessment and hydraulic models and utilize CCTV for condition measurement and rehab project prioritizing. They need a better evaluation of real failure and rehab costs. In Hungary rehab decision thinking is supported by a national publication by D. Solti in 2004. In Portugal, the city use guidelines from the national research centre (LNEC)

Hungarian experiences

Data availability

In Hungary, there are three main groups of waterworks according to the data-storing system:

- waterworks, which use Technical Information System (MIR – Műszaki Információs Rendszer) – structured digital data
- waterworks, which have digital data, but they are not structured, or only partly structured
- waterworks, which don't have digital data at all, all data are stored on paper

Unfortunately, at the utilities, which possess MIR, not all data are stored in the system. Typically, the data, which are important from the economic point of view are stored, while the data, which are important from the technical point of view are not stored (for example, type of joint).

The **x,y coordinates** of network are stored in MIR, in digital maps, or on papers. The waterworks, which have digital maps and paper maps as well, usually update the paper maps instead of the digital maps. At some waterworks, although the technical conditions are available (they have 3 D digital maps or Technical Information System) the **z coordinate** is not stored properly (for example it is stored as text assigned to the pipe).

Further MIR contains:

- **Material** of the pipes. In case of paper maps, the material is stored, but at some waterworks the data are not updated. The type of joint is usually not stored at all.
- **Age of the pipe** is stored in Excel sheets, or in paper format. There are waterworks, where it is not possible to find these data, because after transformation of the utility due to the political changes in 1990, these important data disappeared.
- **Failure history** is stored in the worksheet-handling program, in Excel sheets or in paper worksheets. There are waterworks, which started to collect failure data long time ago, while other waterworks started the data collection only few years ago.

In the drinking water network, there is usually no condition assessment, however for the wastewater network, CCTV inspection and/or other methods (smoke test, direct inspection of the pipe) is applied to determine the condition of the pipes.

Rehabilitation planning reports/guidelines

There is no uniform guideline in Hungary for rehabilitation planning. All utilities have their own methods to schedule the rehabilitation. In many cases, there is no rehabilitation plan at all, only spot-repairs are carried out.

One example for such method is the ranking procedure, which was applied at the Budapest Waterworks 4 years ago (recently, they apply a more sophisticated method based on a fuzzy logic system), see table 5. In Budapest, the applied ranking procedure was based on a weighted sum considering several aspects.

Performance of drinking water networks has been assessed for water loss, number of complaints, number of failures, repair costs for street level (zone level). Statistical analysis of failure events has been applied. Data are collected and analysed on excel sheet based “Technical Information” or by the use of SAP (Integrated Informatics Systems) under ISO quality control system. The data have also been collected data for benchmarking purposes. Ageing has been demonstrated as corrosion on steel pipes. Budapest is currently working to choose a method for further application on system performance.

The long-term planning needs has been estimated by considering previous periods as well as failure history and leakages. Three-year medium-term reconstruction plans are developed, which are accepted by the management. In the plans data from the past 3-5 years are considered. They get data from SAP, from measurements and estimations. These are typically number of failures, cost of maintenance and reconstruction, network diagnosis, water loss at level of company, material of pipe and age of pipe.

The technical Information system for the whole network of Budapest contains the network properties, i.e. network layout, age, material and diameter. A complete GIS is under development. The data sets are continuously updated from failure repairs. Digital maps of public works are available, however failures are not marked. There is no uniform system for the whole network, or it is incomplete.

A hydraulic model based on Piccolo is established to calculate pressure, velocity, water flow, flow tracks and travel times. Leakage monitoring is systematically applied for sectors by hydrophones. Renovation is mainly carried out by slip lining.

In general, Hungarian cities feel a need for better registration and documentation of their networks. Further they would appreciate methods for estimation of current condition of pipes as well as financial needs for upgrading. Location and frequency of failure events should be systemized and be able to assigned to the digital maps.

Table 5 – Technical and economical points of view in water rehabilitation planning (source: Hetényi and Zimmer, 2002)

<i>Points of view</i>	<i>Weight</i>	<i>Points</i>	<i>Description</i>
Level of service	10	1	There is no problem with water quality, pressure, water shortage
		5	There are sometimes problems with water quality, pressure, water shortage
		10	There are always problems with water quality, pressure, water shortage
Economical points of view	10	2	age of PE pipe > 25 years, or age of ductile pipe > 40 years
		7	10 years < age of PE pipe < 25 years, or 15 years < age of ductile pipe < 40 years
		10	age of PE pipes < 10 year, or age of ductile pipe < 15 year
Failure rate	10	1	Number of failures is under the average $F < 0.3$ number/km/year
		5	Number of failures is average $0.3 < F < 0.6$ number/km/year
		10	Number of failures is above the average $F > 0.6$ number/km/year
Condition assessment of the pipe	10	1	There is no condition assessment, only analysis of the number of failures
		5	There is condition assessment, and any delay cannot be tolerated
Effectuated consumers	8	2	Number of affected consumers < 199
		5	200 < Number of affected consumers < 1000
		10	1000 < Number of affected consumers
Risk of damage on life or properties	8	2	There is no significant risk if the project is delayed
		5	There is some risk or the risk can be handled easily if the project is delayed
		10	There is significant risk, or the risk-handling is difficult and expensive if the project is delayed
Traffic interruption	7	2	The repair work doesn't effect the traffic significantly
		5	The repair work affects the traffic
		10	The repair work significantly affects the traffic
Function	7	1	Nominal diameter < 300 mm
		5	Nominal diameter > 300 mm
Age	5	1	The pipe has not reached the estimated technical lifetime (which depends on the pipe material)
		5	The pipe has reached the estimated technical lifetime (which depends on the pipe material)
Location	5	2	Greenbelt
		5	Housing estates, densely populated area
		10	Important business, governmental, tourist or historical area
Coordination with other construction work	5	1	There is no possibility for coordination
		10	There is possibility for coordination
Type of pavement	5	1	Solid pavement (concrete, asphalt, etc.)
		5	Soil pavement

Dutch experiences

The most important performance indicators of Dutch drinking water networks are failure frequency, repair costs, leakage percentage, number of complaints, quality and quantity complaints, consumer minutes lost. The information is collected at three levels of details: namely trunks, distribution mains and districts. A PI system developed by KIWA is applied.

In general long-term planning of network upgrading is conducted on the basis of age

GIS is applied as information for diggers, network calculations, failures, Hydraulic models are used to analyse pressure, velocity, flow tracks and travel times but not yet reliability (a combined hydraulic/reliability model is under construction).

Dutch cities work with “Smallworld” Spatial Intelligence database for thematic maps of network properties and failure history. For maintenance reports they use a specialised database called *Ultimo*. Further, they use a KClientContactsRegistrationSystem for failure intake. They utilize routine based leakage detection. For asbestos cement; they take out a sample and check the remaining percentage of cement. KIWA has developed a specific computer program for long-term estimates of asbestos-cement pipes.

The Dutch cities call for better data including year of construction, condition, surroundings, model of reliability and forecasting.

Italian experiences (Palermo)

Performance is assessed by Italian law 97/99 with respect to leakages. The method is derived from IWA approach and it is compulsory for every water utility at least at network scale. Leakage percentage and system water balance are measured for the entire city of Palermo and for single districts. The utility is conscious that old metallic pipes are responsible for the great part of leakages in the system. It has been demonstrated during the mass pipe renewal campaign carried out in the nineties. No long-term strategies for rehab planning have been applied.

From 2001, all complaints, inspections and rehab works are stored in computer database. Pipe information is stored covering the whole network and a running hydraulic model has been developed in 2004. GIS is in use, mainly providing thematic maps and local information from inspection and maintenance. The hydraulic model (EPANET based) is used for defining all mentioned characteristics. Quality aspects are assessed by the model and a calibration on chlorine products has been carried out in 2005 but its results are not currently used for operational decisions

Portuguese experiences (Oeiras et Amadora)

Oeiras et Amadora apply CARE-W system for daily management of drinking water network. This also include a EPANET hydraulic model, reliability and long-term planning.

Table 6: Summary of rehab drivers, distributed to cities

City	Structural condition	Water losses	Drinking water quality	Reliable services	Coordination other works	Ageing	Hydraulic improvement	Poor material
Oeiras	y	y	y	y	y			y
Palermo	y	y	n	n	n			
AMAT spa	y	y	y	n	y			
AIMAG spa	n	y	y	y	y			
AGAC	n	y	y	y	y			
Multiservici	y	y						
Duijn	y	n	y	y	y			
Duijn zuid	y	n	y	y	y			
Evides	y	n	n	y	y			
Hydron Flevoland	y	y	y	y	y			
Vitens,	y					y	y	
Dombovar	y	y	y	n	y			
Dunantuli,	y	y	y	y	n			
Percs	y	y	n	y	y			
Pecsi Teruteli	y	y	n	y	y			
Pecs Vizmu Zrt	y	y	y	y	y			
Vasiviz,	y	y	y	y	n			
Zalaviz	y	y	y	y	y			

Table 7: Rehab drivers for wastewater networks

City	Pollution	Flooding	Structural condition	Reliable service	Co-ordination	Upgrading plan?
Oeiras						
Palermo						
Betes	n	n	y	n	n	n
Dombovar	n	y	n	n	y	
Dunantuli,						
Percs						y
Pecsi Teruteli	n	n	n	y	n	
Pecs Vizmu Zrt	n	y	y	n	y	y
Vasiviz,	y	y	y	y	n	
Zalaviz	y	n	y	y	y	y