



Asset Management vesihuollossa

Kirjallisuustutkimus

Tero Välisalo, Minna Räikkönen & Erkki Lehtinen

ISBN 951-38-6613-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Tekniikankatu 1, PL 1300, 33101 TAMPERE
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 3499

VTT, Teknikvägen 8 E, PB 1300, 33101 TAMMERFORS
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 3499

VTT Technical Research Centre of Finland, Tekniikankatu 1, P.O. Box 1300, FI-33101 TAMPERE,
Finland, phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 3499

Tekijä(t) Välisalo, Tero, Räikkönen, Minna & Lehtinen, Erkki		
Nimeke Asset Management vesihuollossa Kirjallisuustutkimus		
Tiivistelmä Vesi- ja viemäriverkostojen kunnossapitoon ja omaisuuden hallintaan on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota verkostojen osien ikääntyessä ja vuotovesimäärien kasvaessa. Verkoston kunnossapitoon käytävissä olevat resurssit ovat niukat, joten kunnossapitotöiden kohdistaminen pitää tehdä oikein. Kunnossapitoresurssien kohdistamista ja vesilaitosten omaisuuden hallinnan (asset management) kehittämistä varten on perustettu AssetVesi-tutkimuskonsortio, jonka jäseninä ovat Tampereen Vesi, Turun vesilaitos, LV Lahti Vesi Oy, Jyväskylän Energia/Vesiliike-toiminta, Tekla Oyj sekä VTT. Tässä kirjallisuustutkimuksessa tarkastellaan viime aikoina tehtyjä verkostojen kunnossapitoon liittyviä tutkimuksia ja niissä saavutettuja tutkimustuloksia sekä vesilaitosten omaisuuden hallintaan kehitettyjä yleisiä malleja. Kirjallisuusselvityksen perusteella vesihuollon käyttöomaisuuden hallintaa ja verkostojen kunnossapitoa tutkitaan laajasti maailmalla. Eniten tutkimuksia löytyi Pohjois-Amerikasta, jossa painotetaan vahvasti investoimista vesihuoltoverkostojen kunnossapitoon. Myös Australiassa tehdään huomattavan paljon tutkimusta Asset Management -alalla. Suurin osa löydettyistä tutkimuksista keskittyi puhtaan veden toimittamiseen, viemäriverkostoihin keskittyviä tutkimuksia löydettiin huomattavasti vähemmän. Kirjallisuusselvityksen perusteella omaisuuden hallinnan kehittämisessä erityisenä haasteena on, että toimivan omaisuuden hallintajärjestelmän tulee sisältää sekä teknisiä että taloudellisia toimintoja ja elementtejä. Esimerkiksi vesilaitoksilla olevan teknisen tiedon taso on usein korkea verrattuna taloudellisuuden ja toiminnallisuuden näkökulmiin. Kirjallisuustutkimuksen tuloksia hyödynnetään tutkimushankkeessa kehitettävän vesihuoltolaitosten Asset Management -toimintamallin kehitystyössä.		
Avainsanat asset management, water supply, water systems, sewerage, waste water management, maintenance, markets, pipeworks, renovation		
ISBN 951-38-6613-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 4848
Julkaisuaika Lokakuu 2006	Kieli suomi, engl.tiiv.	Sivuja 79 s. + liitt. 8 s.
Projektin nimi AssetVesi	Toimeksiantaja(t) Tampereen Vesi, Turun vesilaitos, LV Lahti Vesi Oy, Jyväskylän Energia Oy/Vesiliiketoimi, Tekla Oyj	
Yhteystiedot VTT PL 1300, 33101 Tampere Puh. vaihde 020 722 3111 Faksi 020 722 3499	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Published by



Series title, number and
report code of publication

VTT Working Papers 61
VTT-WORK-61

Author(s) Välisalo, Tero, Räikkönen, Minna & Lehtinen, Erkki		
Title Asset Management in water supply engineering Literature survey		
Abstract <p>Due to ageing of pipelines and increase in leak rates, more attention has been paid to maintenance and asset management of water distribution and sewer systems. The financial resources for maintenance are often relatively low and therefore the allocation of maintenance actions and resources must be done properly. For the development of necessary asset management methods and tools, a research consortium has been established. The consortium consists of four Finnish water utilities (Tampereen Vesi, Turun vesilaitos, LV Lahti Vesi Oy, Jyväskylän Energia), an information system supplier (Tekla Oyj) and VTT (Technical Research Centre of Finland).</p> <p>This literature survey discusses some lately published research results of water and sewer system maintenance and models for asset management of water utilities. According to the survey, asset management is very important and topical target for the development throughout the world. Most of the research was carried out in the USA and Canada. Some references were also found from Australia and New Zealand. Most of the research was focused on water distribution networks and pipelines and only a few focused on the sewer systems.</p> <p>The survey revealed that a special challenge in the development of water utilities' asset management system is the fact that the system should consist of both technical and economical functions and aspects. The quality of technical data is often quite high compared to economical and functional data. The results of this literature survey will be utilized in the development of asset management model for Finnish water utilities.</p>		
Keywords asset management, water supply, water systems, sewerage, waste water management, maintenance, markets, pipeworks, renovation		
ISBN 951-38-6613-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 4848
Date October 2006	Language Finnish, English abstr.	Pages 79 p. + app. 8 p.
Name of project AssetVesi	Commissioned by Tampereen Vesi, Turun vesilaitos, LV Lahti Vesi Oy, Jyväskylän Energia Oy/Vesiliiketoimi, Tekla Oyj	
Contact VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1300, FI-33101 Tampere, Finland Phone internat. +358 20 722 3111 Fax +358 20 722 3499	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Alkusanat

Tämä kirjallisuustutkimus liittyy ”Vesi- ja viemäriverkostojen kunnossapidon kehittäminen” (AssetVesi) -tutkimushankkeeseen, jossa kehitetään toimintamalleja ja työkaluja eri kaupunkien vesi- ja viemärlaitosten yhteistyöhön ja verkostoon sitoutuneen pääoman kustannustehokkaaseen hallintaan. Tutkimusyhteistyössä AssetVesi-hankkeessa toimivat Tampereen Vesi (hankkeen koordinaattori), Turun vesilaitos, LV Lahti Vesi Oy, Jyväskylän Energia Oy/Vesiliiketoiminta, Tekla Oyj sekä VTT. Hankkeen rahoituksesta vastaavat osallistuvat laitokset ja yritykset, Teknologian kehittämiskeskus Tekes sekä Vesi- ja viemärlaitosyhdistys ry.

Raportin tekijät kiittävät AssetVesi-projektikonsortiota ja sen jäseniä saamistaan arvokkaista tiedoista ja kommentteista kirjallisuustutkimuksen aikana.

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
1. Käyttöomaisuuden hallinnan merkitys vesihuollossa.....	8
1.1 Yleistä.....	8
1.2 Asset Management ja vesihuolto.....	9
1.3 Esimerkki vesijohtoverkoston uusimistarpeesta: Yhdysvallat	10
2. Markkinoiden kehitys	13
2.1 Vesihuoltotoimiala Suomessa	13
2.2 Verkostorakentaminen.....	13
2.3 Verkostojen ylläpito (kunnossapito ja korjaus).....	14
2.4 Markkinoiden kehityssuunta	16
3. Vesihuollon käyttöomaisuuden hallinnan suuntaviivoja ja malleja.....	18
3.1 Putkimateriaalit ja niiden käyttöikä.....	18
3.2 Ehkäisevä ja korjaava kunnossapito.....	22
3.3 Vesihuoltolaitosten Asset Management järjestelmä, prosessi ja suunnitelma	23
3.3.1 Omaisuuden hallinnan prosessi (Queensland Government)	24
3.3.2 10-osion omaisuuden hallinnan järjestelmä (CIEAM)	26
3.3.3 Asset Management järjestelmä (AWWA)	29
3.3.4 Asset Management -prosessin käsikirja (EPA).....	32
3.3.5 Omaisuuden hallinnassa tarvittavia tietoja.....	34
3.3.6 Näkemyksiä omaisuuden hallinnasta ja sen malleista vesihuoltotoimialalla.....	35
4. Vesihuollon Asset Management -tutkimus.....	38
4.1 Tutkimusorganisaatioita Suomessa ja kansainvälisesti.....	38
4.1.1 Vesihuollon Asset Management -tutkimus Suomessa	38
4.1.2 Pohjois-Amerikka: American Water Works Association (AWWA) ...	40
4.1.3 Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).....	40
4.1.4 Iso-Britannia: WRc (Water Research centre)	41
4.1.5 Australia: CIEAM (The Cooperative Research Centre for Integrated Engineering Asset Management)	42
4.2 Viimeaikaisia verkostojen saneeraukseen ja ylläpitoon liittyviä tutkimuksia..	43
4.2.1 CARE-W	43
4.2.2 KANEW	46
4.2.3 A Practical Approach to Distribution system Rehabilitation Planning	48

4.2.4	A Study on appropriate investment of pipeline rehabilitation for water distribution network	51
4.2.5	A Decision Support System for Scheduling Water Main Replacement	55
4.2.6	Asset planning for water reticulation systems – the PARMS model ...	59
4.2.7	Condition Rating Model for Underground Infrastructure Sustainable Water Mains	62
4.2.8	Modeling Water Pipe Breaks – Three Case Studies	64
4.2.9	Framework Model For Asset Maintenance Management	69
4.2.10	Optimal scheduling of water pipe replacement using genetic algorithms.....	74
5.	Yhteenveto	76
	Lähdeluettelo	77
	Liitteet	
	Liite A: Asset Management tason arvioinnin kysymyslista	
	Liite B: Hyviä vesihuoltoalan käyttöomaisuuden hallinnan artikkeleita ja tietolähteitä	

1. Käyttöomaisuuden hallinnan merkitys vesihuollossa

1.1 Yleistä

Asset Management -käsitteen käyttö yleistyi 1990-luvulla. Käsitteelle on olemassa useita suomenkielisiä vastineita. Eri yhteyksissä on käytetty mm. seuraavia määrittelyjä: käyttöomaisuuden hallinta, omaisuuden hallinta, tuotantoprosessiin sidotun pääoman hallinta, kiinteistöomaisuuden johtaminen. [Komonen et al., 2005]

VTT:llä Asset Management -käsitteen ja -aihepiirin yhteydessä on haluttu korostaa fyysisen käyttöomaisuuden uusinvestoinnin jälkeiseen elinjaksoon liittyvän päätöksenteon merkitystä, laitteiston tuottokyvyn kehittämistä, käyttöomaisuuden hallinnan dynaamisista luonnosta, tuotantolaitteiston riskien ja kapasiteetin hallintaa, laitteiston korkeampaa käytettävyyttä ja kokonaisvaltaista useita toimintavaihtoehtoja huomioon ottavaa suunnittelua ja päätöksentekoa. Tämän seurauksena fyysisen käyttöomaisuuden hallinta (asset management) on määritelty: [Komonen et al., 2005]

- **käyttöomaisuuden tuottokyvyn kehittämiseksi ja**
- **käyttöomaisuuden arvon optimoimiseksi.**

Tämä määritelmä saattaa sisältää, ex ante, esimerkiksi seuraavia osa-alueita:

- liiketoiminnan asettamat vaatimukset käyttöomaisuudelle ja sen käytölle
- tuotantojärjestelmän omistukseen liittyvät päätökset
- olemassa olevan kapasiteetin käyttöomaisuusperusteinen hallinta
- tuotantolaitteiston joustavuuden hallinta
- dynaaminen ja jatkuva laitteiston käyttöiän suunnittelu
- käyttöomaisuuden tuottoasteen maksimointi ottaen huomioon aikajänteen ja riskinkantokyvyn
- käyttöomaisuussidonnainen riskien hallinta
- laitteiston käyttöiän aikainen investointisuunnittelu
- laitteiston kunnonarviointi ja sen ylläpitojärjestelmien kehittäminen

- teknisen ja taloudellisen käyttöiän määrittely
- kunnossapitostrategioiden määrittely
- käynnissä- ja kunnossapidon suunnittelu ja kehittäminen
- kaikki suunnitelmat, osaaminen, järjestelmät ja toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää ja kehittää fyysisen käyttöomaisuuden arvoa ja tehokkuutta sekä alentaa ylläpidon kustannuksia. [Komonen et al., 2005]

1.2 Asset Management ja vesihuolto

Vesihuoltotoimiala on erittäin pääomaintensiivistä. Vesi- ja viemäriulaitosyhdistyksen (2001) mukaan vesihuoltolaitoksen kulutuksesta riippumattomien käyttö- ja pääomakustannusten osuus on yleensä noin 80–90 prosenttia kokonaiskustannuksista. Vesihuoltolaitosten pääomasta verkostot muodostavat selvästi suurimman osan, arviolta noin 80 prosenttia. Pääomaintensiivisyyden johdosta omaisuuden hallinnalla on suuri merkitys toimialalla.

Vesihuoltoverkostojen tekninen käyttöikä on arviolta noin 40–60 vuotta verkostomateriaalista, veden laadusta, virtausolosuhteista sekä maaperä- ja kuormitusolosuhteista riippuen. 1960- ja 70-luvuilla rakennettujen verkostojen saneeraustarve pitäisi em. käyttöiällä realisoitua seuraavan kymmenen vuoden aikana. Useimpien vesihuoltolaitosten osalta tämä tarkoittaa sitä, että saneerausinvestointien määrä moninkertaistuisi nykyiseltä tasoltaan.

Käyttöomaisuuden hallinnan kannalta on keskeistä huomioida vesihuoltoverkostojen kuntotiedot ja niiden hallinta. Vesihuoltoverkostojen putkistoja ja laitteita sekä niiden kuntoa ja saneeraustarvetta ei kuitenkaan tällä hetkellä tunneta riittävän hyvin. Verkotot sijaitsevat kokonaisuudessaan maan alla vaihtelevissa maaperä- ja kuormitusolosuhteissa. Putkissa virtaavan veden laatu vaihtelee alueittain ja on myös muuttunut vuosikymmenten aikana. Verkotot on rakennettu noin seitsemän viime vuosikymmenen aikana eri putkimateriaaleista eri rakentamiskäytäntöjen vallitessa.

Vesihuoltotoimialan rakennemuutos on käynnistynyt viime vuosina (taulukko 1). Konsolidoituminen ja uudet organisaatorakenteet ovat saaneet jo jalansijaa, ja kehitys jatkuu kohti suurempia kokonaisuuksia. Tämä kehitys on merkityksellistä mm. koska vesihuollon fyysisestä käyttöomaisuudesta etenkin verkostojen saneeraus tulee vaatimaan nykyistä tasoa selvästi suurempia investointeja. Näiden investointien oikea kohdentaminen on keskeistä, koska kuntaomistajien taloudellinen toimintaympäristö muuttuu yhä haasteellisemmaksi. [Vaattovaara & Sipilä, 2005]

Taulukko 1. Omaisuuden hallinnan yhteenveto vesihuoltotoimialalta. [Vaattovaara & Sipilä, 2005]

Toimialan piirteiden yhteenveto omaisuuden hallinnan kannalta	<ul style="list-style-type: none"> • Fyysiseen käyttöomaisuuteen on sitoutunut erittäin suuri määrä pääomaa, jonka nykykunnosta ei ole kokonaiskuvaa. • Toiminta on kunnallisen päätöksenteon piirissä poikkeuksia lukuun ottamatta. • Korvausinvestoinnit ovat olleet alhaisia. • Vesihuoltoinfrastruktuuri on ylimitoitettua • Huomattava osa vesihuolto-osaajista siirtyy eläkkeelle.
Toimialan kehityshaasteiden ja muutosten kuvaus	<ul style="list-style-type: none"> • Vesihuoltolaitosten lukumäärä vähenee ja yksikkökoko kasvaa. • Vesihuollon palvelutuotanto seudullistuu. • Energia- ja vesihuoltotoimintoja yhdistetään. • Vesihuollon yhtiöittäminen lisää kustannustietoisuutta ja vesihuottomaksujen kustannusvastaavuutta. • Omaisuuden saneeraustarve kasvaa. • Vesihuollon sääntely lisääntyy. • Veden laatu ja puhdistusvaatimukset kasvavat. • Uusia toiminta- ja rahoitusmalleja omaksutaan.
Kansainvälistymisen mahdollisuudet ja esteet	<ul style="list-style-type: none"> • Kotimarkkinat ovat kehittymättömät. • Liiketoimintasuuntautunut t&k on toimialalla vähäistä. • Infrastruktuurin uusimiselle on tulevaisuudessa suuri tarve, kehitysmahin on saatavissa rahoitusta. • Toimialan teknologinen taso on matala kansainvälisestäkin, mikä luo mahdollisuuksia innovaatioille korkean teknologian hyödyntämisessä.
Liiketoiminnan ja teknologian kehityshaasteet	<ul style="list-style-type: none"> • Liiketoiminta-ajattelun ja -osaamisen lisääminen toimialalla yleisesti omistajat mukaan lukien. • Uusien yhteistyömallien kehittäminen. • Infrastruktuurin kuntokartoitukseen ja saneerausmenetelmiin liittyvät teknologiat. • Tiedonhallinnan toimintamallit ja järjestelmät.

1.3 Esimerkki vesijohtoverkostojen uusimistarpeesta: Yhdysvallat

Yhdysvalloissa on viime aikoina alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota vesihuoltojärjestelmien kunnon ylläpitoon ja vesihuoltoa tarjoavien yritysten käyttöomaisuuden hallintaan. Ensimmäistä kertaa maan alle asennettu infrastruktuurin osa alkaa olla käyttökänsä lopussa. American water works associationin (AWWA) tekemän selvityksen mukaan pelkästään USA:ssa puhtasvesiverkoston uusimiseen tarvitaan seuraavan 30 vuoden aikana kaiken kaikkiaan 250 miljardin dollarin investoinnit. Tehdyssä selvityksessä oli mukana 20 suurta tai keskisuurta laitosta. Tutkimuksen löydökset olivat seuraavat [AWWA 2001]:

- Vesilaitosten tulee tehdä huomattavia investointeja verkostoihin seuraavan 30 vuoden aikana. Vanhimmat valurautaputket ovat yli 100-vuotiaita ja niiden käyttöikäksi arvioidaan 120 vuotta. 1920-luvulla asennettujen putkien käyttöikäksi arvioidaan 100 vuotta ja 2. maailmansodan jälkeen asennettujen putkien käyttöiän arvioidaan olevan noin 75 vuotta. Verkostossa tulee siis olemaan paljon saneeraustarvetta lähivuosina.

- Tutkituissa laitoksissa ollaan aloittamassa saneerausinvestointien tekeminen. Investoinnit uhkaavat kasvaa hyvin suuriksi.
- Pelkät putkien vaihto-/saneerauskustannukset kotitaloutta kohti ovat noin 6 300 nykydollaria. Jos vedenkäsittelylaitokset, pumpput jne. otetaan huomioon, kustannus taloutta kohti nousee keskimäärin 10 000 dollariin.
- Väestön liikkuvuus pitää ottaa huomioon uudelleeninvestointia suunniteltaessa. Joissain vanhemmissa kaupungeissa henkilöluvuun suhteutettu verkoston uushankintahinta on kolminkertainen keskimääräiseen arvoon verrattuna.
- Vuoteen 2030 mennessä keskikokoinen vesilaitos joutuu käyttämään rahaa 3,5-kertaisesti putkistojen uusimiseen nykytasoon verrattuna.
- Vesilaitokset joutuvat uusimaan verkostoa ja muuta vesihuoltoinfrastruktuuria samanaikaisesti laitoksiin tehtävien, ”Safe Drinking Water Actin” määräämien muutosten kanssa.
- Tutkituissa 20 vesilaitoksessa infrastruktuurin korjaaminen ja vaihtaminen vaatii 6 miljardin dollarin keräämistä liikevoiton kautta. Tämä tarkoittaa 550–2 300 dollarin lisäkustannusta taloutta kohti. Näissä luvuissa ei ole uusien säädösten aiheuttamaa kustannusvaikutusta eikä viemäriverkoston uusimisesta aiheutuvia kustannuksia.
- Ylimääräisen rahoituksen tarve ja ajankohta vaihtelevat kunnittain riippuen väestön käyttäytymisen aiheuttamasta ”uusinta-aallosta”.
- Kotitalouksia koskevat vaikutukset ovat 2–3-kertaisia pienissä vesilaitoksissa, johtuen pienen laitokseen aiheuttamista haitoista ja siitä, että putkistojen uusiminen tulee pienissä laitoksissa tehtäväksi lyhyemmällä aikajaksolla kuin isoissa laitoksissa.
- Taksojen nouseminen kohdistuu epäsuhtaisesti myös köyhään väestönosaan, joten laitosten haasteena on pitää vesi sen hintaisena, että siihen on kaikilla varaa.

Raportissa listataan suosituksina toimenpiteiksi seuraavat seikat:

1. *Vesilaitosten ja paikallisviranomaisten toimenpiteet:* Puhdasvesiverkoston kunnan arviointi, alan tutkimuksen ja kehityksen vahvistaminen, kansalaisille tiedottaminen tulevista haasteista (mm. taksojen mahdollista

korottamista pohjustettaessa) sekä haasteiden toteuttamiseen tarvittavien hallinnointivalmiuksien rakentaminen.

2. *Osavaltioiden ohjelmien uudistaminen*: Osavaltioiden tulee antaa kaikille vesilaitoksille valtion tukea; muuttaa ohjelmia siten, että laitoksille voidaan antaa apuna tai sallia erilaisia hankintamahdollisuuksia varojen säästämiseksi; muuttamalla rahoitusmekanismeja mm. alentamalla korkotasoa huomattavasti; valtion varoja pitää hyödyntää entistä oikea-aikaisemmin tai sitten niitä pitää pystyä ohjaamaan muille valtionapua tarvitseville osavaltioille.
3. *Huomattava valtion tuen kasvattaminen*: Vesijohtoverkoston korjaamiseen, uusimiseen tai saneeraukseen kohdistuvia projekteja pitää tukea huomattavasti nykyistä enemmän; lisätä valtion avustuksella tehtävää infrastruktuurin hallinnointiin ja kunnossapitotekniikoihin keskittyvää tutkimusta; edistää yksityisen pääoman saatavuutta ja käyttöä vesihuollossa.

2. Markkinoiden kehitys

2.1 Vesihuoltotoimiala Suomessa

Yhteisesti järjestetyn vesihuollon piirissä on Suomessa jo yli 90 % väestöstä, viemäriverkostojen piirissä noin 80 %. Toiminnasta vastaavat noin 1 500 vesihuoltolaitosta sekä 1 000 pienempää laitosta, joita ei vesihuoltolain mukaan määritellä vesihuoltolaitoksiksi. [Kiuru 2006]. Laitosten verkostoon pumppaamasta vesimäärästä v. 2001 (arvio) pohja- ja tekopohjavettä oli 61 % (249 milj. m³) ja pintavettä 39 % (159 milj. m³) [Suomen ympäristökeskuksen www-sivu: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=4823&lan=fi>]. Asumisjätevedet puhdistetaan valtaosin biologis-kemiallisesti.

Vesihuollon kehityssuuntia Suomessa ovat vesihuoltoverkoston kattavuuden paranemisen lisäksi pohjaveden ja tekopohjaveden käytön voimakas kasvu sekä ominaiskulutuksen väheneminen. Paikoittain vedenkulutus tulee vähenemään merkittävästi väkiluvun vähenemisen myötä ja myös vettä kuluttavien laitteiden teknologian kehitys on pienentänyt kotitalouksien vedenkulutusta. Virtaaman vähenemisen ansiosta saatetaan säästää jonkin verran energia- ja kemikaalikuluissa, mutta samalla pidentyvät viipymät voivat johtaa veden laatuongelmiin. [Vehmaskoski 2002].

Vesihuoltolaitokset ovat Suomessa suurimmaksi osaksi kuntien suoraan omistamia ja myös niiden operoimia laitoksia. Vesihuolto on vesihuoltolailla määritelty liiketoiminnaksi, joka rahoitetaan talousveden käyttäjiltä perittävänä maksuina saatavilla tuloilla. Vesihuoltolaitosten omistajilla on oikeus vain kohtuulliseen sijoitetulle pääomalle laskettavaan tuottoon tällä tavoin saatavista tuloista. [Kiuru 2006]

2.2 Verkostorakentaminen

Vesijohtojen kokonaispituus v. 2001 Suomessa oli noin 83 500 km, josta muoviputkia on 72 200 km, valurautaputkia 8 300 km ja muita materiaaleja 3 000 km. Uudisrakentamisessa käytettävistä materiaaleista on tällä hetkellä muoviputkea 86 %, ja osuus on edelleen kasvussa. Loppuosa on pääasiassa valurautaa. Vanhemmissa vesijohtoputkissa materiaalina on ollut katkeamisherkkä harmaa valurauta. Sitkeämpi pallografiittivalurauta tuli käyttöön 1960-luvulla, mutta sitä asennettiin savimaille, jossa ulkopuolisen korroosion riski (heikkolaatuisesta pinnoitteesta johtuen) kasvoi. Muovi yleistyi putkimateriaalina 1960- ja 1970-luvuilla. [Forss 2005]

Viemäreiden kokonaispituus v. 2001 oli Suomessa noin 40 800 km, josta muoviputkia on 24 300 km, betoniputkia 16 000 km ja muita materiaaleja 500 km. Muoviputkea on noin 60 % ja loput viemäreistä on pääasiassa betonia. 1960- ja 1970-lukujen vaihteeseen

saakka viemäriputkimateriaalina käytettiin lähes yksinomaan betonia. 1960-luvulle saakka viemäriverkostoissa oli kiinteistöjen saostuskaivoja, joissa kehittyi betonia syövyttävää rikkikaasua. Muoviputkien ongelmakohtia ovat olleet liitokset betonikaivoihin. [Forss 2005]

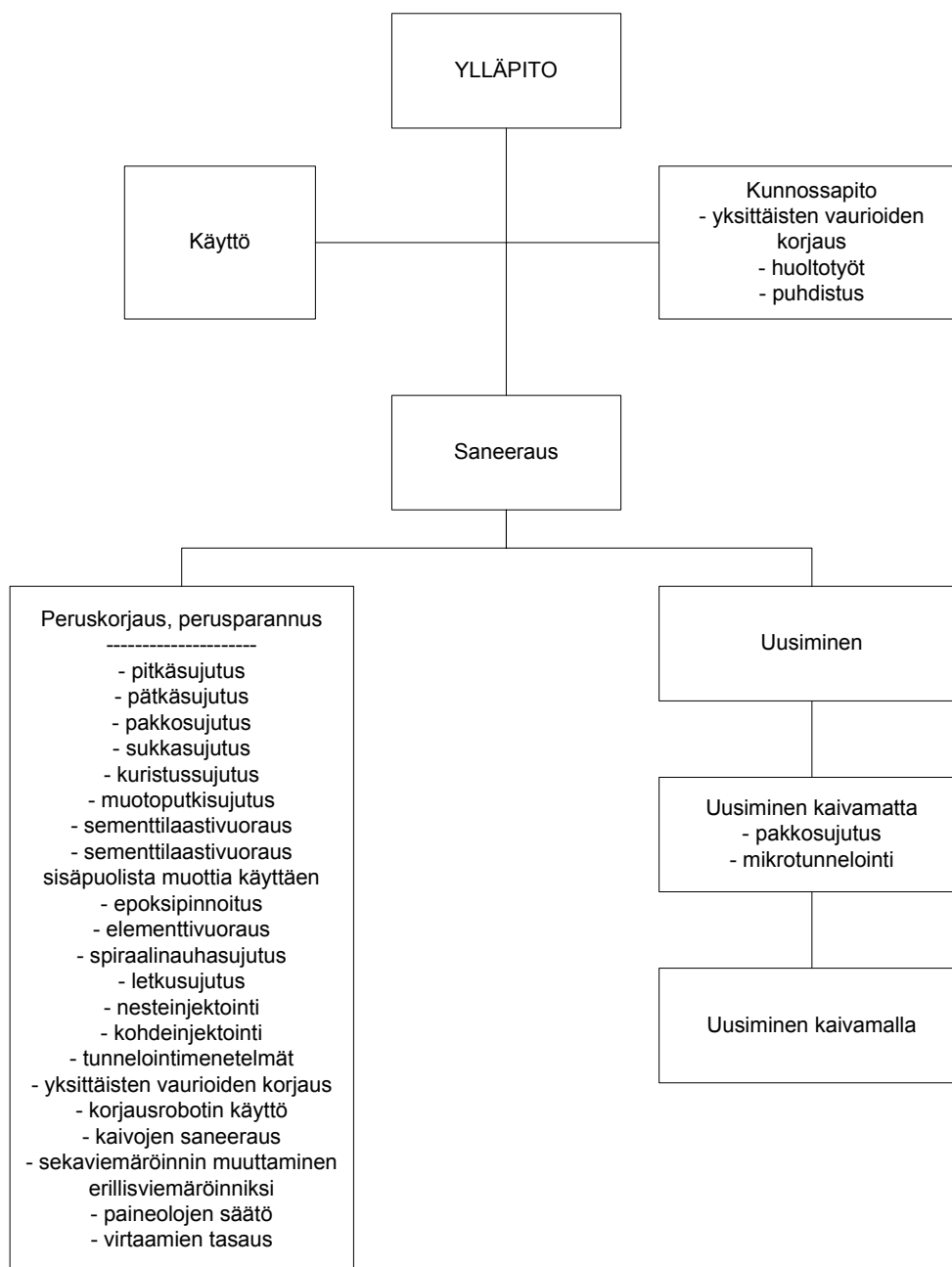
Tonttivesijohtoja on arvioitu v. 2000 olevan noin 552 500 kpl ja tonttviemäreitä n. 510 000 kpl. Keskimääräiset tonttivesijohtojen pituudet ovat 20–30 metriä, josta laskien tonttivesijohtoja on noin 13 000 km ja tonttviemäreitä 10 000 km. Vesihuoltolaitosten omistamiin johtoihin verrattuna tonttivesijohtojen osuus on noin 15 % ja tonttviemäreiden noin 25 %, eli kyseessä on merkittävä verkostonosa. [Forss 2005]

2.3 Verkostojen ylläpito (kunnossapito ja korjaus)

Suomessa vesihuoltoverkostoihin on investoitu suuria summia rahaa. Jotta omaisuusmassaa voidaan hoitaa, on tärkeää tietää, missä verkosto sijaitsee, mitkä verkoston ominaisuudet ovat ja millaisessa kunnossa verkosto on. [Forss 2005]

Verkostot dokumentoidaan edelleen kartoille, kuten on tehty jo satojen vuosien ajan. Tekniikan kehittyessä verkostokartat siirtyivät digitaaliseen aikaan, ja varusteiden tiedot kirjattiin erilaisiin rekistereihin, kuten kaivo- ja venttiilirekistereihin. Digitaalisten karttojen avulla tiedon määrää voidaan helpommin hallita. Verkoston hallintaan ja ylläpitoon liittyy paljon kokemuseräistä tietoa, jota on vaikeaa kirjata ja hallita. Muistitietoa on pyritty henkilöstön ikääntyessä kirjaamaan verkostotiedoiksi tietojärjestelmiin. [Forss 2005]

Verkostojen ylläpidon pääkohdat ovat käyttö ja kunnossapito, peruskorjaus ja perusparrannus sekä uusiminen. Kuva 1:ssä on lueteltu vesi- ja viemäriverkostojen saneerauksen ja kunnossapidon menetelmiä.

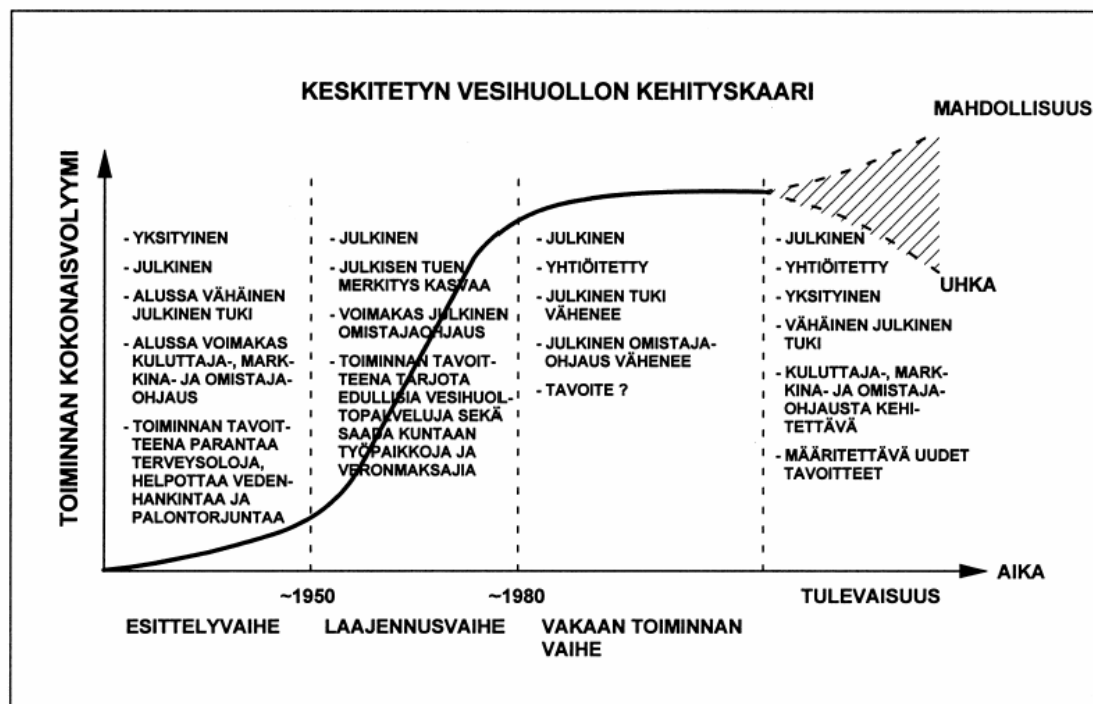


Kuva 1. Vesi- ja viemäriverkostojen saneerauksen ja kunnossapidon menetelmät [Forss 2005].

2.4 Markkinoiden kehityssuunta

Suomalaiseen vesihuoltolaitokseen kohdistuva muospaine tulee ensisijaisesti kuntaomistajan suunnasta. Esimerkiksi julkisten palveluiden markkinaehtoistaminen, vaatimukset toiminnan läpinäkyvyyden lisäämisestä, EU-kilpailulainsäädäntö, kiristyvät ympäristönormit ja kunnan rahoitus tilanne saattavat ajaa kunnan hakemaan uusia tapoja järjestää vesihuolto. Tehokkuutta tavoitellaan hakemalla mittakaavaetuja erityisesti infrastruktuurin käytön ja kunnossapidon alueille. Vesihuollossa tämä tarkoittaa laitosten toiminta-alueiden ja volyymin kasvattamista. [Vehmaskoski 2002]

Kansainvälisessä keskustelussa on viime vuosina suuresti lisääntynyt kiinnostus vesi- ja viemärlaitostoiminnan yksityistämiseen. Keskitetyn vesihuollon kehityskaari on esitetty kuva 2:ssa. Ulkomailla vesi- ja viemärlaitoksia on yksityistetty jo jonkin verran; vanhimmat esimerkit löytyvät Ranskasta ja esimerkiksi Englannissa ja Walesissa yksityistettiin v. 1989 osa vesilaitoksista ja lähes kaikki viemärlaitokset. Yksityistämisen seurauksena Englannissa ja Walesissa jouduttiin luomaan valvontajärjestelmä, jonka kustannusvaikutusta kuluttajille ja veronmaksajille on vaikea määrittää. Ruotsissa joitakin suurimpien kaupunkien vesihuoltolaitoksia on muutettu yhtiömuotoon, mutta niiden omistus on edelleen kuntien käsissä. [Hukka & Katko 1999].

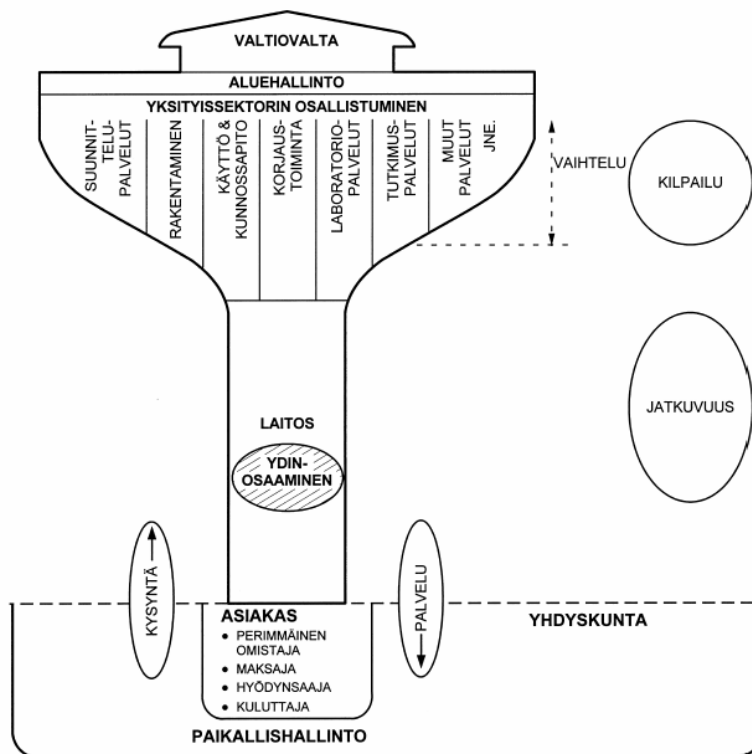


Kuva 2. Keskitetyn vesihuollon kehityskaari [Juhola 1995).

Periaatteessa vesihuoltopalvelujen kaupallistaminen on hyvä asia, mutta käytännössä kaupallisia periaatteita on vaikea toteuttaa. Ruotsissa vesi- ja viemärlaitokset eivät saa tuottaa voittoa, Suomessa ei voiton tavoittelemista laissa varsinaisesti kiellä, mutta sen on oltava ns. kohtuullista [Hukka & Katko 1999].

Todennäköistä on, että asutuksen yhteisesti järjestetty vesihuolto joudutaan organisoi-
maan tulevaisuudessa Suomessa uudella tavalla, valtaosin alueelliselta tai jopa maakun-
nalliselta pohjalta. Paras ratkaisu olisi se, että alueelliset vesihuoltolaitokset olisivat
alueiden kuntien yhdessä omistamien osakeyhtiöiden omistamia ja operoimia laitoksia,
joiden toimintaa valvottaisiin yhteiskunnan toimesta. [Kiuru 2006]

Eräs symbolinen kuvaus Suomessa mahdollisesta toimintamallista on esitetty kuva 3:ssa. Vesitornin täyttöaste vaihtelee tyypillisesti 30–100 % välillä, niin myös yksityis-
sektorilta ostettavien palveluiden määrä. Vesitornin jalka kuvaa vesihuoltolaitoksen
ydintoimintoja ja kunnallista omistusta. Ydintoimintoihin kuuluvat erityisesti strategi-
nen suunnittelu ja päätöksenteko, palveluiden kilpailuttaminen ja laitosten yleinen hal-
linto. Valtiovalta suojelee vesihuollon toimintalinjoja alueellisten viranomaisten
avustamana. [Hukka & Katko 1999]



Kuva 3. Kehittyneen yhteiskunnan vesihuollon suositeltavin julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyömalli: ydintoiminnot ovat kuntien omistamilla, autonomisilla laitoksilla, jotka ostavat kilpailuun perustuvia palveluja yksityissektorilta. [Hukka & Katko 1999]

3. Vesihuollon käyttöomaisuuden hallinnan suuntaviivoja ja malleja

Omaisuu den hallinta – Asset Management – voidaan ajatella koko organisaation läpi kulkevana prosessina, ei niinkään yksittäisenä erillisenä toimintona. Omaisuu den hallintaan osallistuvia toimintoja vesilaitoksilla ovat mm. verkostorakentaminen ja -kunnossapito, taloushallinto ja tietohallinto. Omaisuu den tehokkaan hallinnan kannalta keskeistä ei ole niinkään se, miten eri toiminnot on organisoitu, vaan se, miten yhteistyö ja tiedonvaihto eri toimintojen välillä toimii. Myös tietojärjestelmien rooli on kasvanut ja tulee kasvamaan vesihuollossa edelleen. Tietojärjestelmät voivat omalta osaltaan parantaa tiedonkulkua ja -vaihtoa vesilaitoksen eri yksilöiden välillä sekä siten parantaa omaisuu den tuottokykyä, toiminnan tehokkuutta ja suunnittelun systemaattisuutta.

Luvussa 3.2 on kuvattu tarkemmin ehkäisevää ja korjaavaa kunnossapitoa, sillä näiden toimintojen merkitys vesilaitosten käyttöomaisuuden hallinnan kannalta on merkittävä. Vesihuoltolaitosten omaisuu den hallinnan prosessia on kuvattu tarkemmin tämän raportin luvussa 3.3.

3.1 Putkimateriaalit ja niiden käyttöikä

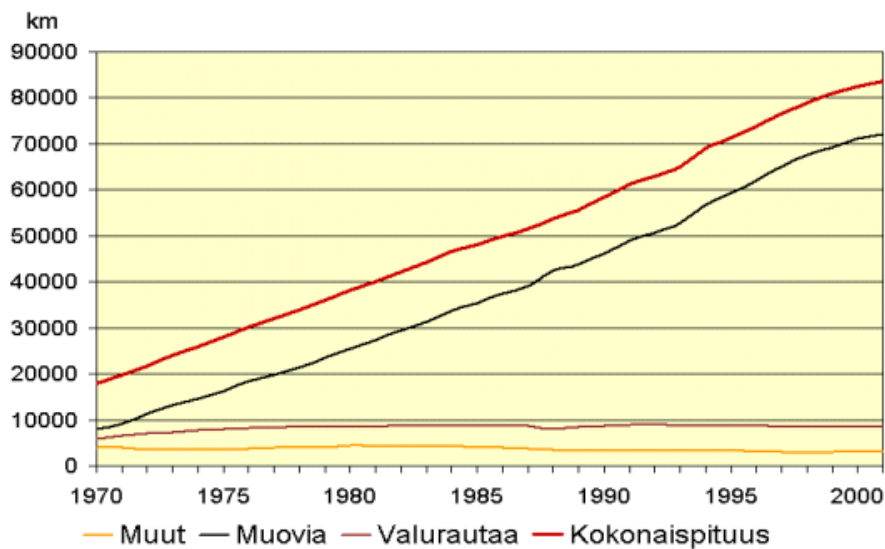
Vesijohtoverkoston putkimateriaalit Suomessa ovat [RIL 2004]:

- muovi: polyvinyylidikloridi (PVC), kova polyeteeni (PEH) ja pehmeä polyeteeni (PEL)
- valurauta: (harmaa)valurauta, pallografiittivalurauta (SG) ja betonilla sisäpuolelta vuorattu SG-valurauta, joka voi olla ulkopuolelta suojattu bitumilla (SGB)
- teräs
- asbestisementti ja
- betoni: teräsbetoni, esijännitetty teräsbetoni.

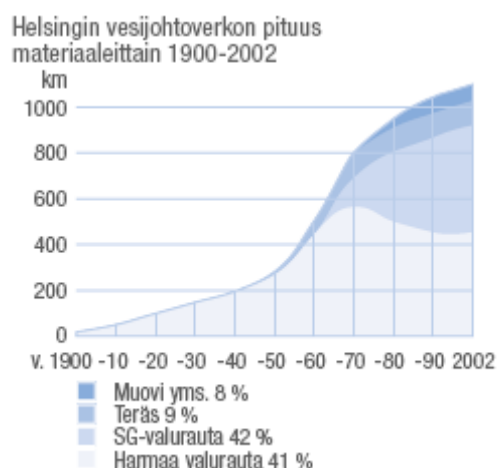
Näiden lisäksi on jonkin verran putkimateriaalina käytetty myös lasikuitua. Pallografiittivalurautaputkia on myös suojattu ulkopuolelta bitumilla ja sinkkikerroksella. Aikaisemmin on käytetty lähinnä valurauta- ja teräsputkia, myöhemmin käyttöön tulivat asbestisementti ja muovi. Betoniputket ovat vesijohdoissa varsin harvinaisia. Uusien asbestisementtiputkien asentaminen ei enää ole sallittua.

Suomen vesijohtojen kokonaispituus oli noin 83 500 km vuonna 2001 (yli 50 asukkaan laitokset, kuva 4) [Vesilaitokset 2002]. Verkostopituuden kasvu on 1990-luvun lopulla ollut noin 2 000 km vuodessa ja 2000-luvun alussa kasvuvauhdin arvioidaan hidastuneen. Näin ollen johtopituus oli vuonna 2005 arviolta hieman vajaa 90 000 km. Valtaosa uusista johdoista on muoviputkia.

Suuremmissa kaupungeissa, joissa järjestelmät ovat vanhempia, valuraudan osuus on selvästi keskimääräistä suurempi. Esimerkiksi Helsingissä valuraudan osuus on noin 80 %, ja siitä lähes puolet on harmaata valurautaa (kuva 5).



Kuva 4. Vesijohtojen kokonaispituus putkilaadun mukaan Suomessa. [Suomen ympäristökeskus, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=4828&lan=fi>]



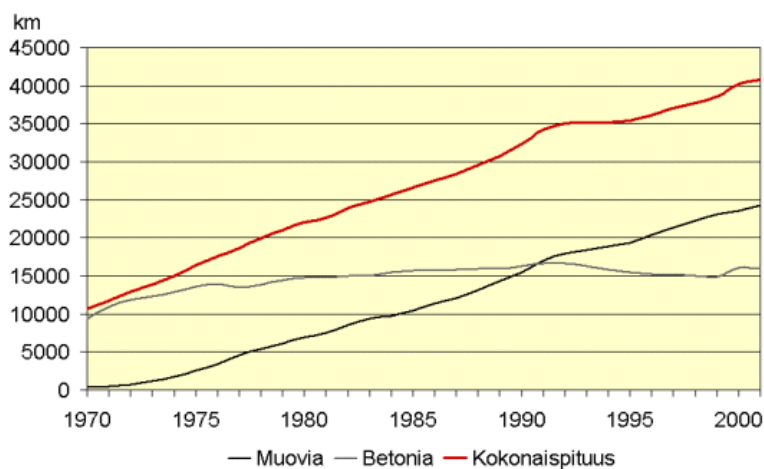
Kuva 5. Helsingin vesijohtoverkon pituuden kehitys. [Vettä varmasti 2004 <http://www.helsinginvesi.fi/index.asp>]

Viemäriverkostoissa käytetyt putkimateriaalit ovat:

- muovi (PVC, PE)
- betoni
- valurauta ja
- lasitettu savi.

Suomen viemäriverkoston kokonaispituus oli 40 800 km vuonna 2001 (yli 50 asukkaan laitokset). Muoviputkien osuus oli vajaat 60 %, betoniputkien lähes 40 % ja muiden vain prosentin luokkaa (lähteen kolmijaottelu) [Viemärlaitokset 2002]. Verkostopituisuuden kasvu on 1990-luvun lopulla ollut noin 700 km vuodessa. Näin ollen johtopituus oli vuonna 2005 arviolta 43 000 km. Valtaosa uusista johdoista on muoviputkia.

Vanhemmissa järjestelmissä betoniputkien osuus on keskimääräistä suurempi. Esimerkiksi Tampereella betoniputkien osuus on noin 50 %, muovin reilut 20 % ja muiden noin neljännes.



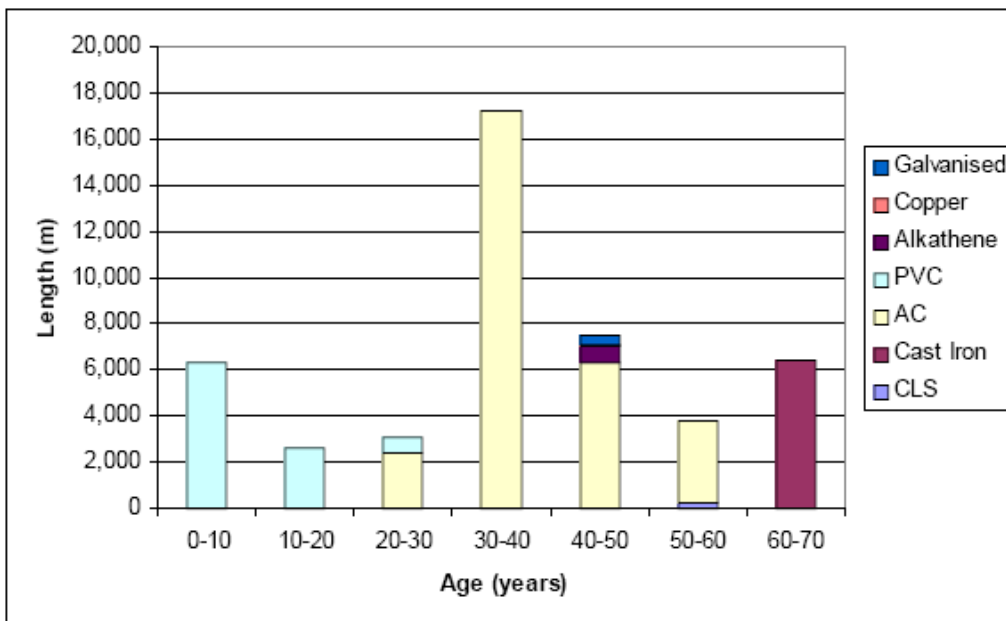
Kuva 6. Viemärien kokonaispituus putkilaadun mukaan Suomessa. [Suomen ympäristökeskus, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=4829&lan=fi>]

Kattavia taulukoita vesi- ja viemäriverkostojen käyttöiästä ei kirjallisuushaussa ole löytynyt. Hajamainintoja löytyy, mutta niiden soveltaminen käyttöiän ennakkointiin on epäluotettavaa. Viemäriverkosta tiedot ovat vielä vesijohtoverkostoakin harvinaisempia.

Esimerkiksi valurautaputken käyttöä USA:ssa mainitaan 120, 100 ja 75 vuotta putkien asennusajankohdan ollessa vastaavasti 1800-luvun loppu, 1920-luvun tienoo tai toisen maailmansodan jälkeinen aika [AWWA 2001].

”Water Asset Management Plan” [Carterton District Council 2006] esittää kuva 7:n, taulukko 2:n ja taulukko 3:n mukaiset tiedot vesijohtoverkostostaan, sen jäljellä olevasta käyttöiästä ja arvioidusta kokonaisikäkayttöiästä.

Figure 3.3 Water Pipelines: Age/Material Distribution



Kuva 7. Vesijohtojen materiaalit ja ikä. Carterton district council, Uusi-Seelanti.

Taulukko 2. Vesijohtojen arvioitu jäljellä oleva käyttöikä. Carterton district council, Uusi-Seelanti.

Table 3.1 Remaining Lives of Pipes

Material	Length (m)	1-5 yrs	6-10 yrs	11-15 yrs	16-20 yrs	20-30 yrs	>30
CLS	200.00	0	0	0	200	0	0
Cast Iron	6,390.00	0	6,390	0	0	0	0
AC	29,500.00	0	0	0	3,600	6,300	19,600
PVC	9,615.00	0	0	0	0	0	9,615
Alkathene	700.00	0	0	700	0	0	0
Copper	100.00	0	0	0	100	0	0
Galvanised	400.00	400	0	0	0	0	0

Taulukko 3. Arvioidut vesijohtojen käyttöiät materiaaleittain. Carterton district council, Uusi-Seelanti.

Table 8.2 - Life and Length of Water Pipelines

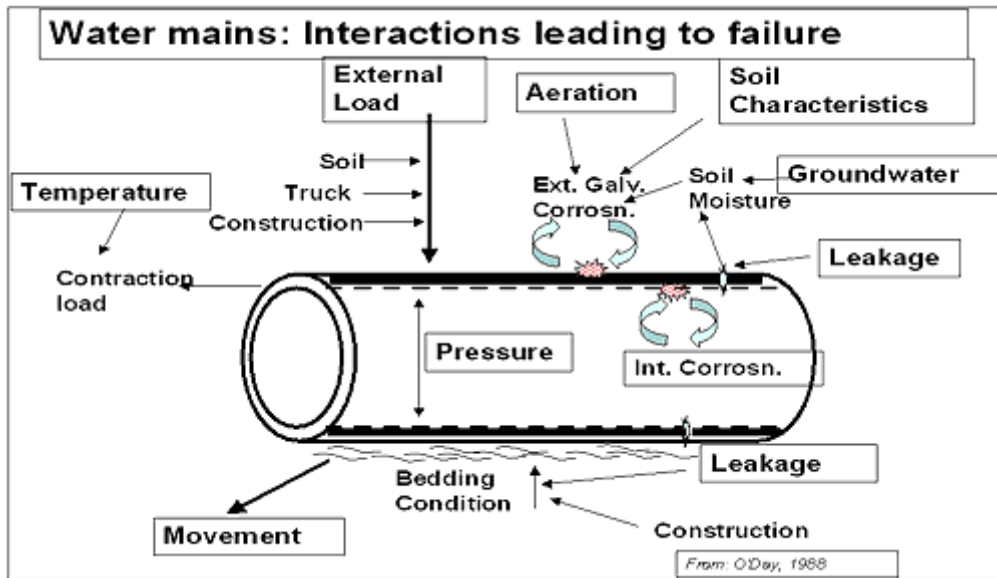
Material	Assumed Life	Total Length (m)
Asbestos	60	29,500
Cast Iron	80	6,390
Concrete Lined Steel	80	200
Concrete	80	9,112
Copper	60	100
Galvanised Iron	60	400
PVC	80	9,615
Total		46,205

3.2 Ehkäisevä ja korjaava kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito määritellään SFS-IEC 60050-standardissa “Luotettavuus ja palvelun laatu” kunnossapidoksi, joka tehdään (suomennettu englanninkielisestä standarditekstistä) ”*ennalta määritellyin aikaväleihin tai ennalta määriteltäviin kriteereihin perustuen ja se on tarkoitettu pienentämään vikaantumistodennäköisyyttä tai hidastamaan kohteen toiminnan heikentymistä.*” Vesijohtoverkostoissa tällaisia toimenpiteitä ovat huuhtelut ja jotkin saneerausmenettelyt, mikäli ne tehdään jo ennen vian ilmene- mistä. Erilaisia vianetsintä- ja -paikallistamismenetelmiä ei siten voida katsoa tähän kategoriaan kuuluviksi. Viemäriverkoston ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvaksi voidaan myös katsoa huuhtelut ja viemärikuvaukset, vaikka jälkimmäiset osaltaan ovat myös vianetsintätoimia.

Korjaava kunnossapito määritellään em. standardissa seuraavasti (suomennettu englanninkielisestä standarditekstistä): ”*Korjaava kunnossapito on kunnossapitoa, joka tehdään vian havaitsemisen jälkeen ja sen tarkoituksena on saattaa kohde sellaiseen kuntoon, että se voi toteuttaa haluttua toimintaa.*”. Vesijohtoverkoston korjaava kunnossapito sisältää sekä vianetsinnän että korjaustoimenpiteet. Erilaiset kaivamatta tehtävät saneerausmenettelytkin voivat olla korjaavaa kunnossapitoa, mikäli niitä tehdään esim. havaittujen vuotojen perusteella. Koska vika määritellään mainitussa standardissa ”*kohteen tilaksi, jossa se ei pysty suorittamaan haluttua toimintaa*”, joten myös veden laatuongelmien voidaan katsoa aiheuttavan verkostoon vian, koska haluttu toiminto (laadukkaan veden toimittaminen asiakkaalle sovitulla painetasolla) ei täysin toteudu.

Viemäriverkostossa korjaava kunnossapito kattaa myös tukosten avaamiset, koska viemärin tukkeutuessa viemäriverkoston tarkoitettu toiminta eli jätevesien johtaminen pois vedenkäyttöpaikalta puhdistuslaitokselle ei toteudu tarkoitetulla tavalla – putki sinällään voi siis olla rakenteellisesti ehjä. Putkirikon syntyyn vaikuttavia tekijöitä on havainnollistettu kuva 8:ssä.



Kuva 8. Putkirikon syntyyn vaikuttavia tekijöitä (lähde: CSIRO:n [www-sivu osoitteessa http://www.cmit.csiro.au/research/urbanwater/mouws/riskman.cfm](http://www.cmit.csiro.au/research/urbanwater/mouws/riskman.cfm)).

3.3 Vesihuoltolaitosten Asset Management järjestelmä, prosessi ja suunnitelma

Asset Managementin yleisellä tasolla sisältämiä toimintoja ja asiakokonaisuuksia on kuvattu monissa eri raporteissa ja useiden eri tahojen toimesta. Järjestelmämallit ja -suunnitelmat ovat sisällöltään hyvin samankaltaisia ja prosessiin on sisällytetty samoja vaiheita.

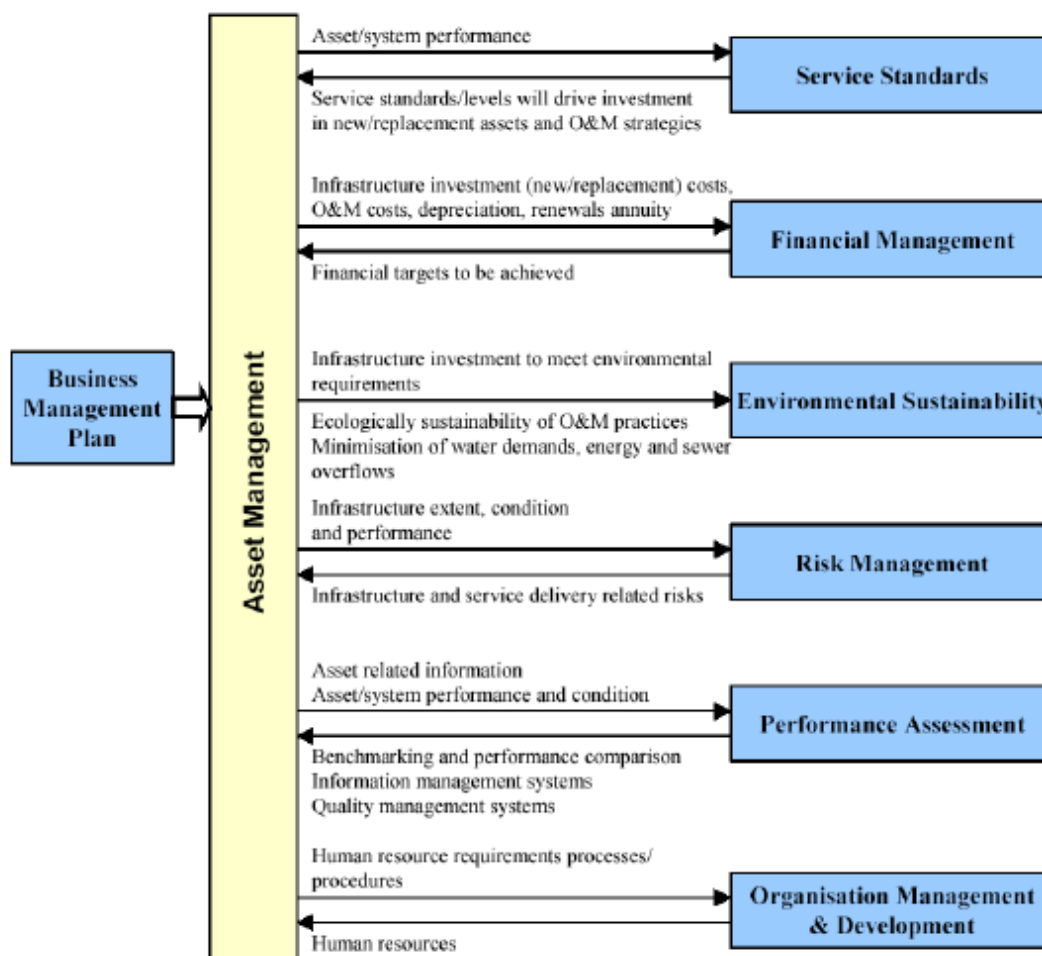
Seuraavaksi tässä raportissa kuvataan jo kehitettyjä yleisiä Asset Management -malleja, jotka on yhtä lukuun ottamatta laadittu vesihuollon näkökulmasta. Mallit luovat omaisuuden hallinnan viitekehyksen, mutta mallin soveltaminen käytäntöön sekä omaisuuden hallinnan järjestelmän ja toimintatapojen kehittäminen vaativat aina paljon laitospaikoista kehitystyötä ja räätälöintiä.

Kirjallisuusviite, josta kuvatun Asset Management -mallin referaatti on tehty, on esitetty tekstin alussa.

3.3.1 Omaisuuden hallinnan prosessi (Queensland Government)

Guidelines for implementing total management planning - asset management-overview. WIC/2002/1088 – Version 1. Endorsed 01/06/2002. Queensland Government. Natural Resources and Mines.

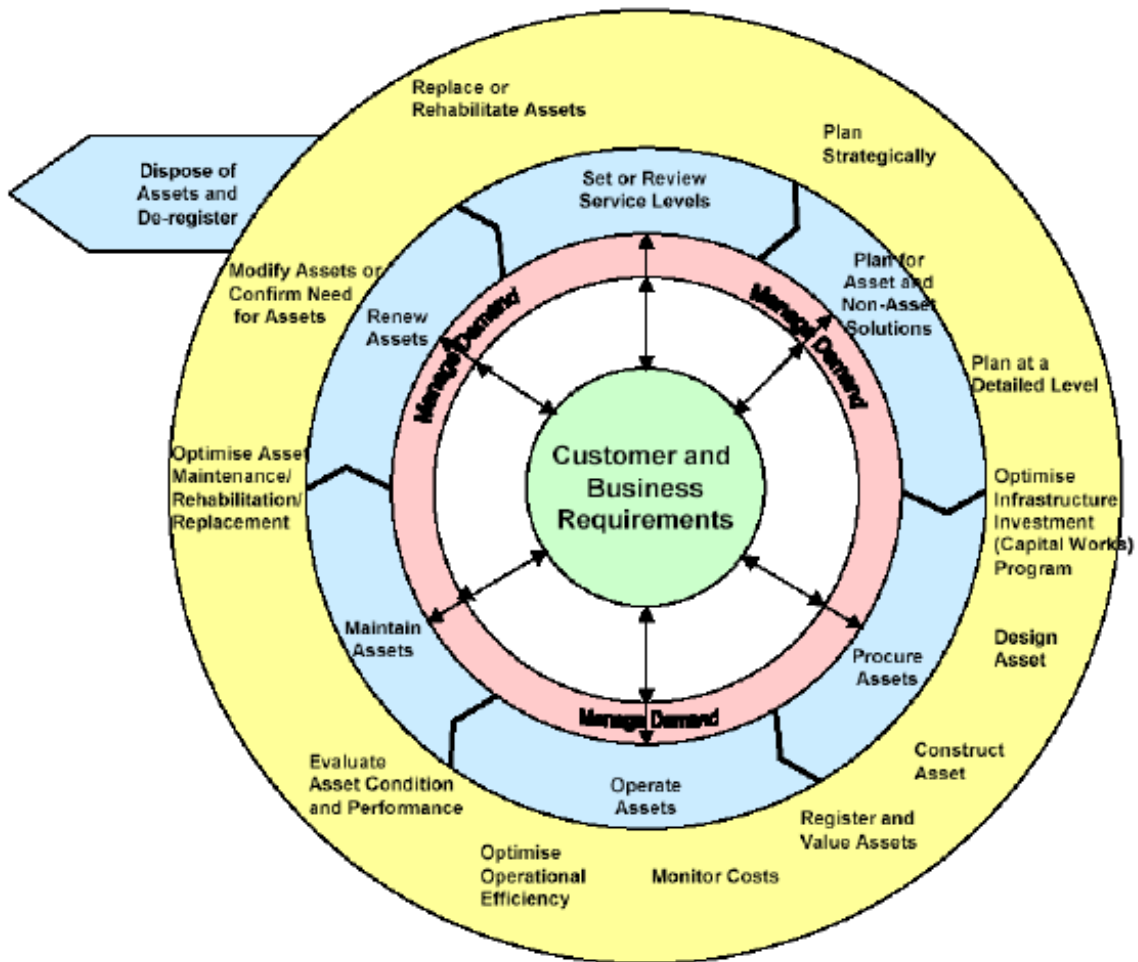
Australian Queensland Governmentin ohjeistuksessa Asset Management -prosessi kuvataan jatkuvaksi tietyn omaisuuserän koko eliniän ajan kestäväksi prosessiksi. Asset Management -prosessin pohja luodaan laitoksen strategisen suunnittelun yhteydessä, ja prosessi jatkuu aina jokapäiväisiin operatiivisiin toimiin ja työtehtäviin asti. Asset Managementin ja muiden johtamistoimintojen yhteyksiä on esitetty kuva 9:ssä.



Kuva 9. Asset Managementin ja muiden johtamistoimintojen välinen suhde.

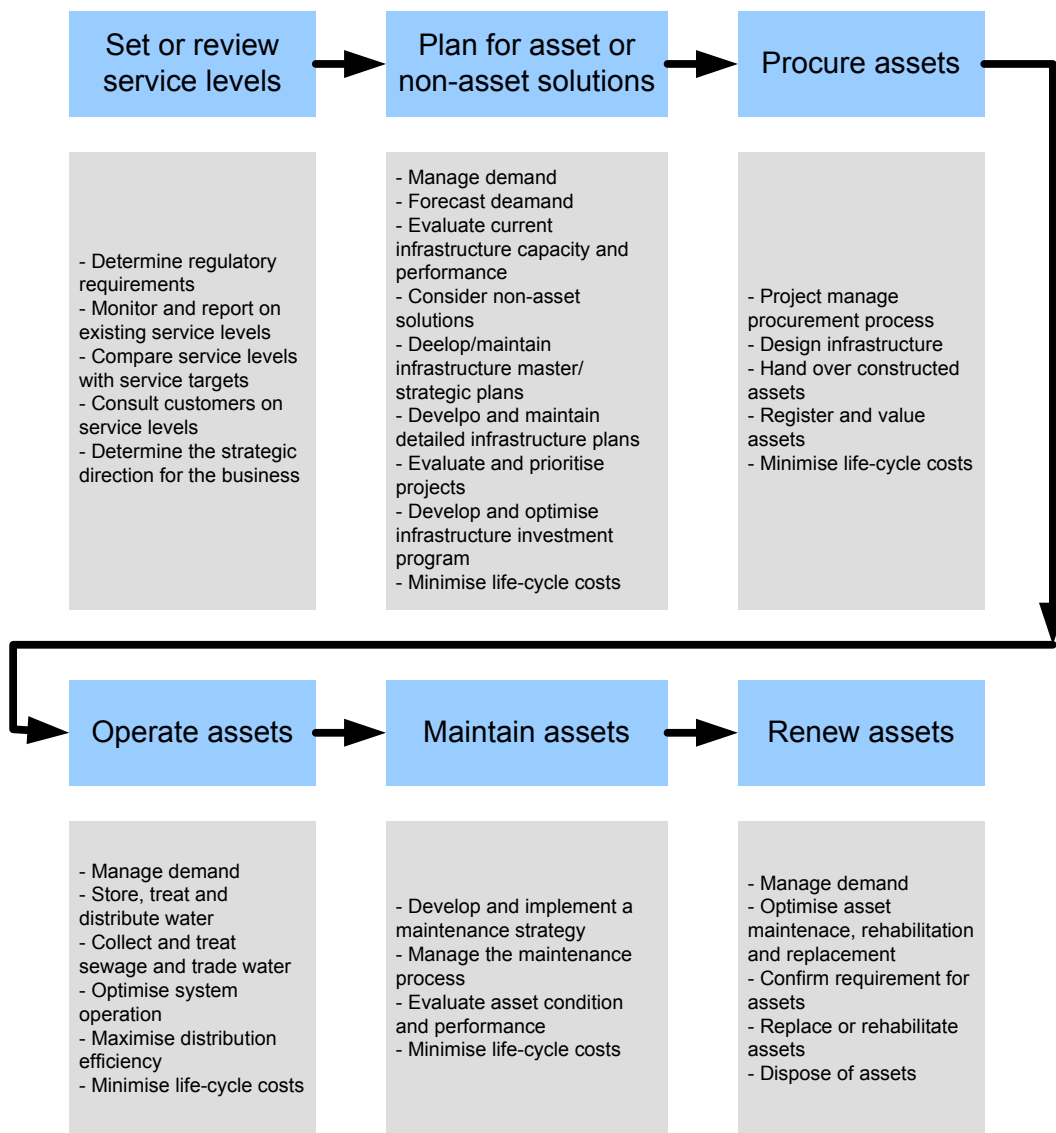
Omaisuuden hallinta ja omaisuuden hallinnan prosessin kehittäminen on keskeistä kaikille vesilaitoksille. Erityisen tärkeitä omaisuuden hallinnan osa-alueita ovat verkosto-omaisuuden käyttö ja kunnossapito. Kuitenkin laajuus ja mittakaava, jolla omaisuuden hallinta kussakin laitoksessa on järkevä toteuttaa, riippuu useista eri tekijöistä, mm. lai-

toksen (liike)toiminnan kasvunopeudesta sekä verkoston iästä ja kunnosta. Omaisuuden hallinnan prosessi on dynaaminen ja Queensland Governmentin ohjeistuksen mukaan se sisältää kuva 10:ssä esitetyt vaiheet.



Kuva 10. Asset Management -prosessi ja sen vaiheet.

Edellisen kuvan esittämät osa-alueet on kuvattu prosessina Kuva 11:ssä.



Kuva 11. Asset Management -prosessin vuokaavio.

Omaisuuuden hallinnan tasoa arvioitaessa sekä suunnitelmaa laadittaessa voidaan hyödyntää esimerkiksi liitteessä A olevaa Queensland Government:n ohjeistuksen kysymyslistaa.

3.3.2 10-osion omaisuuden hallinnan järjestelmä (CIEAM)

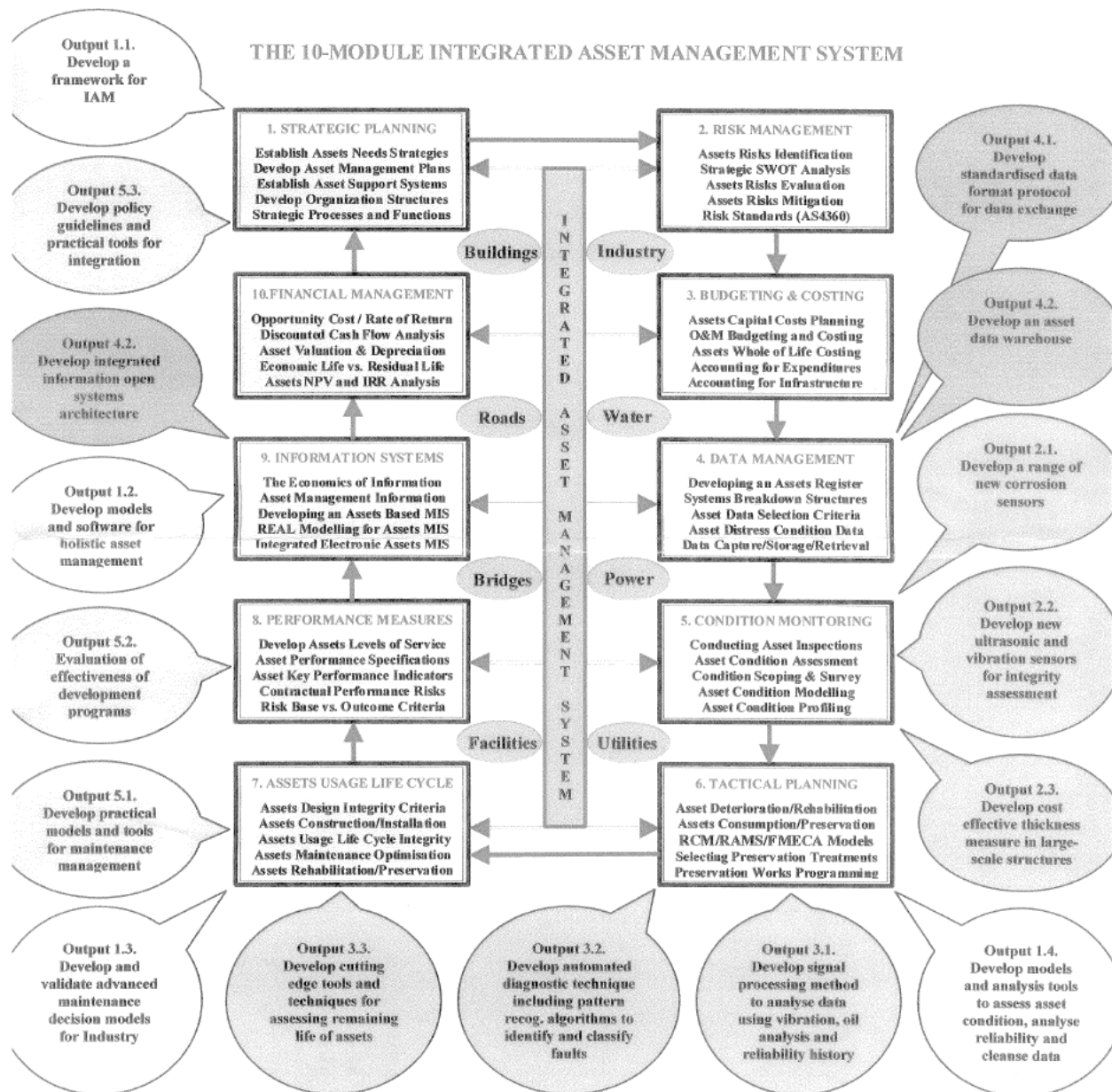
Australian valtio on perustanut vuonna 2003 uuden tutkimuskeskuksen, CIEAM (Cooperative Research Centre in Integrated Engineering Asset Management), ”Asset Managementiin” liittyvän tutkimuksen ja koulutuksen toteuttamista varten. Vaikka tutkimuskeskuksen toiminnan kuvauksessa liiketoimintalähtöisen kunnossapidon kehittäminen

on korostetusti esillä, sen tavoitteet sallivat laajemmankin lähestymistavan, kuten elinjakso-ottojen optimointiin liittyvien menetelmien kehittämisen [Komonen et al., 2005].

CIEAM:n Asset Management -järjestelmä on yleisellä tasolla toimialariippumaton ja se sisältää seuraavat pääosiöt:

1. Strateginen suunnittelu (strategic planning)
2. Riskienhallinta (risk management)
3. Budjetointi ja kustannuslaskenta (budgeting and costing)
4. Tiedonhallinta (data management)
5. Kunnonvalvonta (condition monitoring)
6. Taktinen suunnittelu (tactical planning)
7. Omaisuuden käyttö/eliniän hallinta (assets usage life cycle)
8. Tulostmittaus (performance measures)
9. Informaatiojärjestelmät (information systems)
10. Rahoituksen suunnittelu (financial planning).

Eri osa-alueiden sisältöä on kuvattu hieman tarkemmin kuva 12:ssa.



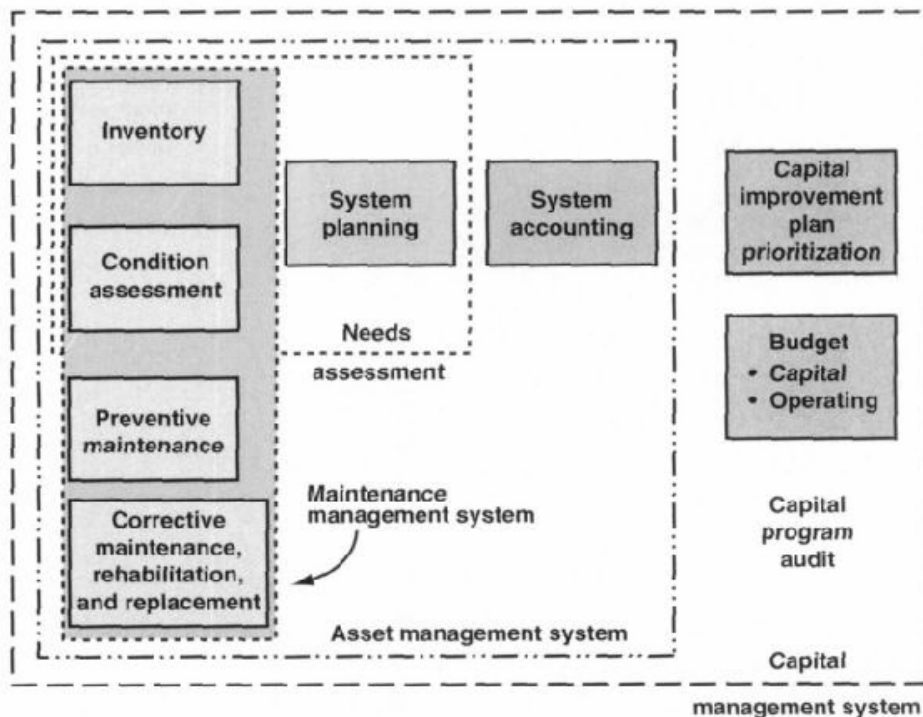
Kuva 12. CIEAM:n Asset Management -järjestelmän pääsisältö.

Lisätietoja CIEAM:sta, heidän Asset Management -osaamisestaan ja tutkimuksesta tämän raportin luvussa 4.1.5 sekä www-osoitteessa: <http://www.cieam.com>

3.3.3 Asset Management järjestelmä (AWWA)

Grigg, N. S. 2005. *Assessment and renewal of water distribution systems*. American Water Works Association. Journal. Denver: Feb 2005. Vol. 97, Iss. 2; s. 58 (12 s.s)

Griggin artikkeli esittelee AWWA:n rahoittamassa projektissa kehitetyn Asset Management -mallin. Asset Management -järjestelmä kattaa toimintoja ja työtehtäviä, jotka laitoksilla tehdään yleisesti jo osana muita työtehtäviä ja toimintoja. (kuva 13).



Kuva 13. Asset Management -järjestelmä; omaisuuden hallinnan viitekehys.

Kuvan järjestelmä sisältää näkökulmia verkostojen uudistamiseen – mm. verkostojen priorisointi, kunnonarviointi ja uudistamisen toteuttaminen sekä kuinka ko. näkökulmat liitetään osaksi omaisuuden hallintaa. Järjestelmä luo viitekehysten sitoutuneen pääoman käytön tehostamiselle.

Grigg perustelee ja korostaa saneerauksen (renewal) merkitystä. Saneeraustarpeen määrittämiseksi keskeisellä sijalla on verkostojen saneerauksen priorisointi suhteessa muihin projekteihin (esim. uudisrakentaminen, luotettavuus, palvelutaso, kapasiteetin hallinta sekä viranomaismääräykset). Vaihtoehtojen keskinäisessä vertailussa ja priorisoinnissa voidaan käyttää erilaisia kriteerejä/tunnuslukuja mm. sijoitetun pääoman tuotto-prosentti (ROI), kokonaisriskin arvo sekä myös ns. pehmeät arvot, esim. sosiaaliset, ympäristö- ja turvallisuusnäkökohdat. Vesilaitokset voivat kehittää itselleen omat kriteerinsä, joilla omaisuuden hallinnan eri vaihtoehtojen ja päätösten (esim. saneeraus,

uudisrakentaminen, luotettavuus, palvelutaso, kapasiteetin hallinta sekä viranomaismääräykset) hyvyyttä voidaan mitata:

- *Tekniset ja liikkeenjohdolliset kriteerit.* (esim. Saavutetaanko päätöksellä/suunnitelmalla asetetut tavoitteet tehokkaasti? Parantaako päätös/suunnitelma palvelutasoa ja vähentääkö se vikoja ja häiriöitä? Vähentääkö päätös/suunnitelma riskiä ja haavoittuvuutta?)
- *Lakisäätöiset ja institutionaaliset kriteerit.* (esim. Voiko omistaja toteuttaa päätöksen/suunnitelman pitkällä tähtäimellä? Onko päätös lain mukainen ja soveltuva?)
- *Poliittiset, sosiaaliset ja ympäristökriteerit.* (esim. Onko päätös/suunnitelma poliittisesti sopiva? Tukeeko se muita suunnitelmia? Miten ihmiset suhtautuvat päätökseen/suunnitelmaan? Aiheutuuko päätöksestä/suunnitelmasta haitallisia ympäristö- tai terveysvaikutuksia?)
- *Rahoitukselliset ja taloudelliset kriteerit.* (esim. Onko tuotto hyväksyttävällä tasolla? Saadaanko voittoa? Tarjoaako vaihtoehto palvelua uusille asiakkaille? Vähentääkö suunnitelma operatiivisia kustannuksia? Tukeeko suunnitelma yleistä taloudellista kehitystä?)

Yksinkertaisia priorisointipäätöksiä tehtäessä voidaan käyttää niinkin kevyttä menetelmää kuin äänestys. Monimutkaisemmassa vesilaitosten omaisuuden hallintaan liittyvässä päätöksenteossa voidaan apuna käyttää ns. päätöksenteon tuen menetelmiä. Päätösanalyysi on operaatiotutkimuksen osa-alue, jonka menetelmät on tarkoitettu avustamaan päätöksentekijöitä vaikeiden päätösongelmien ratkaisemisessa. Seuraavissa taulukoissa (taulukko 4 ja taulukko 5) on listattu erityyppisiä menetelmiä.

Taulukko 4. Esimerkkejä priorisointimenetelmistä [Grigg, 2005].

Method	Reference
Priority action numbers for mains	Hope, R. 2003. Establishing the estimated Annual Replacement Rate for Water Mains. Workshop for Infrastructure: Above and Below Ground. Proc. 2003 AWWA Ann. Conf., Anaheim, Calif.)
Private water company priorities based on performance, customer service and water quality	Connor & Mason, 2004
KANEW (predictive distribution system condition assessment) model offers method to determine a water main replacement rate	Deb, A.K., Hasit, Y.J, Grablutz, F.M. 1998. Quantifying Future Rehabilitation and Replacement Needs of Water Mains. AWWARF, Denver.
“Nessle curve” predicts when replacement waves will occur; provides “decay curves”	AWWARF. 2001. Financial and Economic Optimization of Water Main Replacement Programs. AWWARF, Denver
Genetic algorithm	Dandy, G.C., Engelhardt, M. 2001. Optimal Scheduling of Water Pipe Replacement using Genetic Algorithms. Journal of Water Res. Planning & Management., 127:214
Individual pipe models	Andreou, S.A., Marks, D.H., Clark, R.M. 1987. A New Methodology for modelling Break Failure Patterns in Deteriorating Water Distribution Systems: Theory. Adv. Water Res., 10:2
Comprehensive decision support models	<p>Burn, S. et al. 2004. PARMS: An approach to Strategic Management for urban Water Infrastructure. IWA Meeting on Strategic Asset Management, San Francisco. (PARMS-malli ks. myös tämän raportin luku 4.2.5)</p> <p>Hafskjold, L.F. 2003. CARE-W: Computer Aided Renewal of Water networks. Presented at Distribution System Infrastructure Integrity Workshop. Fort Collins, Colo.</p> <p>Deb, A.K. et al. 2002. Decision Support System for Distribution System piping Renewal. AWWARF, Denver.</p> <p>Kleiner, Y., Balvant, R. 1999. Using Limited Data to Assess Future Needs. Jour. AWWA, 91:7:47.</p>

Taulukko 5. Yleisiä päätöksenteon tuen kvantitatiivisia menetelmiä ja tekniikoita (Lista ei ole kattava.). [VTT 2006]

Kvantitatiiviset menetelmät	Kvalitatiiviset menetelmät
<p>Päätösanalyysit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hyötyteoriat/päätöspuut - Kvantitatiivinen riskianalyysi - Stokastisen dominanssin mallit (FSD, SSD, TSD) - Informaation arvon mallit - Markov-mallit - Monitavoitteinen optimointi - Jne. 	<p>Skenaarioanalyysit</p> <p>Päätöspaneelit</p> <p>SWOT analyysi</p> <p>Jne.</p>
<p>Data-analyysit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aikasarjat - Monimuuttuja-analyysit - Varianssianalyysit - Jne. 	
<p>Taloustieteiden kvantitatiiviset menetelmät</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investointeihin liittyvän epävarmuuden analysointi (perinteiset investointilaskentamenetelmät, reaaliopioiteoria) - Kilpailuteoriamallit - Peliteoriamallit - Kysyntä ja tarjontamallit, hyötyteoria - Kustannus-hyötyanalyysi - Jne. 	

Grigg käsittelee tekstissään vielä kunnonvalvontaa ja sen toteuttamista sekä saneeraus-tekniikoita ym., mutta niitä ei tässä raportissa erikseen kuvata.

3.3.4 Asset Management -prosessin käsikirja (EPA)

Asset Management: A Handbook for Small Water Systems -- One of the Simple Tools for Effective Performance (STEP) Guide Series (EPA 816-R-03-016, September 2003).

US EPA:n (US Environmental Protection Agency, US-EPA) käytännönläheinen opas esittelee omaisuuden hallinnan peruslähtökohtia sekä tarjoaa yksinkertaisia lomakepohjia, joita voi hyödyntää omaisuuden hallinnan suunnitelman laatimisessa ja prosessin kehittämässä. Lomakkeet on laadittu Yhdysvaltain vesilaitosten tarpeeseen ja siten ne täytyy ensin räätälöidä Suomen vesihuoltoaluetalouteen sopivaksi.

Oppaassa Asset Management -prosessi on jaettu 5 vaiheeseen:

1) Omaisuusmassan ja sen kunnan määrittäminen, kuva 14 (mm. verkosto, kunto, kunnossapitohistoria, kestoikä – oletettu elinikä ja historiatietoon perustuva).

Asset	Expected Useful Life	Condition	Service History	Adjusted Useful Life	Age	Remaining Useful Life
-------	----------------------	-----------	-----------------	----------------------	-----	-----------------------

Kuva 14. Omaisuusmassan ja sen kunnan määrittäminen -lomake.

2) Käyttöomaisuuden priorisointi, kuva 15 (saneeraustarve, tietyn asettin merkitys koko verkoston ja sen toimivuuden kannalta jne.).

Asset	Remaining Useful Life	Importance	Redundancy	Priority (1 is high)
-------	-----------------------	------------	------------	----------------------

Kuva 15. Käyttöomaisuuden priorisointi -lomake.

3) Käyttöomaisuuden hallintasuunnitelman laatiminen, Kuva 16 (mm. toimenpiteet, niiden kustannukset ja ajankohta, tarvittavat resurssivaraukset jne.).

Asset (list from highest to lowest priority)	Activity	Years until action needed	Cost (\$)	Reserve required current year
----------------------------------------------	----------	---------------------------	-----------	-------------------------------

Kuva 16. Toimeenpanosuunnitelma -lomake.

4) Suunnitelman toteuttaminen, kuva 17 (Talous ja budjetointi, käyttöomaisuuden hallinnan toimenpiteet mm. käyttöikään vaikuttavat tekijät).

Revenues	Expenses	Net Income
Service Fees: _____	Maintenance: _____	Total Revenues: _____
Fees and Service Charges (late fee, connection fee, fire fee, etc.): _____	Utilities (power, telephone): _____	Total Expenses: _____
Impact Fees (demand fee, system development fee, etc.): _____	Salaries and Benefits: _____	Net Income (Revenue - Expenses): _____
Secured Funding: _____	Equipment Cost: _____	
Interest: _____	Chemicals: _____	
Other: _____	Monitoring and Testing: _____	
_____	Rent or Mortgage: _____	
_____	Insurance: _____	
_____	Professional Services (legal, accounting, engineering, etc.): _____	
_____	Training Costs: _____	
_____	Billing Costs: _____	
	Fees (state PWS fee, franchise fee, conservation fee, etc.): _____	
	Security: _____	
	Other (debt payments, taxes, miscellaneous, etc.): _____	

Total Revenues: _____	Total Expenses: _____	Additional Reserves Needed
		Total Required Reserves: _____
		Net Income: _____
		Additional Reserves Needed (Income - Required Reserves): _____

Kuva 17. Budjetointilomake.

5) Seuranta ja tulokset. (suunnitelman toteutumisen seuranta ja suunnitelman päivittäminen).

EPA:n oppaassa mainittuja Asset Management -järjestelmän hyötyjä ovat mm.

- lisääntynyt tietämys verkostoista ja niiden tilasta, mikä tukee mm. oikeiden ja oikein ajoitettujen investointipäätösten tekemistä
- verkoston pienentynyt ”down-time” ja korjaavan kunnossapidon akuuttien korjausten pienempi määrä
- saneerauskohteiden ja -ajankohtien parempi priorisointi
- rahankäytön tehokkuuden ja sitoutuneen pääoman käytön tehostumisen osoittaminen omistajille ja sidosryhmille
- jossain tapauksessa mahdollisuus lisärahoitukseen.

3.3.5 Omaisuuden hallinnassa tarvittavia tietoja

Toimiva omaisuuden hallintajärjestelmä sisältää sekä teknisiä että taloudellisia toimintoja ja elementtejä, ja siten myös omaisuuden hallinnassa tarvittava tieto on sekä teknistä että taloudellista. Keskeisiä omaisuuden hallinnassa tarvittavia tietoja ovat mm.

- Verkoston määrä, tyyppi materiaali, ikä, olosuhteet jne.
- Verkoston kunto: putkien, saumojen, venttiilien kunto jne.
- Kunnossapito: aiemmat vauriot, huoltotoimenpiteet jne.
- Talous: kustannukset, investoinnit, budjetointi jne.

Keskeisessä asemassa mm. saneeraustarpeen määrittämisessä on kunnossapitotieto (verkoston kuntotiedot, ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon tiedot jne.)

Taulukko 6:ssa on kuvattu yleisellä tasolla viemäriverkoston kunnossapitoon ja hallinnalle liittyvälle tiedolle asetettavia vaatimuksia. Sama pätee myös omaisuuden hallinnassa käytettävälle ja hyödynnettävälle tiedolle.

Taulukko 6. Tiedonhallintajärjestelmän tiedoille asetettavia vaatimuksia. [Fenner, 2000]

Data requirements for a data management system

Requirements	Description
Accuracy	All pipe and channel sizes and other physical attributes are known and the connectivity of the system is confirmed
Completeness	All constructed works are identified with no gaps existing in the pipe and channel networks unless confirmed by field study
Spatially defined	The location of the network should be referenced to the cadastral or property and road base to the nearest meter for presentation of the data in a GIS and for accurate development of hydraulic models
Known system condition	Moves to condition based depreciation rather than straight line depreciation on design life make condition assessment essential
Data transfer	Information must be easily transferred to the format required by modern hydraulic modelling products and GIS software
Asset management	Business decision rules using asset condition (likelihood of failure) and asset criticality (consequences of failure) should be used to define proactive maintenance, inspection or rehabilitation programmes
Maintenance management	The drainage information system should link to a maintenance management system for recording incidents and for recording the nature of field operational work undertaken
Quality Assurance	The procedures for editing existing information or adding in more information need to be covered by sound QA and incorporate security on who can edit the data

Vesilaitoksilla olevan teknisen tiedon taso on usein korkea verrattuna taloudellisuuden ja toiminnallisuuden näkökulmiin. Eli usein eri järjestelmiin tallennettua ja muutoin kerättyä tietoa ei ole suunniteltu käytettäväksi omaisuuden tuottokyvyn analyyseissa, vaan nämä analyysit vaativat tietojen laajamittaista yhdistämistä ja analyysejä.

3.3.6 Näkemyksiä omaisuuden hallinnasta ja sen malleista vesihuoltotoimialalla

Kuten aiemmin on jo mainittu, vesihuollon ja myös muiden toimialojen omaisuuden hallintaan kehitetyt yleiset mallit ja järjestelmät ovat pääsisällöltään hyvin samankaltaisia ja prosessiin on sisällytetty samoja vaiheita. Mallit luovat omaisuuden hallinnan viitekehyksen, mutta sen soveltaminen käytäntöön yhdessä omaisuuden hallinnan toimintatapojen kehittämisen kanssa vaatii aina paljon laitospohtaista kehitystyötä ja räätälöintiä.

Vesihuoltolaitosten omaisuuden hallintaan voidaan sisällyttää ainakin seuraavia näkökulmia ja toimintoja [mukaillen Sipilä, 2005]:

1. **Strategia:** näkökulman tavoite on määrittää omaisuuden hallinnan strategia ja tavoitteet.
 - mm. ydinprosessien ja -osaamisen määrittäminen ja arviointi, omaisuuden hallinnan strategian ja tavoitteiden määrittäminen, strategian jalkauttaminen jne.

2. **Talous:** näkökulman keskeinen tavoite on mitata/arvottaa, analysoida ja optimoida sitoutunut pääoma.
 - mm. kassavirrat, sitoutunut tuotto, investointien vaihtoehdot ja ajoitus (esim. verkostoinvestoinnit: saneerauksen ja korjaavan kunnossapidon suhde), riskit, laskentaperiaatteet, mitattavat taloudelliset tunnusluvut, omaisuuden määrän optimointi: että tarvittavaa omaisuutta on oikea määrä ja tarpeettomasta on osattu/osataan luopua taloudellisesti jne.

3. **Tekninen:** näkökulmaan sisältyvät omaisuuden luotettavuuden, tehokkuuden ja ylläpidon tekijät.
 - mm. ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon kehittäminen, kunnonvalvonnan kehittäminen, laatutason määrittäminen, kokonaistehokkuuden kehittäminen jne.

4. **Organisaatio:** näkökulmaan liittyvät tarvittavan osaamisen, yhteistyön ja toimintamallien kehittäminen.
 - mm. eläköitymisen haasteet, ulkoistamisen merkitys (omaisuuden hallinta on mielenkiintoinen markkina myös palvelu- ja teknologiayrityksille), organisaatioiden yhdistäminen, laitosten välinen yhteistyö, yksityisen sektorin merkitys, kunnossapidon toimintatapojen kehittäminen jne.

5. **Järjestelmät:** tietojärjestelmät omaisuuden hallinnassa.
 - mm. tietojärjestelmien kehittäminen ja mukauttaminen omaisuuden hallintaa ja omaisuuden tuottokyvyn mittaamista tukeviksi (tekninen ja taloudellinen tieto, tietojen yhdistäminen ja analyysi).

Omaisuuden hallinnan kehitystyössä kannattaa yleensä edetä yleiseltä tasolta yksityiskohtaiselle tasolle asteittain. Laitoksen tavoitteet määrittävät verkoston tavoitteet ja edelleen kunnossapidon tavoitteet. Vastaavasti kunnossapidon tavoitteet tukevat verkoston tavoitteita ja edelleen laitoksen tavoitteita (Kuva 18).



Kuva 18. Strateginen päätöksenteko → Operatiivinen päätöksenteko → Strateginen päätöksenteko.

Omaisuu den hallinnan kehitystyön lähtökohdaksi vesilaitoksella voidaan esimerkiksi ottaa ydintoimintoja (vesiverkon suunnittelu, rakennuttaminen ja saneeraus, veden tuotanto ja jäteveden käsittely, verkosto- ja laitoskunnossapito, taloushallinto jne.) tukevan omaisuuden hallinnan prosessin muodostaminen. Tällöin omistajan/omistajien ja asiakkaan tarpeiden sekä sitoutuneen pääoman tuottokyvyn ohjaukselle on mahdollista luoda kytkentä.

Raportin tässä luvussa (3.3) esiteltyjä Asset Management -malleja ja omaisuuden hallinnan näkökulmia hyödynnetään jatkossa AssetVesi-tutkimushankkeessa kehitettävän vesihuoltolaitosten Asset Management -toimintamallin kehitystyössä.

4. Vesihuollon Asset Management -tutkimus

Vesihuollon käyttöomaisuuden hallinnan tutkimusta on tehty ja tehdään tietohakujen perusteella eniten Pohjois-Amerikassa (USA ja Kanada) sekä Australiassa. Lisäksi tutkimusta tehdään mm. Isossa-Britanniassa, Ranskassa ja Japanissa.

Yleisesti voidaan todeta, että ongelmat ovat hyvin samankaltaisia eri puolilla maailmaa; vesihuoltoverkosto on hyvin samanikäistä kaikissa länsimaissa ja sen tekninen käyttöikä on loppumassa. Ongelmien kasaantumista aiheuttaa mm. se, että putkistojen materiaalien muututtua vuosien saatossa useina eri vuosikymmeninä asennettujen putkistojen käyttöikä tulee täyteen samanaikaisesti. Tähän on vaikuttanut mm. toisen maailmansodan jälkeinen materiaali- ja materiaalikulutuksen taloudellinen optimointi.

4.1 Tutkimusorganisaatioita Suomessa ja kansainvälisesti

4.1.1 Vesihuollon Asset Management -tutkimus Suomessa

Omaisuuksien hallinnan tutkimus on varsin poikkitieteellistä: tarvitaan vesihuoltotekniikan, kunnossapidon sekä taloustieteiden osaamista. Tämä omalta osaltaan vaikuttaa siihen, että varsinaista vesihuoltosektorin käyttöomaisuuden hallinnan tutkimusta ei Suomessa ole vielä laajamittaisesti tehty. Asset Managementiin liittyviä tutkimuksia mm. verkoston kunnosta ja kunnonvalvonnasta ja verkoston taloudellisesta arvosta on kuitenkin tehty useilla eri tahoilla. Seuraavassa taulukossa on mainittu esimerkinomaisesti muutamia vesihuollon, kunnossapidon ja liiketoiminnan tutkimusta tekeviä tutkimus- ja opetustahoja.

Taulukko 7. Vesihuollon Asset Management -tutkimusta tai läheisesti vesihuollon omaisuuden hallintaan liittyvää tutkimusta tekeviä tahoja Suomessa (lista ei ole kattava).

Taho	Lyhyt kuvaus + www-osoite
VTT	http://www.vtt.fi/ VTT kehittää uutta teknologiaa, tuottaa tutkimus-, kehitys-, testaus- ja tietopalveluita sekä kotimaisille että kansainvälisille asiakkailleen, yrityksille ja julkiselle sektorille. Aihepiirin osaaminen mm. käyttöomaisuuden hallinta, kunnossapito ja kunnossapidon strategiat, kunnossapidon talous, käyttövarmuusanalyysit, diagnostiikka ja prognostiikka, monitorointi, teknis-taloudelliset analyysit, investointien hallinta, vesien käsittely eri prosessivaiheissa, erotustekniikat, ympäristövaikutusten hallinta, riskienhallinta, elinkaaren hallinta, jätevesien käsittely jne.

<u>Vesihuoltotekniikka</u>	
TKK Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto/ Vesihuoltotekniikan laboratorio	http://www.tkk.fi/Yksikot/Rakennus/Vesihuolto/index.html Laboratorion opetus- ja tutkimustoiminta kattaa talous- ja jätevesien käsittelyprosessit, vesijohto- ja viemäriverkostot sekä jätehuoltotekniikan.
TTY Bio- ja ympäristötekniikan laitos	http://www.tut.fi/units/ymp/bio/index.html TTY:n vesi- ja jätehuoltotekniikka keskittyy teollisuuden ja yhdyskuntien vedenhankintaan, jätevesien käsittelyyn ja jätehuoltoon.
<u>Omaisuuuden hallinta taloudellisesta näkökulmasta</u>	
HKKK	http://www.hse.fi/FI/subjects/s_1/bustech/ Mm. liiketoiminnan teknologia, verkostoituva liiketoiminta, johtaminen, laskentatoimi jne.
LTU, Tuotantotalouden osasto	http://www.lut.fi/tuta/tutkimus/ Laskentatoimen vastuualue, jossa tutkimustyön painopiste on mm. kustannus- ja investointilaskennan menetelmien sekä mallien kehittämisessä teollisuuden tarpeisiin.
Vaasan yliopisto, Teknillinen tdk/Sähkötekn. ja tuotantotal.laitos	http://www.uwasa.fi/tutkimus/painopisteet/ Mm. liiketoiminta- ja teknologiajohtaminen.
TTY, Teollisuustalous/CMC Cost Management Center	http://www.im.tut.fi/cmc/ Organisaatioiden kilpailukyvyyn ja kannattavuuden parantaminen laskentatoimen keinoin (mm. kannattavuuden ja kustannusten analysointi).
<u>Kunnossapito</u>	
TTY, Koneensuunnittelu, käyttövarmuus ja kunnossapitotekniikka	http://www.tut.fi/index.cfm?mainsele=2986&sel=2986&Show=2613&siteid=68&CFID=14580481&CFTOKEN=49958150 Käyttövarmuus ja kunnossapitotekniikka, tehonsiirto ja tribologia, konedynamiikka, koneiden diagnostiikka
OY (Oulun Yliopisto), Konetekniikan osasto	http://me.oulu.fi/index.php?id=20 Kunnossapitotekniikkaa ja diagnostiikkaa.
LTU, Maintenance Academy	http://developmentcentre.lut.fi/koulutukset.asp?category=muut&kid=420 Pääasiassa opintoja (moduulit: Kunnossapidon liiketoimintojen johtaminen, Kunnossapidon järjestelmät ja Kunnossapidon kone- ja laitetekniikka), mutta myös jonkin verran tutkimusta.
HAMK, Hämeen ammattikorkeakoulu	http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMK/Tutkimus_ja_kehitys/T_K_palvelut/Osaamiskeskittymat/AutoMaint Tutkimus- ja kehitysyksikkö, joka tarjoaa käynnissä- ja kunnossapidon sekä automaation kehittämisspalveluja.

4.1.2 Pohjois-Amerikka: American Water Works Association (AWWA)

Pohjois-Amerikassa suurin vesihuollon Asset Management -tutkimusta tekevä ja teettävä taho on American Water Works Association, eli AWWA. AWWA:n www-sivut löytyvät osoitteesta <http://www.awwa.org/>. AWWA on kansainvälinen voittoa tavoittelematon tieteellinen ja koulutuksellinen yhteisö, joka on keskittynyt veden saatavuuden ja laadun parantamiseen. AWWA on perustettu 1881, ja se on maailman suurin vesihuollon ammattilaisten yhteistyöorganisaatio. AWWA:ssa on yli 4 700 vesihuoltolaitosta, jotka toimittavat vettä yhteensä noin 180 miljoonalle ihmiselle Pohjois-Amerikassa.

AWWA:n tutkimussäätiö, AWWA Research Foundation (<http://www.awwarf.org/>) rahoittaa myös Asset Management -tutkimusta. AWWArf:n missiona on edistää veteen liittyvää tiedettä elämänlaadun parantamiseksi. AWWArf:ssa työskentelee 40 kokopäiväistä työntekijää, jotka toimivat erilaisten tutkimustoimintojen koordinaattoreina. AWWArf:n Asset Managementia koskevat tutkimukset löytyvät seuraavasta linkistä:

<http://www.awwarf.org/research/TopicsAndProjects/topicSnapshot.aspx?topic=AssetMgt>

4.1.3 Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

CSIRO on Australian kansallinen monitieteellinen tutkimuslaitos. CSIRO on perustettu vuonna 1949, ja se toimii Australian opetusministeriön alaisuudessa.

CSIRO tekee laajasti myös käyttöomaisuuden hallinnan tutkimusta vesihuoltoalalla. CSIRO tarjoaa osaamista mm. seuraavilla aloilla:

(<http://www.cmit.csiro.au/research/urbanwater/mouws/>):

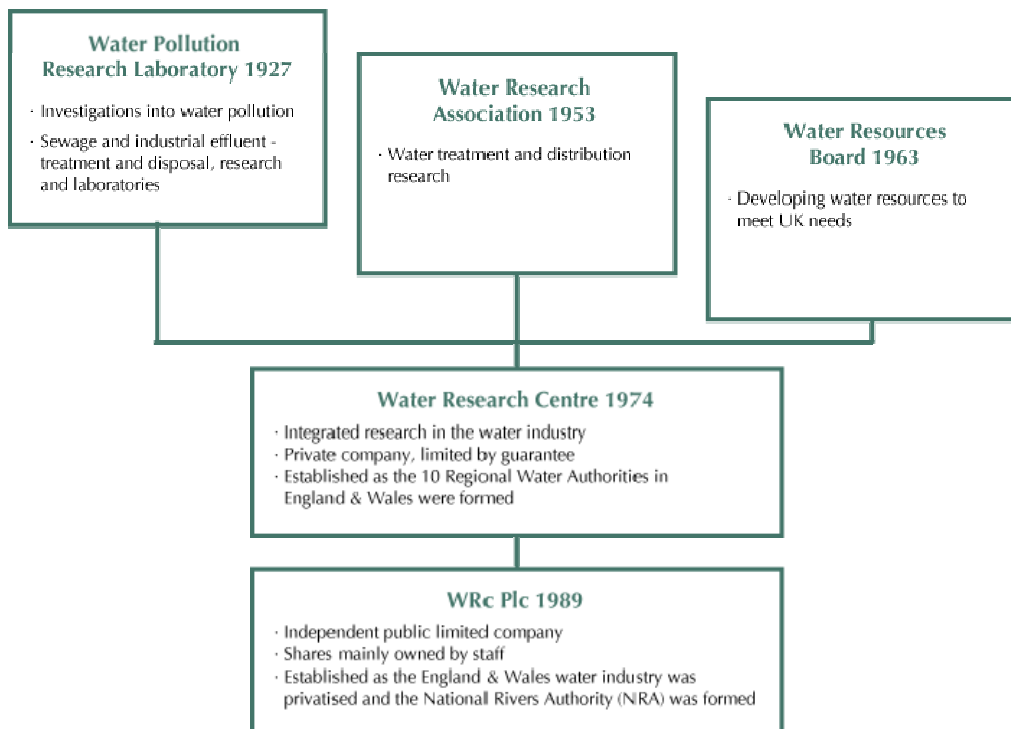
- omaisuuden hallinnan suunnittelu (asset planning)
- omaisuusmassan priorisointi (asset prioritization)
- riskienhallinta (risk management)
- käyttöikä ja sen hallinta (lifetimes)
- testaus ja konsultointi (testing and consulting).

Eräitä CSIRO:n käyttämiä termejä käyttöomaisuuden hallinnassa ovat ”Whole Life Costing” (WLC) ja ”Pipeline Asset and Risk Management System” (PARMS).

4.1.4 Iso-Britannia: WRc (Water Research centre)

WRc (aiemmin Water Research centre, nykyään vain akronyyymi käytössä) on kaupallinen tutkimuslaitos, joka tarjoaa konsultointia vesihuollon, jätehuollon ja ympäristötekniikan aloilla. WRc:n www-sivut löytyvät osoitteesta <http://www.wrcplc.co.uk/>.

WRc:n historia on esitetty kuva 19:ssä. WRc avustaa myös valtionhallintoa säädösten tekemisessä ja auttaa vesilaitoksia toiminnan tehokkuuden optimoinnissa ja riskien minimoimisessa. WRc:n yhtenä palveluna on käyttöomaisuuden hallinta ja investointien suunnittelu (asset management and investment planning).



Kuva 19. WRc:n historia.

Käyttöomaisuuden hallintaan liittyen WRc:llä on tällä hetkellä menossa esimerkiksi seuraavat tutkimusprojektit:

- Infiltration Control Via 'Top-Hat' and Grouting Repair Systems
- Joint Sealing Technologies - a Long Term Solution?
- Meeting Information System Challenges of Future Street Work
- Managing the Risks of Critical Sewers & Trunk Water Mains
- Operating Cost Models for Treatment Works.

WRc:n käyttöomaisuuden hallintaan liittyviä palveluita on esitelty www-sivulla: <http://www.wrcplc.co.uk/default.aspx?item=16>. WRc:n toimialue ei rajoitu Britanniaan, vaan sen referenssiluettelossa on asiakkaita ympäri maailman.

4.1.5 Australia: CIEAM (The Cooperative Research Centre for Integrated Engineering Asset Management)

Australiassa valtiovalta on perustanut vuonna 2003 uuden tutkimuskeskuksen, CIEAM (Cooperative Research Centre in Integrated Engineering Asset Management), ”Asset Managementiin” liittyvän tutkimuksen ja koulutuksen toteuttamista varten. Hallituksen rahoitusosuus tutkimuskeskukselle on 17,5 miljoonaa dollaria (AUD) eli noin 10 milj. euroa ja teollisuuden panostus 86 miljoonaa dollaria (AUD) eli noin 49 miljoonaa euroa 7 vuoden ajanjaksolle, mikä on hyvin huomattava panostus ja omalta osaltaan tukee ja korostaa Asset Management -aihepiiriin tärkeyttä ja ajankohtaisuutta.

CIEAM:lla on Asset Management -aihepiiriin liittyen viisi tutkimusteemaa/-ohjelmaa:

- Mallit ja päätöstukijärjestelmät (Models and Decision Systems): luotettavuus- ja kunnossapitomallit, liiketoimintaprosessit, kokonaisvaltainen omaisuuden hallinnan malli jne.
- Edistykselliset sensorit (Advanced Sensors): sensoriteknologiat, vauriomallit jne.
- Etädiagnostiikka ja eliniän ennustaminen (Intelligent Diagnostics and Remnant Life Prediction): diagnostiikka ja prognostiikka jne.
- Systeemi-integraatio ja IT (System Integration and IT): tietojärjestelmät ja niiden integraatio (esim. johdon ja kunnossapidon tietojärjestelmäyhteydet) jne.
- Strategiset inhimilliset tekijät (Strategic Human Dimensions): inhimilliset tekijät ja niiden hallinta, toimintatavat ja -kulttuuri, ympäristö-, turvallisuus- ja terveysasiat jne.
- Koulutus (Education and Training).

AssetVesi-projektin näkökulmasta CIEAM:n keskeisimpiä osa-alueita ovat mallit ja päätöstukijärjestelmät, systeemi-integraatio ja IT sekä strategiset inhimilliset tekijät. Lisätietoja: <http://www.cieam.com/> sekä tämän raportin luku 3.3.2.

4.2 Viimeaikaisia verkostojen saneeraukseen ja ylläpitoon liittyviä tutkimuksia

Seuraavassa on referoitu muutamia viimeaikaisia tutkimuksia käyttöomaisuuden hallintaan liittyen. Referoidut artikkelit olivat englanninkielisiä ja ne saatiin osittain tutkijoiden tekemän tiedonhaun kautta (Internet ja VTT:n sekä Tampereen teknillisen yliopiston hakupalvelut) ja osittain tiedonhaun ammattilaisten avustuksella (VTT Tietopalvelu).

Kirjallisuusviite, josta referaatti on tehty, on esitetty tekstin alussa. Mikäli julkaisusta on olemassa julkinen ilmainen tai maksullinen sähköinen versio, sen osoite on liitetty kirjallisuusviitteeseen.

4.2.1 CARE-W

Saegrov, S. (ed.) 2005. CARE-W – Computer Aided Rehabilitation of Water Networks. IWA Publishing, Lontoo. 191 s. Projektin WWW-sivut ovat osoitteessa <http://care-w.unife.it/>.

Computer-Aided Rehabilitation of Water networks oli Euroopan komission viidennen puiteohjelman rahoituksella tehty projekti, joka tehtiin vuosina 2001–2004. Projektiin osallistui kaikkiaan 11 partneria kahdeksasta eri Euroopan maasta. Projektin osapuolet olivat seuraavat:

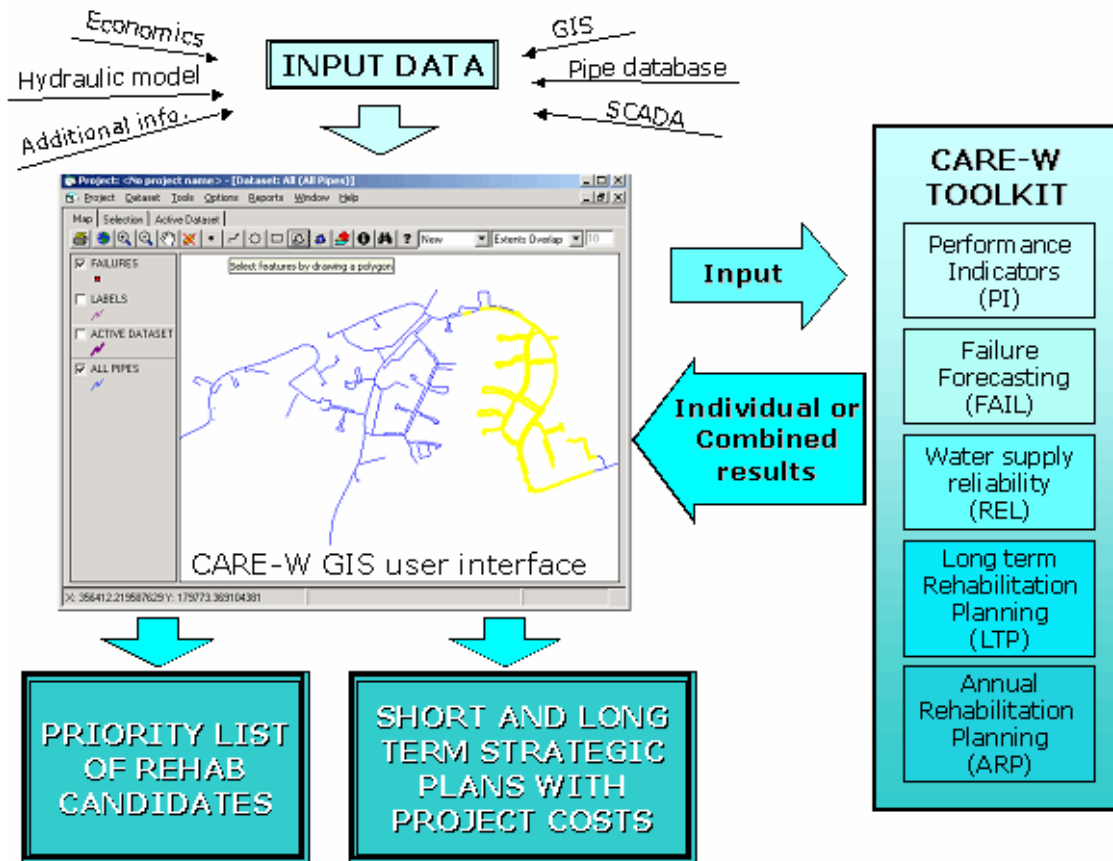
- SINTEF: Trondheim, Norja
- NTNU: Trondheim, Norja
- BRNO:n teknillinen yliopisto: Tšekin tasavalta
- Cemagref: Bordeaux, Ranska
- Dresdenin teknillinen yliopisto, Saksa
- INSAVALOR: Lyon, Ranska
- LNEC: Lissabon, Portugali
- WRc, Swindon, Iso-Britannia
- Bolognan Yliopisto, Italia
- Ferraran yliopisto, Italia
- AGAG: Reggio Emilia, Italia.

Projektiosapuolten sijainti ja testikaupunkeina toimineet kaupungit on esitetty kuva 20:ssä. Projektissa kehitettiin päätöksentekoa tukeva järjestelmä vesihuoltolaitosten käyttöön, jotka ovat kunnostamassa vesijohtoverkostaan.



Kuva 20. Care-W-projektin osapuolet ja projektin tulosten loppukäyttäjät.

Projektin tuloksena saatiin sarja tietoteknisiä työkaluja verkoston saneeraustarpeen arviointiin. Nämä on lueteltu Kuva 21:ssä kohdassa ”CARE-W Toolkit”. Loppukäyttäjä käyttää CARE-W-työkaluja GIS-perustaisen käyttöliittymän avulla. Järjestelmää voidaan käyttää joko koko verkoston tai jonkin siitä erikseen määritetyn osan analysointiin.



Kuva 21. Yleiskuvaus CARE-W-järjestelmästä (lähde: <http://care-w.unife.it/carewoverview.html>).

Performance indicators -osio mahdollistaa verkoston suorituskyvyn mittaamisen. CARE-W:n tunnusluvut pohjautuvat IWA:n (International Water Association) vastaa-viin indikaattoreihin. Tunnuslukuja ovat mm. saneeraus kustannukset/km, putkirikkojen määrä/km ja valitusten määrä/tuhat liittymää/vuosi.

Failure Forecasting -osio sisältää joukon tilastollisia analysointityökaluja, joilla voidaan tehdä ennusteita putkirikoista ja pienemmistä vuodoista ja siten vähentää ennakkoimattomien vesihuollon keskeytysten määrää.

Water supply reliability -osioilla voidaan analysoida putkirikoista aiheutuvia vesihuollon keskeytyksiä. Tässä osioissa on yhdistetty verkoston hydraulinen malli ja luotettavuusmalli, jolloin vikojen aiheuttamia vaikutuksia verkoston suorituskykyyn voidaan arvioida ja erilaisille vikatilanteille voidaan määrittää todennäköisyyksiä. Malli tunnistaa verkoston luotettavuuden kannalta kriittisiä kohteita.

Long Term Rehabilitation Planning -osio analysoi tulevina vuosikymmeninä tarvittavien investointien määrät ja miten erilaisilla kunnossapitostrategioilla voidaan vaikuttaa investointimääriin.

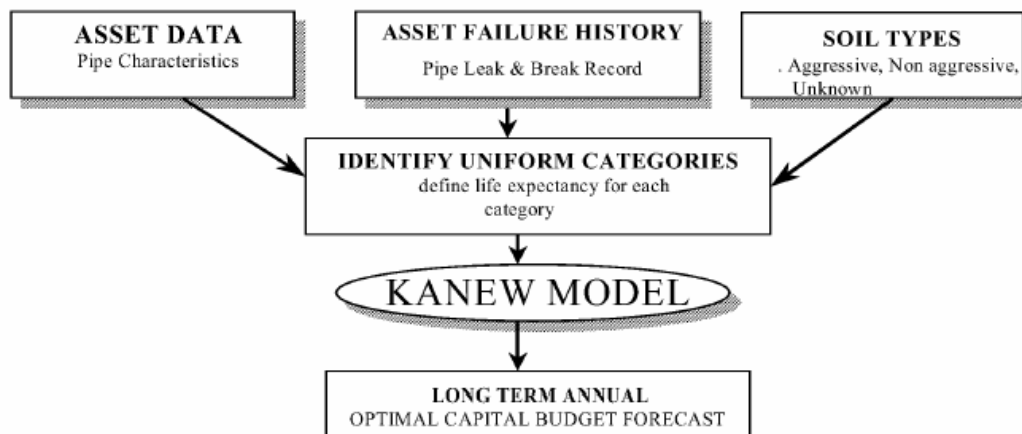
Annual rehabilitation planning -osio sisältää monikriteerisen arviointijärjestelmän, joka yhdistää CARE-W-työkaluilla lasketut tulokset käyttäjän antamien lisätietojen kanssa. Osio antaa käyttäjälle suosituksia saneerausta tarvitsevista putkilinjoista eri kriteereihin perustuen. Kriteereinä voivat olla esimerkiksi vikataajuudet, vedenlaatuongelmat tai korjausmahdollisuudet (esim. katutyöt).

4.2.2 KANEW

EPA 600/R-02/029. 2002. Decision-Support Tools for Predicting the performance of Water Distribution and Wastewater Collection Systems. Pdf-raportti [www-osoitteessa http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r02029/600r02029.htm](http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r02029/600r02029.htm)

Kirjallisuushaun useissa viitteissä, etenkin USA:n vesihuoltoverkostojen kunnossapitoa käsittelevissä artikkeleissa, viitataan usein KANEW-nimiseen lähestymistapaan. KANEW-malli perustuu alun perin Karlsruhen yliopiston kehittämään vesijohtoverkoston saneeraustarpeen ennustamismalliin. Tähän lähestymistapaan perustuen Dresdenin teknillinen yliopisto kehitti ohjelmiston AWWA:n (American Water Works Association) kehittämissäätiön AWWARF:n (Research foundation) tuella. Ohjelmisto on AWWARF:n jäsenten saatavilla MS Access -formaattissa Internetissä. KANEW-ohjelmisto ennustaa valittujen putkilinjojen käyttöikää putken ikään ja tyyppiin liittyvien ominaispiirteiden perusteella. On myös huomattava, että KANEW-mallia sovelletaan vain puhdasvesiverkostojen saneeraustarpeen arvioinnissa.

Kuva 22:ssa on esitetty KANEW-mallin rooli saneeraus päätöksen tekemisprosessissa.



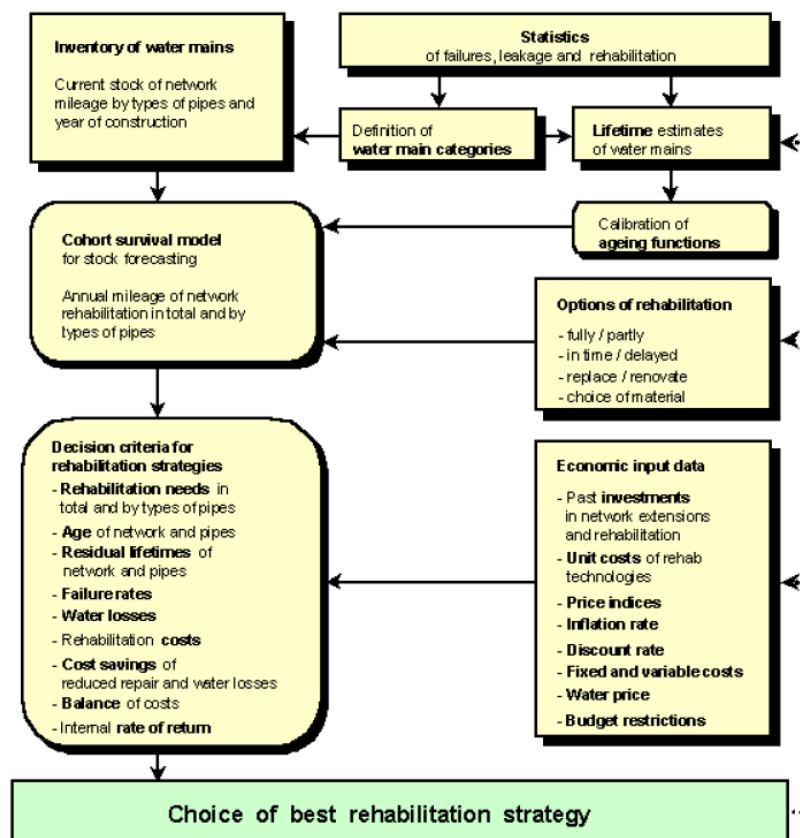
Kuva 22. KANEW-malli saneeraus päätöksen tekemisprosessissa [Hashem-zadeh 2001].

KANEW-malli pohjautuu seuraaviin oletuksiin:

- infrastruktuuri ja populaatio vanhenevat samalla tavalla
- vikaantuvat elementit, jotka eivät enää vastaa haluttua vaatimustasoa, muodostavat vuosittaisen uusimistarpeen
- uusille elementeille ikääntymisprosessi alkaa alusta.

KANEW-mallin toteuttaminen alkaa putkiston inventoinnista. Putket jaetaan useisiin ryhmiin, jotka eroavat toisistaan rakentamisvuoden, materiaalin ja ympäristöolosuhteiden mukaan. Jokaiselle ryhmälle laaditaan käyttöikäfunktio, jotka kalibroidaan historiatietojen avulla. Näin muodostettuja funktioita käytetään putkistojen vuosittaisen uusimistarpeen arviointiin ja siten saadaan vuosittainen putkiston uusimismäärä. Käyttöikäfunktio käyttävät todennäköisyysjakaumaa, jota kutsutaan Hertsin jakaumaksi (kehittäjä Raimund K. Herz) ja se on kehitetty nimenomaan vesiputkistojen ikääntymisen arviointiin [Hashem-zadeh 2001].

KANEW-malli olettaa putken käyttöiän olevan satunnaismuuttuja, jota voidaan kuvata keski-ikä ja keskihajonnalla tai iällä, jonka kestävimmat putkiston osat saavuttavat. Ennusteet pohjautuvat elinikä laskelmiin, jotka on tehty vikaantumis- ja saneeraustiedoista erityyppisille putkistoille. KANEW-ohjelmisto sisältää inventointimoduulin, viokojen ennustamismoduulin, taloustietomoduulin sekä strategioiden vertailumoduulin. Kuva 23:ssa on esitetty eri KANEW-moduulien keskinäiset suhteet [EPA 2002]. Luvussa 4.2.3 on esitelty eräs KANEW-mallin case-sovellus.



Kuva 23. KANEW-malli vesijohtoverkoston saneeraustarpeen arvioinnissa [EPA 2002].

4.2.3 A Practical Approach to Distribution system Rehabilitation Planning

Grablutz, F., McCammon, S. & Murphy, L. 2001. *A Practical Approach to Distribution System Rehabilitation Planning*. American Water Works Association – Infrastructure Conference Proceedings. 13 s.

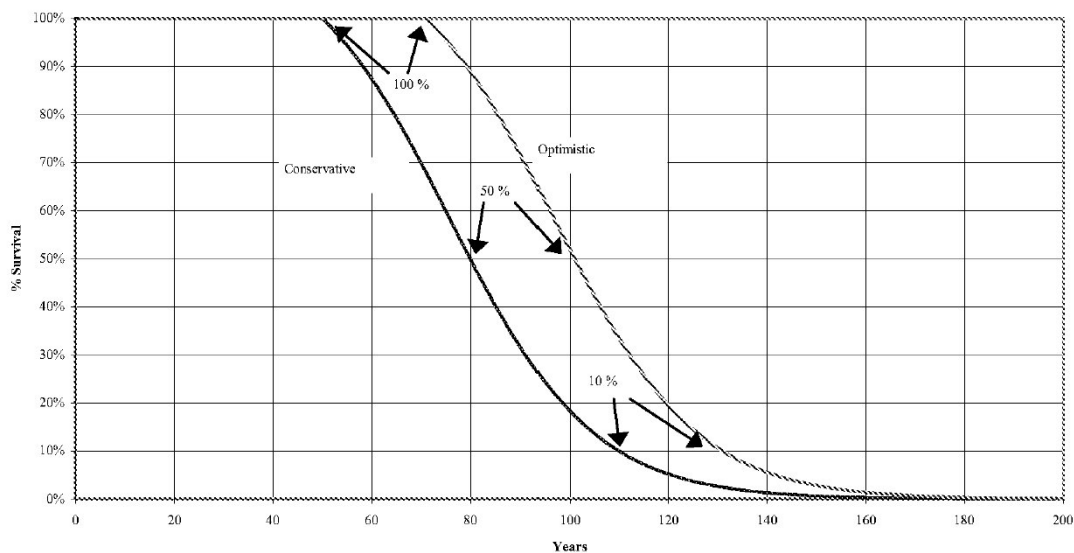
Kohteenä vedenjakeluverkoston kunnossapito-ohjelman kehittämisessä oli New Yorkin kupeeseen n. 133 000 asukkaalle vettä toimittava yritys United Water New Rochelle (UWNR). UWNR:n jakelualue käsittää n. 700 km vesijohtoa, jonka keski-ikä on 75 vuotta ja yli 100 km johtoa, jonka ikä on yli 100 vuotta. Hyvän palvelutason säilyttämiseksi tulevaisuudessakin pitää verkoston kunnossapitoon laatia ennakoivan kunnossapidon ohjelma. Yksityisenä yrityksenä UWNR:n piti laatia viranomaisille selvitys saneerausohjelmasta, jotta taksoja voidaan korottaa ohjelman toteuttamista varten. Projekti saneerausohjelman tekemiseksi toteutettiin 1999–2000.

UWNR:n jakeluverkoston saneerausohjelma vaatii huomattavaa pääomasijoitusta ja sen läpimienon on suunniteltu kestävän lähes 30 vuotta. Koska suunniteltu kunnostusohjel-

ma oli huomattavan laaja, viranomaiset pitivät itsellään oikeuden katselmoida ja hyväksyä vuosittaiset suunnitelmat. Suunnitelman piti olla niin yksityiskohtainen, että sen avulla voitiin perustella pääomasijoitusten tarve ja samalla sen piti olla riittävän joustava toimiakseen pitkällä aikavälillä tapahtuvista muutoksista huolimatta.

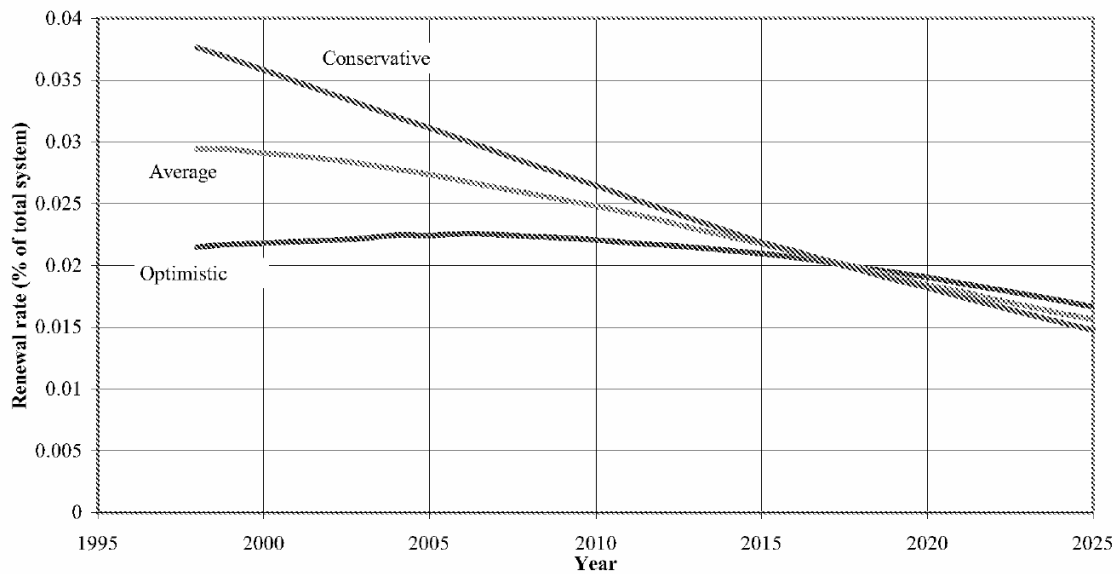
Suurin huolenaihe putkistossa olivat 90–100 vuotiaat valurautaputket, jotka olivat osittain tukkeutuneita ja aiheuttivat virtaus- ja vedenlaatuongelmia. UWNR aloitti konsultin avustuksella pitkän aikavälin kunnossapitotarpeiden määrittämisen käyttämällä KANEW-mallia. KANEW-mallilla saadaan tehtyä ennusteita saneeraustarpeesta olevista putkipituuksista eri putkityypeille. Malli käyttää käyttäjien tekemiä arvioita putkien eliniästä ja tekee niiden perusteella arvioita saneeraustarpeesta olevista putkipituuksista.

Kuva 24:ssä on esitetty eräs elinikäennusteen kuvaaja, joka on tehty asiantuntija-arvioihin nojautuen pienihalkaisijaiselle pinnoittamattomalle valurautaputkelle.



Kuva 24. Optimistisen ja konservatiivisen elinikäennusteen ero (pienihalkaisijainen, pinnoittamaton valurautaputki).

Edellä kuvatut elinikäarviot ajettiin koko UWNR:n putkistolle ja tuloksena saatiin putkistomäärät, jotka vuosittain tulisi uusia (kuva 25). Optimistisessa arvioissa vuosittainen uusimistahti olisi ohjelman alussa 2,1 % koko putkistopituudesta vähentyen vähitellen 1,7 %:iin vuonna 2025. Konservatiivisessa arvioissa uusintatahti alkaa 3,8 %:sta vähentyen 1,5 %:iin vuonna 2025.



Kuva 25. KANEW-mallilla arvioidut uusimismennoit.

Uusimisella tarkoitetaan tässä yhteydessä sekä putkiston uusimista että erilaisia saneerausmenetelmiä, kuten valurautaputkien betonivuorausta. Keskimääräinen mallilla saatu saneeraamispitoisuus vuoteen 2025 mennessä oli noin 440 km.

Verkoston osien saneeraustarpeen priorisointiin on käytettävissä useita erilaisia menetelmiä. Yksinkertaisin tapa on luottaa asiantuntijoiden arvioihin, ja joissakin järjestelmissä menettely voi olla toimiva. Viranomaistarpeen tyydyttämiseksi tässä tapauksessa tarvittiin kuitenkin analyyttisempää menettelyä verkoston saneerattavien osien priorisointiin. UWNR:n verkostossa suurten putkien vuodot eivät ole olleet ongelmallisia, joten pinnoittamattomien valurautaputkien saostumien ehkäiseminen otettiin päätavoitteeksi ohjelmassa.

Priorisointia varten UWNR:llä oli käytettävissä CAD-kartat jakelujärjestelmästä, Continuing Property Record data books (CPR), päävesijohtojen vuototiedot, C-arvojen testitulokset sekä järjestelmän hydraulinen malli tietokoneella. Lisäksi saatavilla oli tiedot sekä suoritetuista että suunnitteilla olevista tierakennustöistä. CPR-tietoja oli kerätty kustannuslaskennallista tarkoitusta varten aina 1880-luvulta lähtien. CPR sisälsi verkoston inventointitiedot; putkipituudet, materiaalin, kadunnimen, halkaisijan ja asennuspäivän. CPR-tiedot kirjattiin sähköiseen muotoon ja ne sisälsivät kaiken kaikkiaan 6 200 putkitietoa. UWNR on kerännyt tietoa vesijohtorikoista sähköiseen muotoon vuodesta 1995 lähtien. Helmikuuhun 2000 mennessä tietoa oli kerätty 255 tapauksesta. C-arvoja oli määritelty tietyille putkille jo aiemmin. C-arvo ilmaisee putken sisäseinämän karheutta ja se mitataan painehäviöön perustuen. C-arvojen mittaustiedot päivitettiin ajan tasalle ja hydraulisesta mallista tehtiin yksityiskohtaisempi versio.

Dataa oli siis saatavilla paljon ja se oli monessa eri formaatissa ja oli vaikeata tai jopa mahdotonta yhdistää maantieteellisesti samaa kohdetta käsittelevät tiedot toisiinsa. Tietojen yhdistäminen tehtiin GIS (Geographic Information System) -järjestelmällä pohjana CAD-piirroksia. Jokainen CPR-tietue linkattiin GIS:iin, samoin mitatut C-arvot yhdistettiin kartalla vastaaviin putkiin, joista testit oli tehty. Myös tietyötiedot yhdistettiin muuhun dataan GIS:n kautta.

Putket priorisoitiin käyttämällä neljää eri luokkaa: kiireellisesti saneerattavat putket kuuluivat luokkaan 1 ja vähiten kiireelliset luokkaan 4. Luokan 1 putkien saneeraus aikataulutetaan nykyisten varojen mukaan ja se koordinoidaan muiden rakennustöiden kanssa yhdessä. Luokat 2–4 määritettiin pääosin hydraulisen mallin avulla. Jokaiselle putkelle laskettiin painehäviö ja virtaama sekä nykyisillä tiedoilla (mitatut C-arvot) että oletetulla tasolla putken uusimisen jälkeen. Vertailun perusteella tärkeimmiksi arvioitiin ne putket, joissa parannus oli suurin – sijoitetulle pääomalle saatiin paras tuotto teknisen järjestelmän parantuessa. Vertailun tulos ei kuitenkaan vielä ollut lopullinen priorisointijärjestys, vaan lopullisessa arvioinnissa otettiin myös huomioon vuototiedot ja teiden päällystystöiden aikataulut. Muodostetun saneerausohjelman yhteenveto on esitetty Taulukko 8:ssä.

Taulukko 8. Yhteenveto saneerausohjelman putkipituuksista ja kustannuksista neljässä vaiheessa.

Stage	Renewal Length (miles)			Estimated Cost (Year 2000 \$ million)
	Clean and Line	Replace	Total	
1	14.7	4.0	18.7	11.4
2	61.3	13.9	75.2	46.6
3	69.7	17.9	87.6	45.7
4	66.8	29.4	96.2	54.2
Total	212.5	65.2	277.7	157.9

4.2.4 A Study on appropriate investment of pipeline rehabilitation for water distribution network

Asakura, A. et al. 2005. A study on appropriate investment of pipeline rehabilitation for water distribution network. Water Science and Technology: Water supply, Vol 5, No. 2 s. 31–38. IWA Publishing.

Suuri osa Japanin vesijohtoverkostosta on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla, joten verkostot ovat ikääntyneitä ja niiden saneeraus on välttämätöntä, jotta veden saanti ja laatu

voidaan pitää nykyisellä tasolla. Vaikka kunnostustöitä on jo tehty ja niitä tehdään edelleen, niitä ei ole tehty kustannustehokkuuteen perustuen vaan tyypillisesti johonkin tekniseen seikkaan nojautuen (esim. asbestisementtiputkien vaihtaminen asbestin karsinogeenisuuden takia asbestittomiin jne.). Tässä tutkimuksessa keskitytään optimaalisen kunnossapidon suunnittelumenetelmän kehittämiseen vesihuoltoverkostolle, jonka budjetti on määritelty ennalta.

Japan Water Work Associationin mukaan Japanissa oli vuonna 1998 yli 20 vuotta vanhaa vesijohtoverkkoa yhteensä noin 180 000 km, eli noin kolmannes koko Japanin vesijohtoverkostosta. Koska verkoston kunnossapitoon ja saneeraukseen käytettävissä olevat resurssit ovat rajalliset, pitää niiden käyttöä optimoida. Tutkimuksessa pyrittiin kvantifioimaan verkoston paranemista kunnossapitotöiden ansiosta. Menetelminä tehokkaimman saneerausvaihtoehdon etsimisessä käytettiin kokonaislukuohjelmointia (integer programming) ja Monte Carlo -simulointia.

Saneerauksen tehokkuutta kvantifioitiin erilaisiin menetyksiin perustuen, joita eri tahoille koituu vedenjakelun keskeytyksistä. Nämä tahot jaettiin kolmeen luokkaan: kotitaloudet, liikeyritykset sekä veden tuottajat. Vedenjakelun keskeytymisestä aiheutunut epämukavuus jätettiin arvottomaksi ja lisäksi vedenjakelun katkoksesta aiheutunut tulonmenetykset laitoksille jätettiin huomioimatta, koska keskeytyksen voidaan katsoa olevan säästöä vedenkuluttajien kannalta. Erilaisia menetyksiä ja kustannuksia eri tahoille on esitetty taulukko 9:ssä.

Taulukko 9. Menetykset ja kustannukset, joita aiheuttaa vedenjakelun heikkenemisestä (esim. alhainen paine) tai keskeytyksestä.

Category	Losses/costs caused by shutdown or limited water supply due to pipeline damage	Formula proposed to quantify losses
<i>Water user</i>		
Domestic	Substitution to get water (Purchasing bottled water) (Using the water of the bathtub) Avoidance of using water (Sending clothes to the laundry etc.) Effects relating to inconvenience	1) $LD = P \times UD(S)$ P : Population (person) S : Percentage of water shortage due to shutdown or limited water supply (%) $UD(S)$: Unit losses per person per day due to the rate of water shortage by the domestic usage (yen/person/day)
Business & commercial	Substitution to get water Suspension or reduction of business (operation)	2) $LU = Q \times S \times UU(S)$ Q : Water demand m^3/day S : Percentage of water shortage due to shutdown or limited water supply (%) $UU(S)$: Unit losses per m^3 per day due to the rate of water shortage by the urban activities (yen/ m^3/day)
<i>Water supplier</i>	Reduction of water supply revenue Cost of repairing damaged pipeline due to the diameter of water main Cost for supplying water by water truck Cost for public information Cost for winding up the affairs of inconvenient	3) $LR = C(\phi) \times L(\phi)$ $C(\phi)$: Cost per meter due to pipeline diameter ϕ (thousand yen/m) $L(\phi)$: Unit length due to pipeline diameter ϕ (m)... 5 or 6 (m/pipe)

Note: Losses/costs that are difficult to quantify (gray color) are excluded in this study.

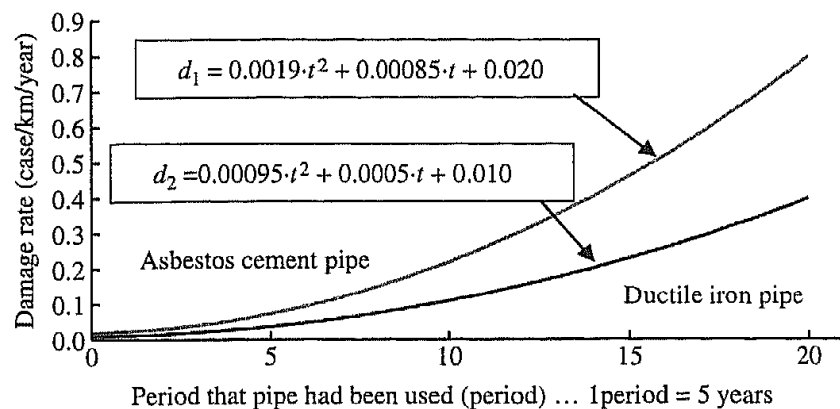
Määrittämällä yksikköhinnat vedenjakeluhäiriön aiheuttamille menetyksille voidaan häiriön aiheuttama kokonaismenetys arvioida. Kun otetaan verkoston rakenne huomioon, lähellä vesisäiliötä tapahtuvat vikaantumiset aiheuttavat suurempia menetyksiä kuin kauempana sattuneet vuodot tms. Koska verkoston saneeraamiseen vaikuttavat tekijät muuttuvat ajan myötä, ei pelkästään saneerauksen aiheuttamien etujen määrittäminen riitä, vaan myös verkoston saneerausajankohta pitää ottaa huomioon. Putkilinjan vikaantumista arvioitiin tilastollisten menetelmien avulla, jossa vikaantumistodennäköisyyttä arvioitiin putkityyppiin ja putken käyttöikään perustuen.

Saneerauksen vaikutuksen maksimoinnissa käytettiin kokonaislukuohjelmointia ja Monte Carlo -simulointia (MCS). Kokonaislukuohjelmoinnin heikkoudeksi havaittiin se, että sitä ei voi käyttää malliin, jossa monet erilaiset kombinaatiot ovat mahdollisia. MCS:ssa ei rajoitusta muuttujien määrän suhteen ole. Vaikka MCS:llä lasketut tulokset eivät olekaan välttämättä optimaalisia ratkaisuja, niin mallilaskennassa tulokset olivat samoja kuin kokonaislukulaskentaa käytettäessä. Tässä tutkimuksessa MCS osoittautui kokonaislukulaskeentaa sopivammaksi menettelyksi saneerausinvestointien optimoinnissa.

Case-tutkimuksessa tutkittiin 40 putkilinjaa ja 10 suunnittelujaksoa, joten mahdollisia saneerausyhdistelmiä on yhteensä $2,5 \cdot 10^{120}$ (2^N , N = putkilinjojen määrä * suunnittelujaksot). Casessa oli voimassa seuraavat oletukset:

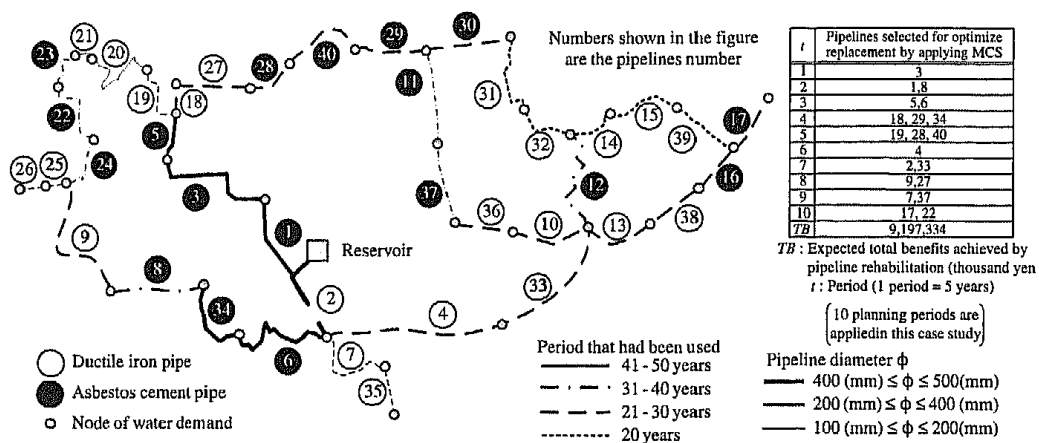
- Veden tarpeen oletetaan pienenevän suunnittelujaksolla
- Saneerausbudjetti on korkeintaan 3 % liikevaihdosta
- asbestisementtiputkien vikaantumiskäyttäytyminen on :n mukainen
- 50 vuoden tarkastelujaksolla mitään putkea ei uusita kahta kertaa.

Putkien vikaantumiskäyttäytymistä osoittavat kuvaajat on esitetty kuva 26:ssa.



Kuva 26. Esimerkkitapauksessa käytetyt eri putkityyppien vikaantumiskäyttäytymistä kuvaavat käyrät.

Esimerkkitapauksessa (kuva 27) kaikkein aikaisimmin vaihdettaviksi arvioidut putket sijaitsevat lähinnä vesisäiliötä. Kolmannen suunnittelujakson jälkeen vaihdettavat putkijohdot ovat ne, jotka ovat olleet käytössä yli 30 vuotta. Laskentatulokset tukevat siis kokonaisperäistä vaihtoaikataulutusta.



Kuva 27. Esimerkkilaskennan kohde ja laskentatulokset.

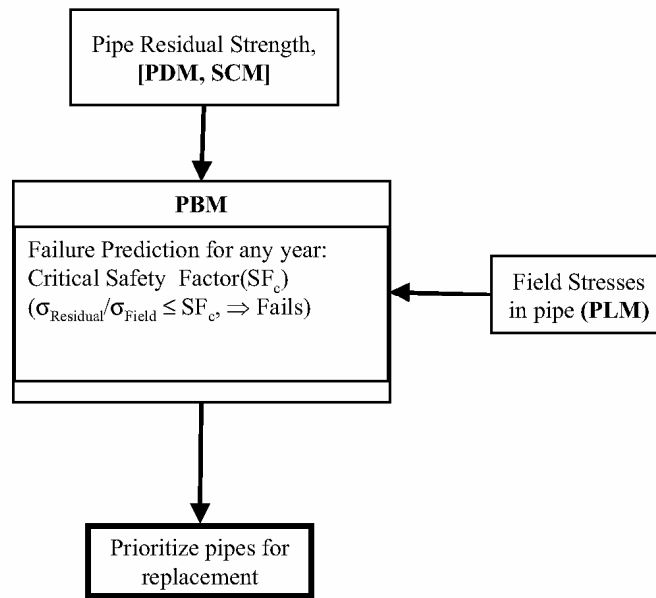
4.2.5 A Decision Support System for Scheduling Water Main Replacement

Agbenowosi, N. & Loganathan, G.V. 2001. *A Decision Support System for Scheduling Water Main Replacement. IMTech Conference Proceedings. American Water Works Association.*

Tämä tutkimus käsittelee mekanistista analysointitapaa saneeraus päätösten tekemisen tukena. Mekanistisessa analyysissä oletetaan, että putken vikaantuminen on riippuvainen seuraavista tekijöistä:

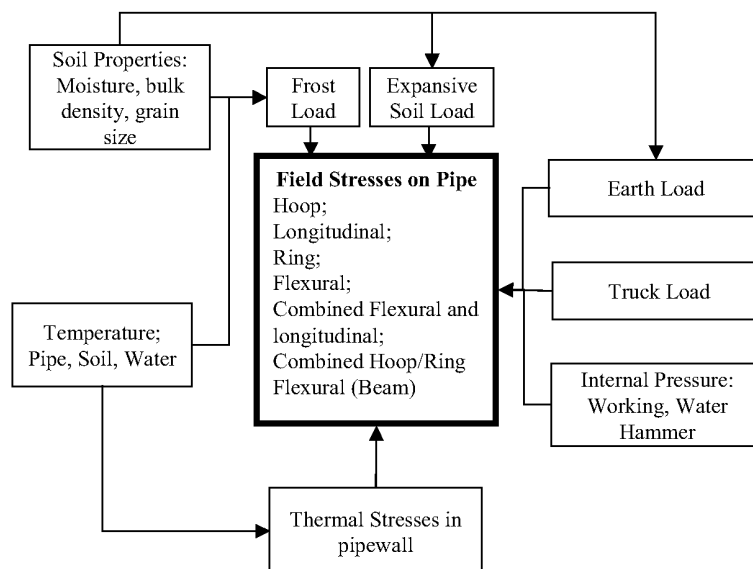
1. lujuuden lasku korroosion aiheuttaman seinämän ohenemisen takia
2. ulkopuolisen kuorman kasvaminen (routa, lämpötilaolosuhteiden muutos)
3. ulkopuolisesta korroosiosta johtuvien reikien aiheuttamat jännityskeskittymät
4. eri kuormituslähteiden yhtäaikaisuus.

Tutkimuksessa kehitetty malli sisältää kolme osiota, joiden välinen yhteys on esitetty kuva 28:ssa.



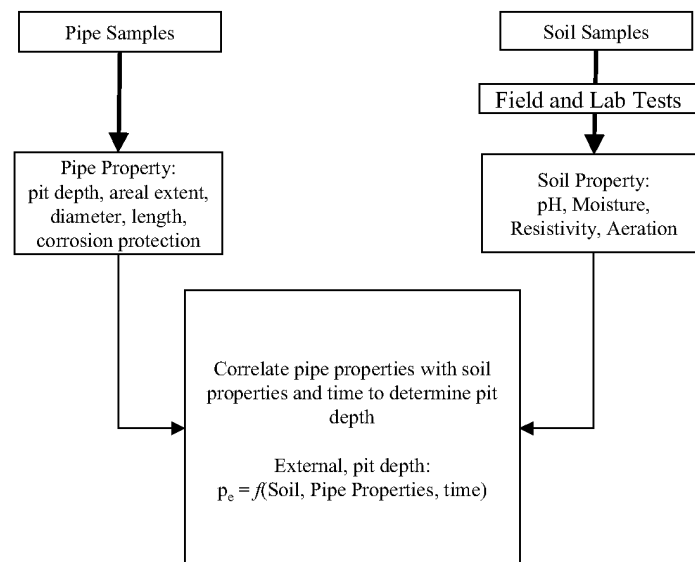
Kuva 28. Vuokaavio putkien vikaantumisen analysoinnista.

Putken kuormitusmalli PLM (Pipe Load Model). PLM mallintaa putkistoon kohdistuvia kuormituksia, esimerkiksi maapainetta, liikenteen aiheuttamaa kuormaa, sisäistä painetta, routakuormitusta ja lämpökuormituksia (Kuva 29).



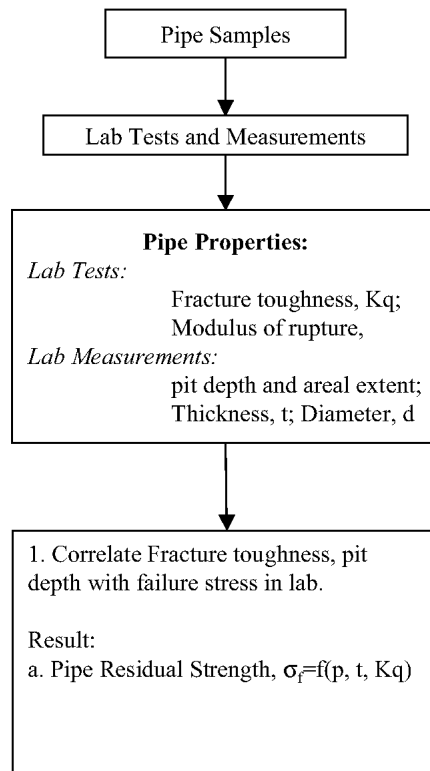
Kuva 29. Putken kuormitusmallin osat.

1. Putken heikentymismalli PDM (Pipe Deterioration Model). Mallintaminen tehdään kahdessa vaiheessa: ensimmäisessä vaiheessa putken seinämän ohenemista mallinnetaan korrodoitumismallilla, toisessa vaiheessa korroosion aiheuttamia kuoppautumia, murtolujuutta sekä mitoitusarvoja käytetään putken jäljellä olevan vahvuuden määrittämiseen. PDM mallintaa maaperän ominaisuuksista johtuvaa putken korroosiota ja siitä johtuvaa heikkenemistä.



Kuva 30. Putken heikentymismalli.

Toisen vaiheen tekemiseen käytetään lujuuden korrelaatiomallia SCM (Strength Correlation Model), kuva 31.



Kuva 31. Lujuuden korrelaatiomalli SCM.

2. Putken vikaantumismalli PBM (Pipe Break Model)

- PBM määrittelee putken haavoittuvuutta eri ajankohtina varmuuskertoimen avulla. Varmuuskerroin määritellään jäljellä olevan lujuuden ja putkeen kohdistuvaan kuormituksen suhteena. Määritetyn kriittisyysrajan ylittävät putket otetaan mukaan saneerausohjelmiin.

Mallien käyttöön on kehitetty MS-Excel-pohjainen tietokoneohjelma, joka keskittyy pienihalkaisijaisten valurautaputkien (4–12 tuumaa) mallintamiseen. Ohjelmalla tehtävät laskelmat vaativat lähtötiedoiksi kolmen eri kategorian tietoja: putkistotiedot, maa-perä- ja asennustiedot sekä paikalliset sääolosuhdetiedot. Laskennassa tarvittavat tiedot on esitetty taulukko 10:ssa. Ohjelma laskee putkisto-osuuksien varmuuskertoimet annettuihin lähtötietoihin perustuen, vertaa laskelmia annettuihin kriittisyysrajoihin ja vertailun pohjalta tekee suosituksen saneerausjärjestyksestä.

Taulukko 10. Putkistomallinnuksessa tarvittavat lähtötiedot.

Parameter	Description
Pipe material	Currently only cast iron pipes are considered in this model
Date of installation, year	Determines manufacturing method and material properties of the pipe
Pipe diameter, in.	Stress calculation
Pipe thickness	Standard pipe size can be used if not known.
Depth of pipe	Affects the earth load and traffic load on pipe
Soil unit weight, lb/ft ³	Affects the earth load on pipe
Soil type, USGS standard classification	Affects earth and traffic load on pipe and corrosivity of soil
Soil pH	Affects corrosivity of soil
Soil Resistivity, ohm/cm	Affects corrosivity of soil Lower resistivity values increase corrosivity
Soil moisture content, %; liquid limit	Affects corrosion rates; expansive soil stress
Is pipe under a street?, y/n	Determines whether traffic loads are calculated
Is street paved?, y/n	Affects traffic load calculation
Truck load, heavy or light	Affects traffic load calculation
Minimum and maximum water temperature, °F	Affects thermal stress calculations
Maximum temperature drop, °F/day	Affects thermal stress calculations
Number of consecutive days when air temperature remains below freezing	Affects frost load calculation
Maximum frost depth, in.	Affects frost load calculation

4.2.6 Asset planning for water reticulation systems – the PARMS model

Burn, S. et al. 2003. Asset planning for water reticulation systems – the PARMS model. Water Science and Technology: Water supply. Vol. 3, No. 1–2, s. 55–62.

Putkistosaneerausten ja putkistokorjausten aiheuttamien kustannusennusteiden tekemiseen on laadittu monia erilaisia suunnittelumalleja. Jotkut näistä malleista tarvitsevat analysoitua vikadataa kaikista putkityypeistä, jotta elinikäjakaumat ja selviytymisfunktiot voidaan muodostaa. Tällainen lähestymistapa on periaatteessa ideaalinen, mutta käytännössä uudemmista putkityypeistä (mm. muoviputket) ei ole riittävästi tietoa jakaumien muodostamista varten. Lisäksi mallit eivät mahdollista riskin suuruuden arvioinnin tekemistä (riski = vian todennäköisyys/seurausten vakavuus) tietyissä käyttö- ja ympäristöolosuhteissa, erilaisten strategioiden kustannusten seurausten vertailua ja asia-

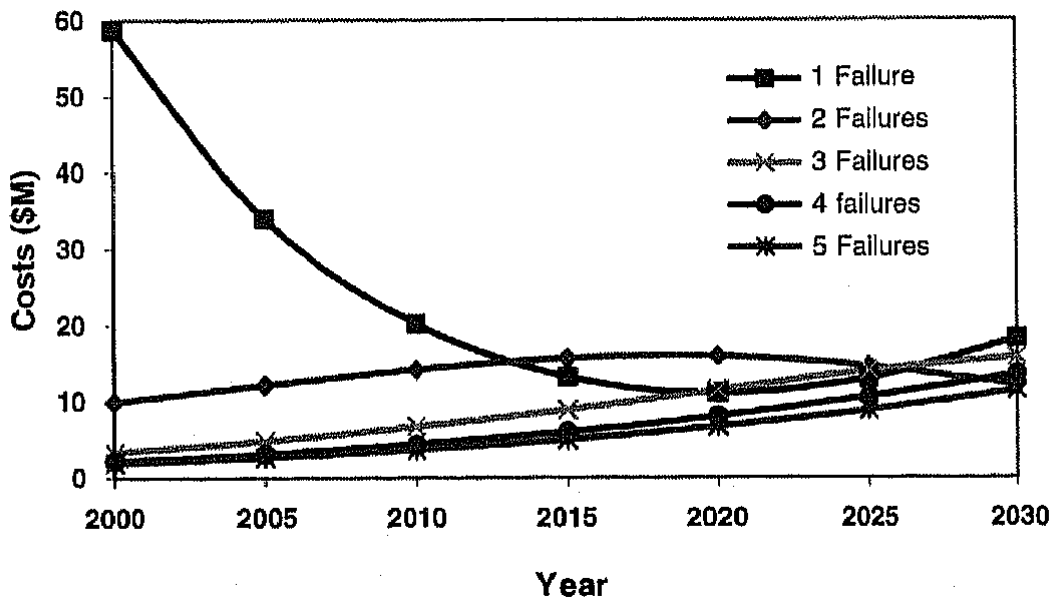
kastarpeiden huomioonottamista. Em. asiat on otettu huomioon PARMS-mallissa (Pipeline Asset and Risk Management System).

Yksi kriittinen tekijä, joka määrää putken todellisen käyttöiän, on asiakkaiden vaatimustaso. Jos asiakkaat eivät salli ollenkaan vikoja, putken käyttöikä on huomattavasti lyhyempi kuin putkilinjalla, jossa muutamia vikoja sallitaan. Korkeammasta palvelutasosta aiheutuvia kustannuksia pitää verrata asiakkaiden maksuhalukkuuteen. Tällä hetkellä palvelutaso määräytyy kuitenkin pääasiassa lainsäädännön kautta, ei asiakkaiden maksuhalukkuuden mukaan. Tulevaisuudessa maksuhalukkuuteen kytkeytyvä palvelutaso ja sen myötä kustannustaso tulee muuttumaan yleisemmäksi, koska vesihuoltoverkoston kunnossapidon tarve kasvaa lähitulevaisuudessa huomattavasti. PARMS-malliin on sisällytetty mm. katkoksista aiheutuneiden hyvitysten aiheuttamat kustannukset ja erilaisien palvelutasojen tarjonta.

Perinteisesti vesihuoltoalalla on pitkän tähtäimen suunnitelmia tehtäessä keskitytty pääomakustannuksiin, ja kunnossapito- sekä käyttökustannukset ovat olleet toisarvoisessa asemassa, mm. vedenjakelun keskeytykset ja liikennehaitat eivät ole olleet suunnittelussa merkittävässä roolissa. LCC (Life Cycle Cost)-menetelmiä on alettu käyttää myös vesihuollon suunnittelussa ja erilaisten vaihtoehtojen vertailussa. LCC-laskennassa kustannuksiksi otetaan yleensä vain sellaiset kustannukset, jotka laskentaa tekevän tahon pitää suoraan maksaa. Uudempi laskentamalli on nimeltään Whole-of-life-costing (WLC), joka ottaa LCC:ssä jo huomioitujen kulujen lisäksi mukaan arviointiin myös haitat, jotka koituvat asiakaskunnalle tai esim. liikenteelle. Ympäristölle aiheutuvia haittoja ei WLC:ssä oteta huomioon, vaan ne sisältyvät LCA-laskelmiin (Life Cycle Analysis). Vähitellen nämä laskentatavat varmaankin yhdistyvät siten, että WLC sisältää myös LCA:n laskelmat. PARMS-mallissa asiakastyytyväisyyden mallintamisen on panostettu, mutta liikenteelle aiheutuvien haittojen arvottaminen on vielä kesken.

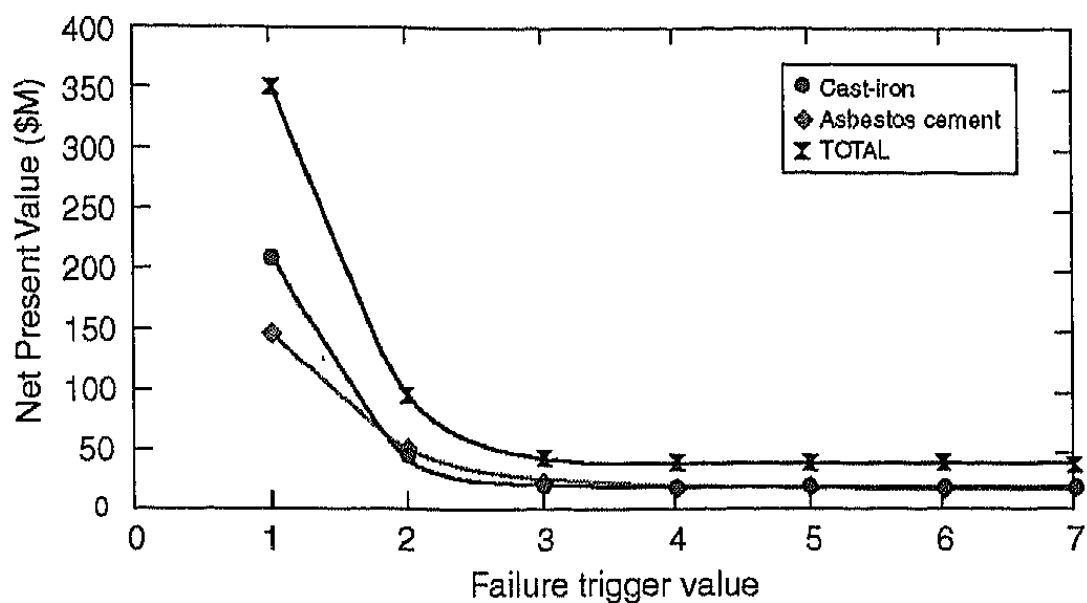
Yksityiskohtaista LCC- tai WLC-analyysia varten kaikkien komponenttien elinikien pitää olla selvillä, jotta tulevia korjaustarpeita ja niiden kustannuksia voidaan ennakoida. PARMS-mallissa käytetään tilastollisia menetelmiä vikaantumisten ennakointiin. Nämä menetelmät on räätälöitävä erikseen jokaiselle vesilaitokselle. Vikojen määrän-
nusteet putkiston koko käyttöiältä ovat tärkeitä tietoja, koska putkistojen pitkät käyttöiät voivat johtavat helposti siihen, että houkuttelevin kunnossapitostrategia on pelkästään korjaava kunnossapito. PARMS-mallissa jokaiselle verkoston putkilinjalle määritetään erillinen vikataajuus, jossa otetaan huomioon putken halkaisija, painetaso, maaperätyyppi ja liikenneolosuhteet putken oman vikaistoriatiedon lisäksi. Vikaantumismallit käsittelevät erilaisia vikamuotoja, koska erilaisten vikojen aiheuttamat kustannuksetkin ovat erilaisia. Tiedonkeruu monilta eri vesilaitoksilta on tuonut esiin tarpeen standardoida tiedonkeruutavat, jotta tietojen perusteella voidaan rakentaa vikaantumismalleja myös uusille putkimateriaaleille, kuten muoveille.

PARMS sisältää WLC-laskentamenettelyn yksittäisille putkille ja mahdollistaa erilais-
ten saneerausvaihtoehtojen keskinäisen vertailemisen. Eräs yleisesti käytetty tapa vesi-
johtojen saneeraustarpeen määrittämisessä on vikojen (= vedenjakelun keskeytysten)
määrä tietyllä linjalla – kun raja ylitetään, putki saneerataan. PARMS-mallilla voidaan
tällaista saneeraustapaa tutkia käyttäen viittä eri raja-arvoa vikamäärille. Esimerkki täl-
laisesta laskennasta on esitetty Kuva 32:ssa.



Kuva 32. Erilaisien vikasietorajojen aiheuttamat kustannukset tulevaisuudessa.

Yhden vian sietorajalla kustannukset ovat aluksi suuret, mutta myöhemmin uusitussa verkostossa tapahtuu vähemmän vuotoja ja siten kustannuksetkin ovat alemmat. Kuitenkin jo vuonna 2030 vikamäärät alkavat olla samalla tasolla kuin muillakin vikasietorajoilla lasketuilla arvoilla, kun uusi osa verkostosta alkaa tulla uusimisikänsä. Kuva 32:ssa näkyy, miten erilaisilla vikasietorajoilla on vaikutusta kustannuksiin (nykyarvoksi muutettuna). Jos diskonttokorkona käytetään 6 %, halvimmaksiksi kunnossapitotavaksi osoittautuu kolmen vian sietoraja. Laskelmassa ei kuitenkaan ole huomioitu ulkopuolisille aiheutuvia epäsuoria kustannuksia, jotka ovat pääosin kvantifioitavissa.

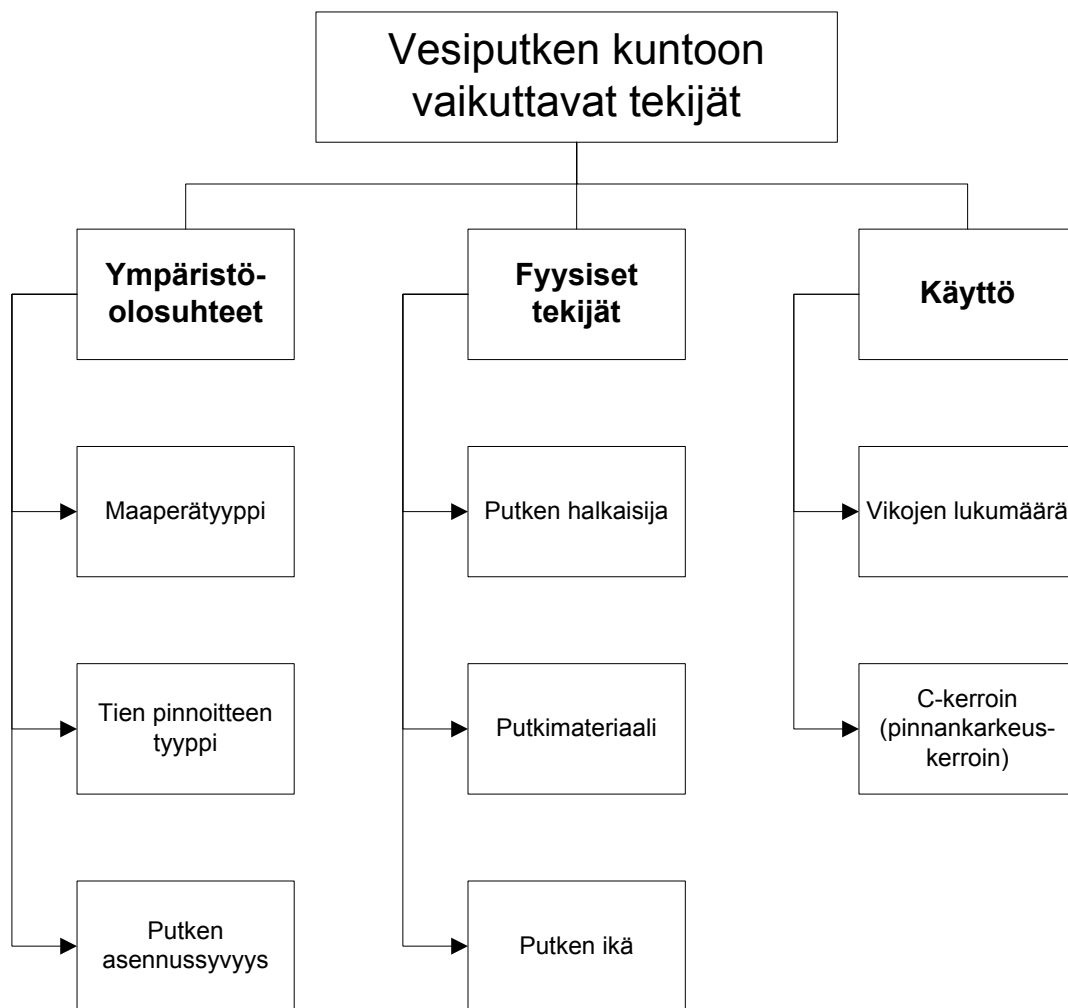


Kuva 33. Putken vaihdon aiheuttamat kustannusvaikutukset eri vikasietorajoilla nykyarvoon muunnettuna.

4.2.7 Condition Rating Model for Underground Infrastructure Sustainable Water Mains

Al-Barqawi, H. & Zayed, T. 2006. Condition Rating Model for Underground Infrastructure Sustainable Water Mains. Journal of performance of constructed facilities, May 2006. ASCE.

Tällä hetkellä USA:ssa tai Kanadassa ei ole standardoitua vesijohtoverkoston kunnonarvotusjärjestelmää. Joitain summittaisia arvioita ja asiantuntijoiden mielipiteitä käytetään verkoston kunnon arviointiin ja saneerausohjelmien laatimiseen. Tässä tutkimuksessa kehitetään neuroverkkoihin perustuvaa menetelmää ja mallia verkoston kunnon arvottamiseen. Mallissa huomioidaan kuva 34:ssä mainitut putken kuntoon vaikuttavat tekijät.



Kuva 34. Vesiputkien kunnan arvottamismallissa huomioonotettavat putken kuntoon vaikuttavat tekijät. [Al-Barqawi & Zayed 2006]

Tutkimuksessa käytettiin Neuroshell-neuroverkko-ohjelmistoa. Jokainen Kuva 34:ssä mainittu muuttuja muodosti yhden neuronin. Mukana laskennassa olleita putkityyppejä oli 3, tiepintoja 3, ja maaperätyyppejä 8. Neuroverkkoa opetettiin datasarjalla, jossa oli kaiken kaikkiaan 568 400 tapahtumaa.

Kunnonarviointitaulukko muodostettiin kyselyllä, johon osallistui useita vesihuoltoalan asiantuntijoita USA:sta ja Kanadasta. Kyselyssä asiantuntijoita pyydettiin muodostamaan sopiva asteikko kuvaamaan putkiston kuntoa ja kullekin kuntoluokalle tarpeen olevia toimenpiteitä.

Validointituloksien perusteella kehitetyn mallin tekemistä arvioista 71,7 % on 5 %:n tarkkuusrajalla, 91,7 % tuloksista on 10 %:n sisällä ja 100 % on 12,65 %:n sisällä, jota voidaan pitää hyvänä ja hyväksyttävänä tuloksena. Tulosten perusteella suurin vaikutus (30,2 %) kuntoluokituksen määrittämiseen on vikaantumistaajuus (vikojen lukumäärä)

ja toisena putken ikä (13,60). Tulosten perusteella voidaan esimerkiksi havaita, että ennen 2. maailmansotaa ja sen jälkeen valmistettujen putkien kestävyydellä on eroa. Kunnonarviointiasteikon avulla vesihuoltoinsinöörit voivat suunnitella saneerausohjelmia. Tutkimuksessa kehitetty neuroverkkolaskentamalli on käyttökelpoinen sekä tutkimuskäytössä että verkoston tarkastus- ja saneerausohjelmia laadittaessa.

4.2.8 Modeling Water Pipe Breaks – Three Case Studies

Pelletier, G., Mailhot, A. & Villeneuve, J.-P. Modelling water pipe breaks – three case studies. Journal of water resources planning and management, Vol. 129, No. 2, s. 115–123, Mar–Apr 2003. ISSN: 0733-9496.

Raportin johdannossa todetaan, että kunnalliset vesihuollon verkostot ovat heikossa kunnossa ja huonontuvat edelleen nopeasti. Verkostojen huonontumisen arvioimiseksi tarvitaan laskennallisia työkaluja. Tutkimuksessa keskitytään kehittämään putkien kestävän mallinnusmenetelmää, joka käyttää olemassa olevaa tai helposti saatavilla olevaa dataa. Putkien rakenteellista kuntoa ilmentävistä tunnusluvuista käytetyin lienee vuosittainen putkirikkojen määrä. Tässä tutkimuksessa putkirikko määritellään tapahtumaksi, jossa vuoto aiheuttaa maan pinnalla havaittavissa olevan vuodon, eli vuodon, joka vaatii välittömiä korjaustoimenpiteitä.

Putkirikkojen mallintamisessa suurin vaikeus on datan määrässä, sekä verkostotiedoissa että vikatiedoissa on usein puutteita. Vikadataa on harvoin saatavilla kattavasti yli 10 vuoden ajalta. Mikäli mallista pyritään saamaan toimiva monissa eri kaupungeissa, on huomioitava, että useimmissa kaupungeissa tietoja putkirikoista on saatavissa vain hyvin lyhyeltä ajalta.

Vesijohtoverkoston heikentymisen tutkimus jakaantuu kirjoittajien mukaan yleisesti kolmeen kategoriaan, nimittäin fyysiseen, kuvailevaan ja ennakoivan analysointiin. Fyysinen analysointi käsittelee putkiston sisäistä ja ulkoista korroosiota ja putkistoon kohdistuvia erilaisia kuormituksia. Kuvaileva analysointi on vaurioitumismäärien ja trendien tilastollista käsittelyä. Sitä voidaan tehdä vain, jos käytössä on riittävän laajoja ja kattavia vauriotilastoja, eikä näin useinkaan ole asianlaita. Ennakoivassa analysoinnissa mallinnetaan aikaisemman vauriokäyttäytymisen ja verkoston ominaisuuksien perusteella tulevaisuutta. Ennakoivaa analysointia on kolmea päätyyppiä, vaurioiden lukumäärää putkien iän perusteella ennakoivia kokonaismalleja (aggregate models), regressiomalleja, jotka ottavat huomioon putkistojen heikentymiseen vaikuttavat tekijät ja todennäköisyyksille, joista selviytymisanalyysi (survival analysis) on laajimmin käytetty.

Tämän tutkimuksen päätavoite on kehittää putkien vikaantumismalli, joka arvioi putkien rakenteellista kuntoa nyt ja tulevaisuudessa ja verifioida sen toimivuutta kolmessa kaupungissa. Tutkimuskysymyksenä on: *Millainen panostus kaupungin pitää putkien uusimiseen tehdä, jotta vuosittainen putkirikkojen määrä pysyy halutulla tasolla tietyllä jaksolla?*

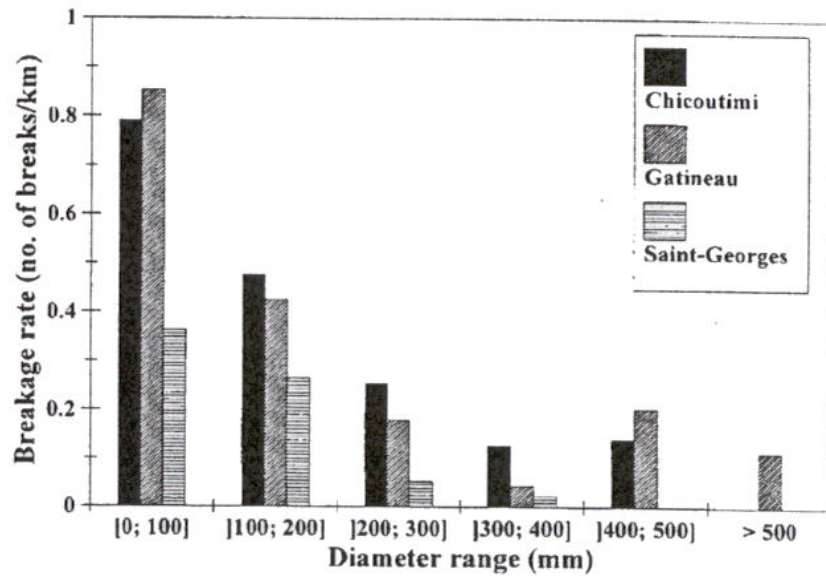
Tutkimuksen case-kohteiksi valittiin Quebecista kolme kaupunkia, joissa on kerätty vikatietoja sähköiseen muotoon. Chicoutimissa vikatietoja oli 21 vuodelta (64 000 asukasta, verkoston vanhin putki vuodelta 1891), Gatineaussa 16 vuodelta (93 000 asukasta, vanhin putki vuodelta 1945) ja Saint-Georgesissa 10 vuoden ajalta (20 000 asukasta, vanhin putki vuodelta 1949). Vikahistorian valossa Chicoutimissa on korkein vikataajuus 46 vikaa/100km ja Saint-Georgesissa pienin, 19 vikaa/100km. Yli 40 vikaa/100 km osoittaa putkiston heikkoa kuntoa ja alle 20 vikaa/100 km tarkoittaa putkien olevan hyvässä kunnossa. Trendinä kaikissa kaupungeissa on ollut vikamäärän kasvu ajan myötä.

Monissa kaupungeissa kaikista verkoston putkisegmenteistä on hyvin vähän tietoja. Vain seuraavat kuusi ominaisuutta oli löydettävissä kaikkien kolmen case-kaupungin kaikista putkista:

1. putken halkaisija
2. putken pituus
3. putken materiaali
4. asennusvuosi
5. maaperätyyppi
6. putken yläpuolella olevan maan käyttötarkoitus.

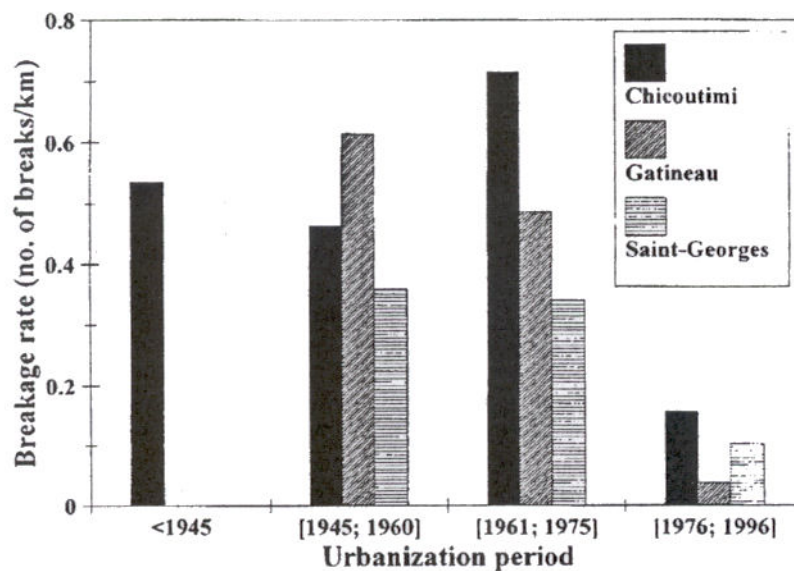
Vikatiedot kaupungeissa oli yleensä kirjattu osoitetiedon perusteella, vaikka poikkeuksiakin oli, putkirikko oli sijoitettu esim. lähistöllä olevan rakennuksen nimen mukaan. Monia putkirikkoja ei pystytty liittämään yksittäiseen putkisegmenttiin, koska korjaajat eivät olleet tehneet korjauksen kohteesta riittävän tarkkoja merkintöjä. Chicoutimissa vioista pystyttiin kohdistamaan yksittäiseen putkisegmenttiin 75 %, Gatineaussa 85 % ja Saint-Georgesissa 94 %.

Suurin osa putkistosta tutkimuksessa mukana olevissa kaupungeissa on kooltaan 100–200 mm. Seuraavaksi eniten on putkia 200–300 mm:n kategoriassa. Vikataajuus (Kuva 35) näyttää kuitenkin olevan suurin pienimmillä putkilla, johtuen todennäköisesti pienemmästä seinämävahvuudesta ja pienemmästä jäykkyydestä. Gatineaussa vikataajudet ovat korkeita myös suurempihalkaisijaisilla putkilla.



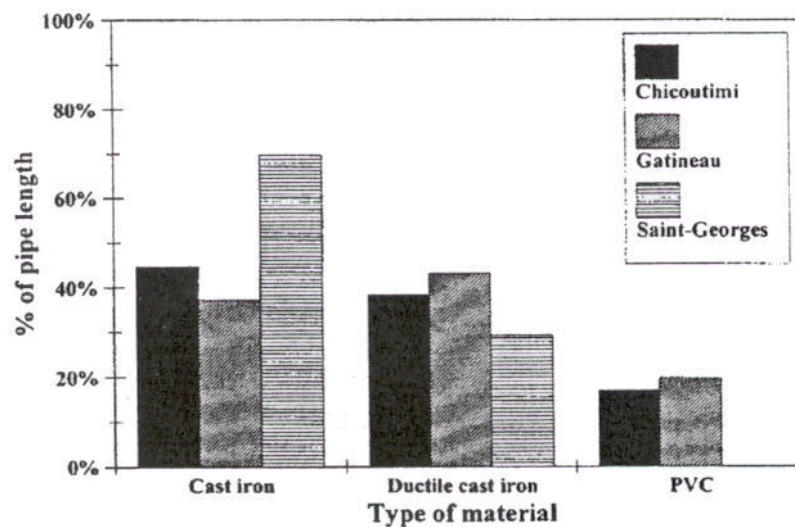
Kuva 35. Vikataajuudet eri halkaisijaisissa putkissa tutkimuksessa mukana olevissa kaupungeissa v. 1996.

Vikataajuus ei ole suurin vanhimmilla putkilla, vaan heikoimpia näyttäisivät olevan aikavälillä 1961–1975 asennetut putket ja seuraavaksi heikoimpia 1945–1960 asennetut putket (kuva 36). Ilmeisesti noina voimakkaan urbanisoitumisen aikoina putkiasennustekniikat ja materiaalit olivat laadultaan heikompia kuin aiemmin. Mallintamisessa on tämä seikka otettava huomioon.



Kuva 36. Vikataajuudet eri aikakausina asennetuissa putkiliinjoissa v. 1996 tutkimuksessa mukana olevissa kaupungeissa.

Kaupunkien putkimateriaalien jakauma on esitetty kuva 37:ssä. Suurin osa vikaantumista näyttää tapahtuneen harmaalle valuraudalle (cast iron). Putkimateriaalilla ja aikakaudella näyttää olevan voimakas korrelaatio: harmaata valurautaa käytettiin pääasiassa putkimateriaalina aina vuoteen 1960 saakka, 1960–1975 käytettiin sekä harmaata että pallografiittivalurautaa. 1976–1996 putkimateriaalina käytettiin pääasiassa pallografiittivalurautaa ja PVC:tä, Saint-Georgesissa myös asbestisementtiä. Tutkimuksessa haastateltujen vesilaitospäälliköiden otaksuman mukaan pallografiittivalurautaputket ovat harmaasta valuraudasta valmistettuja putkia kestävämpiä, mutta tätä ei pystytty tutkimuksessa vahvistamaan.



Kuva 37. Tutkimuksessa mukana olevien kaupunkien vesijohtoverkoston putkimateriaalin jakauma v. 1996.

Mallintamisessa on tavoitteena jäljitellä riittävän hyvin keskimääräistä vuosittaisten putkirikkojen määrää ja siten ennustaa vikamääriä tulevaisuudessa. Aikajaksoksi mallinnuksessa valittiin yksi vuosi mm. siitä syystä, että tallennetut vikojen tapahtumahetket eivät olleet tarkasti tiedossa. Monissa kirjallisuuslähteissä on todettu, että putken ensimmäinen vikaantuminen tapahtuu usein muiden putkisegmenttien vikaantumisten yhteydessä ja että vikaantumiskäyttäytyminen riippuu suuresti vikojen esiintymisjärjestyksestä.

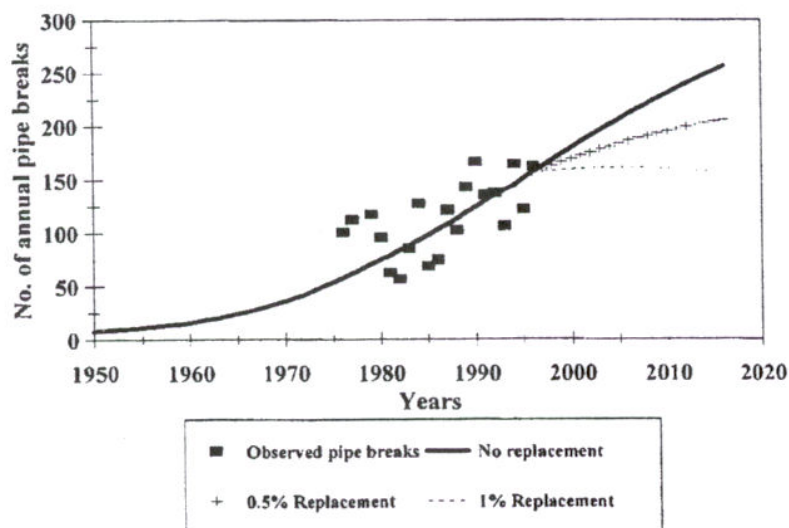
Tässä mallinnuksessa käytetään Weibull-jakaumaa ensimmäisten vikojen (aika asennuksesta ensimmäiseen vikaantumiseen) ajankohdan laskemiseen ja eksponenttijakaumaa kuvaamaan seuraavien vikojen esiintymisajankohtaa (aika ensimmäisestä viasta toisen esiintymiseen, toisesta kolmanteen jne.). Vaikkakin käytetty laskentamalli on yksinkertainen, se kuvaa hyvin vanhenemisprosessia ja on toimiva myös kaupungeissa, joissa on vikaistoriatietoa vain lyhyeltä ajalta. On huomattava, että mallissa ei oteta huomioon

muita vikaantumiseen johtavia syitä kuin putken rakenteellinen heikkeneminen esim. korroosion takia; liikenteen, roudan, vesikemian yms. vaikutuksia ei siis huomioida.

Alustavassa data-analyysissä havaittiin Chicoutimin ja Gatineaun kohdalla, että ennen vuotta 1960 asennetuilla putkilla oli erilainen vikaantumiskäyttäytyminen kuin sen jälkeen asennetuilla putkilla. Syyksi arveltiin aluksi putkimateriaalin vaihtumista tuona hetkenä, mutta jatkotutkimuksissa selvisi, ettei kyse ollutkaan materiaalin muutoksesta. Vikaantumiskäyttäytymisen muutoksesta johtuen näille kaupungeille arvioitiin kuitenkin kahdet eri parametrit. Mallilla tehtäviin laskelmiin tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- yksilöivä putkisegmentin tunnus
- asennusvuosi
- kirjattujen vikojen määrä
- ensimmäisen vian esiintymisvuosi
- kirjausten alkamisvuosi
- analysointivuosi.

Tutkimuksessa kokeiltiin myös eri putkistojen vaihtonopeuden vaikutusta vikojen määrään. Erilaisia saneerausmenetelmiä ei otettu saneeraustarkasteluissa huomioon, vaan saneerausmenetelmänä arvioitiin ainoastaan putken vaihtamista uuteen. Tulosten mukaan (esimerkkinä Chicoutimi, kuva 38) kaikkien kolmen kaupungin vaurioitumistajuus on ilman toimenpiteitä lisääntymässä selvästi. Jos putkien uusimistahti on luokkaa 1–2 % putkistosta, vaurioiden määrä pysyy viime havaintovuoden tasalla (Chicoutimi 1 %, Gatineau 1,8 % ja Saint-Georges 1,5 %). 20 vuoden aikajänteellä, ellei putkiston uusimisia vuosittain suoriteta, kasvavat vikamäärät Chicoutimissa 63 %, Gatineaussa 88 % ja Saint-Georgesissa 121 %.



Kuva 38. Havaitut ja simuloidut vuotuiset putkivauriot ja vuosittaisten vikamäärien ennusteet erilaisilla saneerausskenaarioilla Chicoutimissa.

Jatkotutkimuksissa keskitytään muiden riskitekijöiden kvantifointiin ja niiden vaikutukseen vikaantumisessa. Koska tutkimuksessa keskitytään kaupunkeihin, joilla vikahistoriaa on tallennettu vain lyhyeltä ajanjaksolta, on jatkossa oleellisen tärkeää arvioida mallin kalibroinnin epävarmuutta ja siten päätellä, ovatko laskennassa havaitut erot tilastollisesti merkittäviä.

4.2.9 Framework Model For Asset Maintenance Management

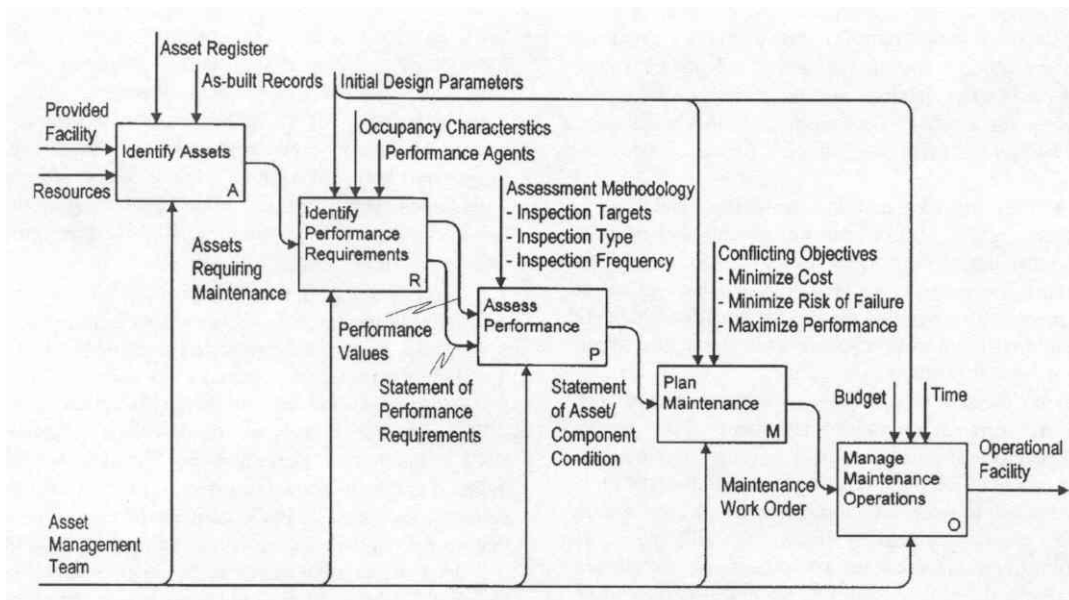
Hassanain, M.A., Froese, T.M. & Vanier, D.J. Framework Model For Asset Maintenance Management. *Journal of performance of Constructed Facilities*, Vol. 17, No. 1, February 2003. ISSN 0887-3828.

Mikä tahansa rakennettu järjestelmä voidaan katsoa investoinniksi tai käyttöomaisuudeksi, jota täytyy ylläpitää, jotta sen optimaalinen arvo säilyy koko sen eliniän ajan. Kunnallistekniikan järjestelmien suunniteltu elinikä voi helpostikin olla yli 50 vuotta. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli kuvata rakennetun käyttöomaisuuden hallintaan soveltuva yleinen toimintamalli. Haasteena oli yhdistää olemassa olevia tietolähteitä ja muodostaa niiden avulla formaali malli kunnossapidon hallintaan. Ensisijainen tavoite oli kehittää tietoteknisiä sovelluksia käyttöomaisuuden hallinnan tueksi, mutta tuloksena esitettävää prosessikuvausta voidaan käyttää organisaation rakentamiseen ja käyttöomaisuuden hallinnan ja toimintojen hallinnointiin. Kunnossapidon hallintamallin kehitystyön ohessa katselmoitiin kolme markkinoilla olevaa ohjelmistosovellusta: BUILDER (U.S. Army), Maximo (MRO) ja RECAPP (PPTI).

Kehitetty yleinen käyttöomaisuuden hallintamalli soveltuu kaikenlaisille rakennetuille järjestelmille, myös maanalaisille järjestelmille (kuten vesi- ja viemäriverkostot). Malli koostuu viidestä perättäisestä prosessista. Prosessin osat ovat:

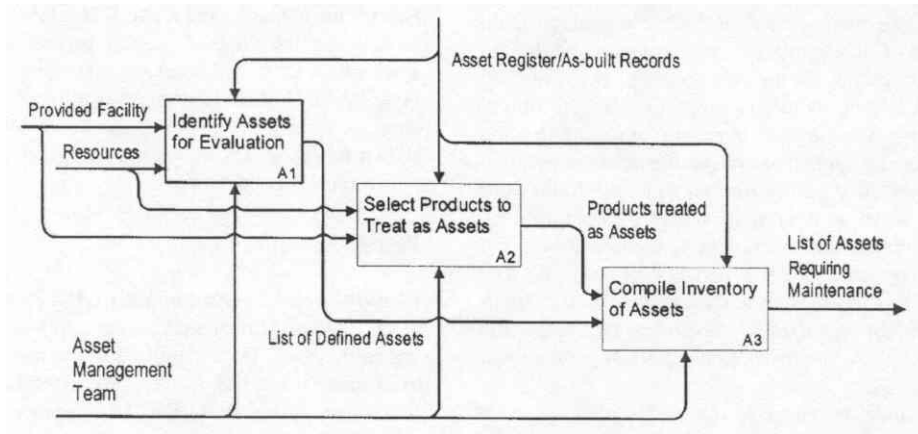
1. Käyttöomaisuuden tunnistaminen
2. Toimintavaatimusten tunnistaminen
3. Toiminnan arviointi
4. Kunnossapidon suunnittelu
5. Kunnossapitotoimintojen hallinta.

Yleinen malli on kuvattu käyttäen IDEF₀ (Integration Definition for Function Modeling)-kuvaustapaa. IDEF₀:ssa laatikot tarkoittavat tehtäviä, vasemmalta tulevat nuolet syöttöjä, oikealle menevät lähtöjä, ylhäältä tulevat ohjauksia ja alhaalta tulevat mekaniismeja. Toisen hallinnointiprosessin lähdöt toimivat toisen prosessin syöttöinä. Käyttöomaisuuden kunnossapidon hallinnan pääprosessit on esitetty Kuva 39:ssä. Pääprosessin osat on edelleen eritelty aliprosesseihin (Kuva 40–Kuva 44). Lähdetekstissä myös aliprosesseja oli jaoteltu edelleen pienempiin osiin, mutta niitä ei ole sisällytetty tähän referaattiin.



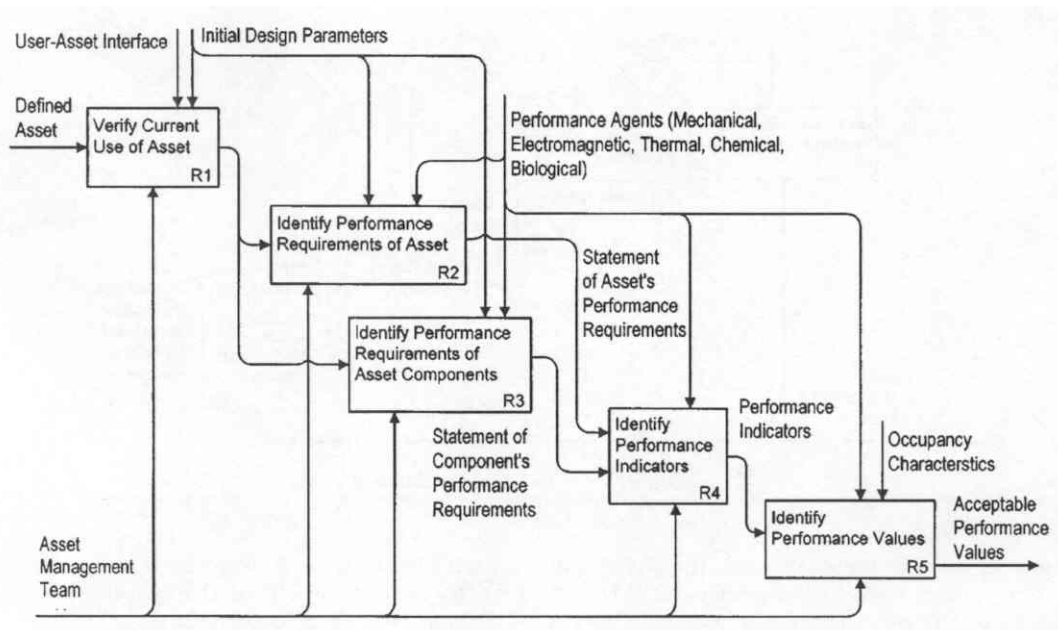
Kuva 39. Käyttöomaisuuden kunnossapidon hallinnan pääprosessit.

Käyttöomaisuuden tunnistamisprosessissa (Kuva 40) tehdään käyttöomaisuuden inventointi, jotta kunnossapitoa vaativat kohteet saadaan tunnistettua. Tässä vaiheessa tunnistetaan olemassa olevat laitteet ja resurssit.



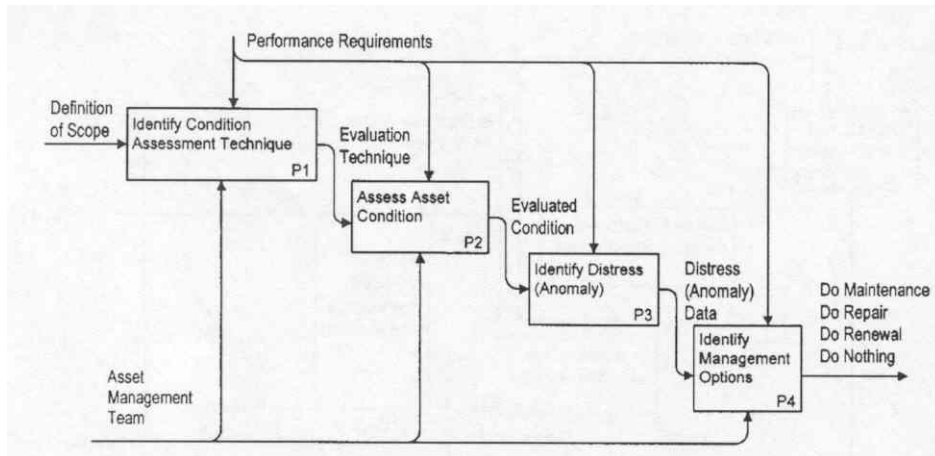
Kuva 40. Käyttöomaisuuden tunnistamisen vaiheet.

Toimintavaatimusten tunnistamisprosessissa (Kuva 41) määritetään joko koko toimintayksikön tai sen osan toiminnalle asetettavat vaatimukset. Tässä vaiheessa tunnistetaan myös ko. toimintoon sopivat tunnusluvut tms. indikaattorit. Tässä prosessin vaiheessa syöttöinä käytetään edellisessä vaiheessa tunnistettujen laitteistojen ja resurssien luetteloa. Lähtönä tästä vaiheesta saadaan toimintavaatimukset ja hyväksyttävän toiminnan raja-arvot. Tämä vaihe on jaettu edelleen viiteen alifunktioon.



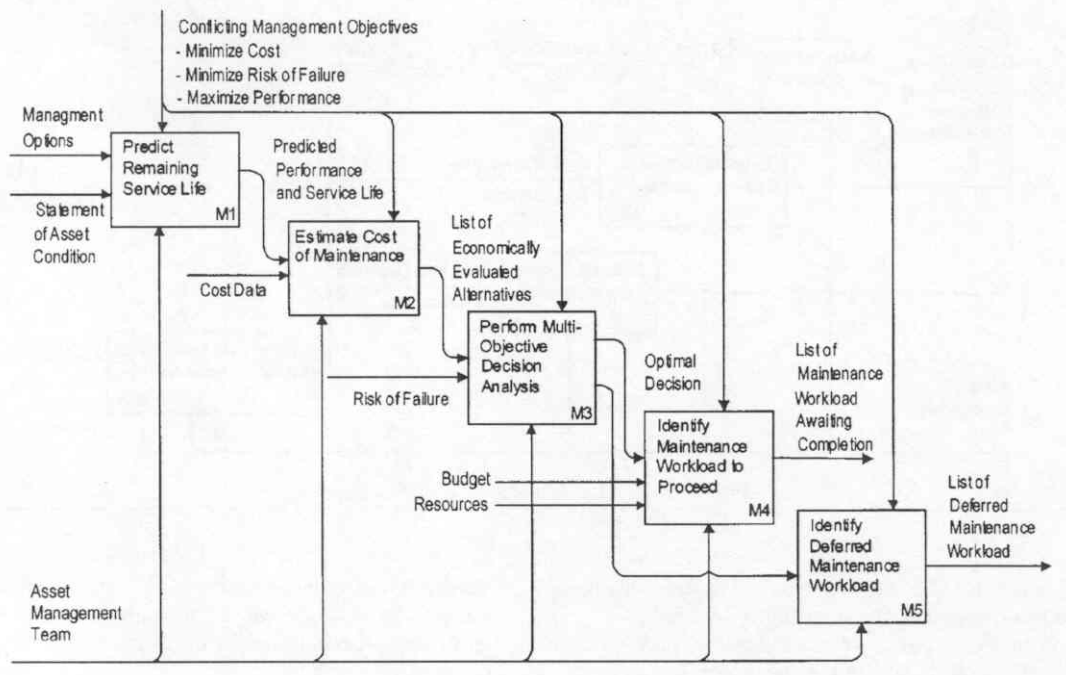
Kuva 41. Toimintavaatimusten tunnistamisprosessin vaiheet.

Toiminnan arviointiprosessi (Kuva 42) sisältää toiminnot, joilla arvioidaan käyttöomaisuuden kuntoa ja poikkeavuuksia suorituskyvyssä, joita voi esiintyä kohteen koko käyttöiän aikana. Tavoitteena tässä prosessissa on luetteloida laitteet, jotka eivät täytä asetettuja toimintavaatimuksia ja siten vaativat kunnossapitoa tai saneerausta. Tämän prosessivaiheen syöttöinä käytetään määritettyjä hyväksytyin toiminnan rajoja, ja lähtönä prosessista tulee lausuntoja käyttöomaisuuden kunnosta ja toimintamalleja, joilla tiettyihin tilanteisiin voidaan reagoida.



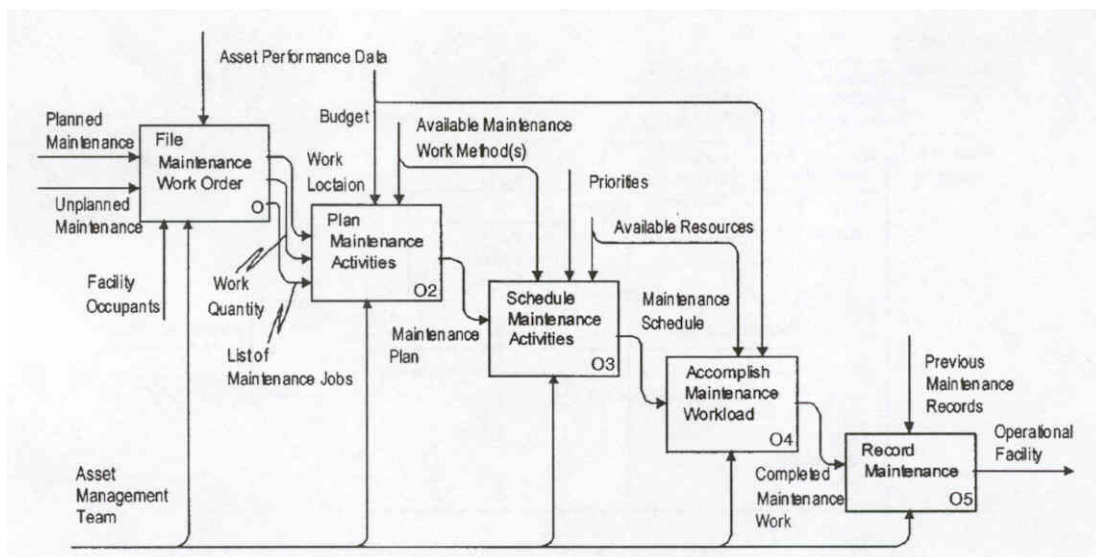
Kuva 42. Toiminnan arviointiprosessin vaiheet.

Kunnossapidon suunnitteluprosessi (Kuva 43) sisältää toimintoja, joita tarvitaan kunnossapitotoimenpiteiden prioriteetin määrittämisessä. Tavoitteena on minimoida kunnossapitokustannukset (Life Cycle Cost -laskelmiin perustuen), maksimoida käyttöomaisuuden suorituskyky (ennustetaan suorituskykyä eri kunnossapitovaihtoehtojen kautta) ja minimoida vikaantumisriskit (vikataajuuden pienentäminen ja seurausten vakavuuden pienentäminen).



Kuva 43. Kunnossapidon suunnitteluprosessi.

Kunnossapitotoimenpiteiden hallinnointiprosessi (Kuva 44) sisältää toimintoja, joita tarvitaan kunnossapito-operaatioiden suorituksessa ja kunnossapito-, korjaus- tai saneerausaktiiviteettien implementoinnissa. Tämän vaiheen syöttöjä ovat odottavien kunnossapitotöiden luettelo ja käytettävissä olevat resurssit. Lähtönä tässä vaiheessa on toimiva laitos.



Kuva 44. Kunnossapitotoimenpiteiden hallinnointiprosessi.

Tutkimuksen johtopäätöksissä todetaan, että käyttöomaisuuden hallintaan on kehitetty useita erillisiä ohjelmistoratkaisuja, mutta ne perustuvat erilaisiin rakenteisiin eivätkä siten ole yhteensopivia toistensa kanssa. Tässä tutkimuksessa esitetään yleinen viitekehys käyttöomaisuuden kunnossapidon hallintaan. Vaikka hallintamallissa esitetyt osiot ovatkin enimmäkseen jo olemassa olevia, niitä ei ole yhdistetty osaksi käyttöomaisuuden hallintaprosessia. Vaikka tutkimus tehtiin käyttöomaisuuden hallinnan tietojärjestelmien kehittämisen näkökulmasta, luotua viitekehystä voidaan käyttää yleisenä kunnossapidon kehittämisen ohjeena ja välineenä käytännön ja suunnittelun välisten erojen pienentämisessä.

4.2.10 Optimal scheduling of water pipe replacement using genetic algorithms

Dandy, G.C. & Engelhardt, M. 2001. Optimal scheduling of water pipe replacement using genetic algorithms. Journal of water resources planning and management, Vol. 127, No. 4, s. 214–223, Jul-Aug 2001. ISSN: 0733-9496.

Australian Adelaidea koskevassa case-tutkimuksessa on mm. esitetty kaava vesijohtojen putkirikkojen määrälle (burst rate) vauriohistoriaan perustuen. Peruskaava on muotoa:

$$y = ax^b, \text{ jossa}$$

y = vauriotaajuus (burst rate), vaurioita per km vuodessa

x = putken ikä vuosissa

a ja b ovat empiirisiä kertoimia, jotka on määritelty regressioanalyysillä vauriohistorias-ta. Sementillä pinnoitetulle valurautaputkelle (CICL, cast iron - cement lined) kertoimet ovat:

$$a = 0,02214 * \exp(-8,64 * 10^{-3} * d_i), \text{ missä } d_i \text{ on putken halkaisija (mm)}$$

$$b = 1,337$$

Asbestisementtiputkelle (AC, asbestos cement) kertoimet ovat.

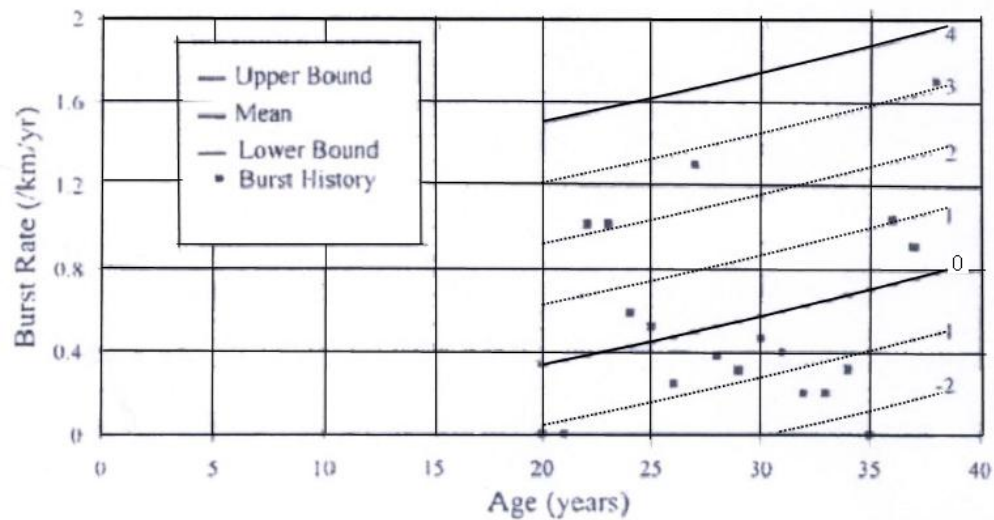
$$a = 1,974 * \exp(-9,74 * 10^{-3} * d_i), \text{ missä } d_i \text{ on putken halkaisija (mm)}$$

$$b = 1,808$$

Sovellettaessa kaava yksittäistapaukseen, esimerkiksi tiettyyn putken osaan, josta vauriohistoria tunnetaan, vakiotekijällä c voidaan tulosten taso nostaa tai laskea historiaan sopivaksi (Kuva 45). Artikkelissa ala- ja ylärajat (Lower Bond, Upper Bond) on määritelty käyttäen 95 %:n luotettavuusrajoja. Kaava on tällöin muotoa:

$$y = ax^b + c$$

Kuva 45:ssä on esitetty erilaisia sementillä pinnoitetun 150 mm valurautaputken vaurioitusmisskenaarioita.



Kuva 45. 150 mm:n sementillä pinnoitetun valurautaputken vikaantumisskenaarioita.

5. Yhteenveto

Kirjallisuustutkimuksen aihepiiristä eli vesihuoltoalan käyttöomaisuuden hallinnasta on tehty maailmalla paljon tutkimusta. Eniten tutkimustuloksia ja viranomaisraportteja löytyi Pohjois-Amerikasta (USA, Kanada) sekä Australiasta. Pohjois-Amerikassa vesihuollon infrastruktuuri on hieman vanhempaa kuin esimerkiksi Suomessa, joten verkostojen elinkaari alkaa olla vanhimmissa verkostoissa loppuvaiheessaan ja vesihuoltoinfra kunnossapidon ongelmat akuutimpia kuin Suomessa. Australiassa panostaminen vesihuollon kustannustehokkuuteen johtuu todennäköisesti ainakin osittain siitä, että Australiassa viljely on pitkälti riippuvainen keinokastelusta ja siten makean veden varantoja pitää käyttää hallitusti ja välttää suurimittaista veden kulutusta vuotojen kautta. Euroopan valtioista tutkimuksissa oli edustettuna parhaiten Iso-Britannia.

Yllättävää oli, että verkostojen käyttöikäen kohdistuneissa tiedonhauissa ei törmätty mihinkään kansainväliseen tietokantaan, jossa erityyppisten putkiston osien käyttöikää olisi yritetty määrittää kokemuksiin perustuen. Tällaiselle tietokannalle voisi olla tilausta verkostojen kunnossapito-ohjelmia suunniteltaessa ja verkoston jäljellä olevaa taloudellista käyttöikää määritettäessä. Monissa läpi käydyissä tutkimuksissa verkostojen kuntoa ja jäljellä olevaa käyttöikää oli laskettu olemassa olevaan dataan perustuen. AssetVesi-hankkeessa peruslähtökohta on vastaavanlainen, mutta lisäksi on tarkoitus hyödyntää laitoksilla olevaa ns. piilevää tietoa asiantuntijahaastattelujen ja asiantuntijoiden avulla tehtävien analyysien muodossa. Tällaista kaksisuuntaista lähestymistapaa verkoston kunnan arviointiin ei ollut raportoitu kirjallisuustutkimuksen lähdeaineistossa.

Vesilaitosten omaisuuden hallinnan kehittämisessä erityinen haaste on, että toimiva omaisuuden hallintajärjestelmä sisältää sekä teknisiä että taloudellisia toimintoja ja elementtejä. Vesilaitoksilla olevan teknisen tiedon taso on usein korkea verrattuna taloudellisuuden ja toiminnallisuuden näkökulmiin. Eli usein eri järjestelmiin tallennettua ja muutoin kerättyä tietoa ei ole suunniteltu käytettäväksi omaisuuden tuottokyvyn analyseissa vaan nämä analyysit vaativat tietojen laajamittaista yhdistämistä ja analyysia. Käytännössä omaisuuden hallintajärjestelmän kehittäminen vaatii aina laitospäätöksistä räätälöintiä. Omaisuuden hallinnan kehitystyön lähtökohdaksi vesilaitoksella voidaan esimerkiksi ottaa ydintoimintoja (vesiverkon suunnittelu, rakennuttaminen ja saneeraus, veden tuotanto ja jäteveden käsittely, verkosto- ja laituskunnossapito, taloushallinto jne.) tukevan omaisuuden hallinnan prosessin muodostaminen.

Tämän kirjallisuustutkimuksen tuloksia hyödynnetään jatkossa AssetVesi-tutkimushankkeessa kehitettävän vesihuoltolaitosten Asset Management -toimintamallin kehitystyössä.

Lähdeluettelo

Agbenowosi, N. & Loganathan, G.V. 2001. A Decision Support System for Scheduling Water Main Replacement. IMTech Conference Proceedings. American Water Works Association.

Al-Barqawi, H. & Zayed, T. 2006. Condition Rating Model for Underground Infrastructure Sustainable Water Mains. Journal of performance of constructed facilities, May 2006. ASCE.

Asakura, A. et al. 2005. A study on appropriate investment of pipeline rehabilitation for water distribution network. Water Science and Technology: Water supply, Vol. 5, No. 2 s. 31–38. IWA Publishing.

AWWA. 2001. Reinvesting in drinking water infrastructure: Dawn of the Replacement Era. 24 s. WWW: http://win-water.org/win_reports/infrastructure.pdf

Burn, S. et al. 2003. Asset planning for water reticulation systems – the PARMS model. Water Science and Technology: Water supply. Vol. 3, No. 1–2, s. 55–62.

Carterton District Council. 2006. Water Asset Management Plan. WWW: <http://cartertondc.co.nz/pdfs/Draft-Water-AMP.pdf>

Dandy, G.C. & Engelhardt, M. 2001. Optimal scheduling of water pipe replacement using genetic algorithms. Journal of water resources planning and management, Vol. 127, No. 4, s. 214–223, Jul-Aug 2001. ISSN: 0733-9496.

EPA 600/R-02/029. 2002. Decision-Support Tools for Predicting the performance of Water Distribution and Wastewater Collection Systems. Pdf-raportti www-osoitteessa <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r02029/600r02029.htm>

Fenner, R.A. 2000. Approaches to sewer maintenance: a review. Urban Water 2 (2000) s. 343–356.

Forss, A. (toim.). 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteet. Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen monistesarja Nro 17. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 77 s.

Grablutz, F., McCammon, S. & Murphy, L. 2001. A Practical Approach to Distribution System Rehabilitation Planning. American Water Works Association – Infrastructure Conference Proceedings. 13 s.

Grigg, N. S. 2005. Assessment and renewal of water distribution systems. American Water Works Association. Journal. Denver: Feb 2005. Vol. 97, Iss. 2, s. 58 (12 s.)

Guidelines for implementing total management planning - asset management-overview. WIC/2002/1088 – Version 1. Endorsed 01/06/2002. Queensland Government. Natural Resources and Mines.

Hashem-zadeh, F 2001. Developing a decision-making system to manage watermain rehabilitation and renewal program. 2001 Distribution System Symposium; San Diego, CA; USA; 23–26 Sept. 2001. Pp16 pp. 2001, Graphs, 4 ref. Conference: 2001 Distribution System Symposium; San Diego, CA; USA; 23-26 Sept. 2001 Published by: American Water Works Association, 6666 West Quincy Avenue, Denver, CO, 80235-3098, USA ISBN: 158321142X.

Hassanain, M.A., Froese, T.M. & Vanier, D.J. Framework Model For Asset Maintenance Management. Journal of performance of Constructed Facilities, Vol. 17, No. 1, February 2003. ISSN 0887-3828.

Hukka, J.J. & Katko, T.S. 1999. Yksityistäminen vesihuollossa? Kunnallisan kehittämissäätiön tutkimusjulkaisu, nro 19. Kunnallisan kehittämissäätiö, Helsinki. 95 s. ISBN 952-9740-65-4.

Juhola, P. 1995. Vesihuoltolaitos yhdyskuntien palveluorganisaationa. TTKK, Vesi- ja ympäristötekniikan laitos, julkaisu A51. Lisensiaatintyö. 51 s.

Kiuru, H. 2006. Vesihuoltoalan tulevaisuuden näkymät Suomessa. Tekniikka ja Kunta 4/2006, s. 38–40.

Komonen, K., Räikkönen, M., Laakso, K., Rosqvist, T., Rissanen, T., Auvinen, O., Riihimäki, M., Solin, J., Kortelainen, H., Hämäläinen, J. & Jalonen, M. 2005. Käyttöomaisuuden hallinta - Asset Management. . Tutkimusraportti BTUO43-051362. 2005. 88 s. + liitt. 1 s.

Pelletier, G., Mailhot, A. & Villeneuve, J-P. 2003. Modeling Water Pipe Breaks – Three Case Studies. Journal of Water Resources Planning and Management, March/April 2003. American Society of Civil Engineers (ASCE).

RIL 124-2 Vesihuolto II. 2004. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. Helsinki. 684 s. ISBN 951-758-438-5.

Saegrov, S. (ed.) 2005. Care-W – Computer Aided Rehabilitation of Water Networks. IWA Publishing, Lontoo. 191 s.

SFS-IEC 60050(191). 1996. Luotettavuus ja palvelun laatu. Suomen standardisoimisliitto SFS. 143 s.

Sipilä, O. 2005. Omaisuuden hallinta energiayhtiöissä. Kunnossapito 7/2005. s. 30–32.

Vaattovaara, M. & Sipilä, O. 2005. Fyysisen käyttöomaisuuden hallinnan taustaselvitys. Teknologia katsaus 170/2004. Tekes. Helsinki 2005. 68 s.

Vehmaskoski, T. 2002. Vesihuollon alueellinen operointi. Teknillinen korkeakoulu, Vesihuoltotekniikan laboratorio, Espoo. 109 s. WWW:
<http://www.hut.fi/Yksikot/Rakennus/Vesihuolto/Pdfjulkaisut/teemu/Vehmaskoski.pdf>

Vesilaitokset, Vesihuoltolaitokset 1998–2000. 2002. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 2002. 480 s. (Suomen ympäristö 541.) ISBN 952-11-1086-4 (nid.)

Viemärlaitokset, Vesihuoltolaitokset 1998–2000. 2002. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 2002. 480 s. (Suomen ympäristö 288.) ISBN 952-11-1086-4 (nid.)

VTT. 2006. Komonen, K., Räikkönen, M., Rosqvist, T., Porthin, M., Riihimäki M., Jalonon, M., Pärnänen, A., Häkkinen, T., Koppinen, T., Kupila, K., Martikainen, A. & Vesikari, E. Strategisen käyttöomaisuuden hallinnan lähtökohdat, kehitysalusta ja analyysimenetelmiä. 2006. VTT:n tutkimusraportti. (Luonnos.)

Liite A: Asset Management -tason arvioinnin kysymyslista

Lähde: *Guidelines for implementing total management planning - asset management-overview. WIC/2002/1088 – Version 1. Endorsed 01/06/2002. Queensland Government. Natural Resources and Mines.*

Sub-plan or strategic issue	Question
Levels of service	<ul style="list-style-type: none"> • What are the current and proposed standards of service? • What are current and past service levels? • How are service levels monitored, analysed and reported? • Does the WSP undertake any inter-agency performance comparison? What are the results? • What are current and potential problems?
Water Demand Management	<ul style="list-style-type: none"> • What is the WSP's policy on water demand management? • What are unit demands for different customer groups? • What have been the historical trends? • What are projected trends? • Has a water balance study been undertaken? • What is the reliability of the meters? • What irrigation methods are used? • Are any water restrictions in place? • What is the pricing policy? • Is any irrigation tailwater or effluent reuse undertaken? • Is any customer/community education process in place? • Have any specific water demand management studies been undertaken? • Any other water demand management strategies implemented?
Water loss management	<ul style="list-style-type: none"> • What is the level of: real water loss (by categories)? apparent water loss (by categories)? • What water loss performance indicators are used? • How do these compare to other WSPs? • What are existing and proposed practices in reducing water loss from bursts and leakages? • What are existing and proposed practices in relation to inaccurate metering, authorised and unauthorised water use? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Infrastructure plan	<ul style="list-style-type: none"> • What is the WSP's policy on infrastructure planning? • What infrastructure planning studies have been undertaken, and are these current? Do they comprehensively cover the scheme? • How are planning reports registered and stored? • What is the quality of raw information? • What network models are used? Are these calibrated? • How is infrastructure planning planned, programmed and implemented? • Have any value management studies been undertaken? • Has a 10–20 year infrastructure investment (capital works) been developed? • How are projects prioritised?

Sub-plan or strategic issue	Question
	<ul style="list-style-type: none"> • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Asset procurement	<ul style="list-style-type: none"> • What is the WSP's policy on asset procurement? • How is infrastructure delivered? • Does the WSP have any infrastructure standards document? • How are projects managed, from development of the capital works program to asset handover? • Are any post-completion reviews undertaken? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Asset evaluation and renewal	<ul style="list-style-type: none"> • Do any policies exist on asset evaluation and renewal? • Do schematic layouts of systems exist? • Does an appropriate hierarchy of assets exist (asset classification)? • How was asset attribute data captured and what is level of accuracy? • Do asset registers exist? • Where are databases located? • What is the level of linkage/integration with other databases? • What is the level of detail? • What is the level of accuracy/data confidence? • Who is responsible for updating the reports? • Are there any formal procedures for register updating? • Is location of assets known? <ul style="list-style-type: none"> - Are assets located on GIS? - What is the level of accuracy? - Are there problems with Digital Cadastral Data Base? • Have assets been valued? <ul style="list-style-type: none"> - What method was used? - Does a valuation policy exist? - Who undertook the valuation? - Are summary statistics available? - Does a valuation report exist? - Has an external audit been undertaken? - Are further requirements proposed? • What methods of asset condition and performance assessment are applied to different asset types? • Are there formal procedures for asset condition/performance evaluation? • How is condition evaluation prioritised? • Where is data stored and how is it analysed? • How is data used to refine asset life? • Do any models exist for refining asset residual life? • Does an asset replacement cost profile exist? <ul style="list-style-type: none"> - How realistic is it? - How is it refined? - How is this information related into the financial model? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Operations management	<ul style="list-style-type: none"> • Do any policies on operations management exist? • Do system schematics exist? • How are operational services delivered? • What is the number of operational staff?

Sub-plan or strategic issue	Question
	<ul style="list-style-type: none"> • Is there a full understanding (documented) on how the system operates? • Do system network models exist? Are these used to optimise system performance? • What is the level of automation of system control and monitoring? How is the system used to optimise system performance? • What proportions of procedures are documented? • What operational performance indicators are used? • Is any performance comparison and benchmarking undertaken? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Maintenance management	<ul style="list-style-type: none"> • Do any policies on maintenance management exist? • For each asset group: <ul style="list-style-type: none"> - How are maintenance services delivered? - What is the status of procedures documentation? - How are maintenance strategies determined (preventive, predictive and reactive)? - How is maintenance planned and prioritised? - How is maintenance controlled, recorded, analysed and reported? - How is maintenance optimised? - Does a maintenance management system exist? - What is the management and workforce attitude/culture in relation to maintenance? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Sewer infiltration/inflow (I/I) management	<ul style="list-style-type: none"> • What is the extent of wet weather I/I? • What is the number of wet weather overflow events? • How has I/I investigation and analysis been planned and prioritised? • Has any flow measurement and analysis been undertaken? • Have the sources of problems been identified and remedied? • What is the extent of smoke testing; illegal inflow reduction? • Is I/I reduction part of a planned maintenance program? • Has any community education been undertaken to reduce the discharge of stormwater into the sewer system? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Water source management	<ul style="list-style-type: none"> • What is current allocation and what are proposed future allocations? • Does the WSP have transferable water entitlements? • What are existing sources, yield, usage and mode of operation? • What is the status of agreements with existing bulk water suppliers? • Does a strategic water source study exist? • Do formalised operating rules exist for the water sources? • How is raw water quality monitored? • Does a dam safety program exist? Does this comply with regulatory requirements? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Energy management	<ul style="list-style-type: none"> • Do any policies on energy management exist? • What information exists on energy consumption, cost, trends? • How do energy costs compare to overall O&M costs?

Sub-plan or strategic issue	Question
	<ul style="list-style-type: none"> • What energy tariffs are used? • Who is the supplier and what are contractual arrangements? • Have any energy studies/audits been undertaken? • What are current/potential problems? • What are proposed initiatives?
Drinking water quality management	<ul style="list-style-type: none"> • What is the current and proposed quality of water provided to consumers? • What criteria is quality assessed against? • Have all of the factors (hazards) likely to affect water quality for each component of the system (catchment to tap) been identified and prioritised? • What measures are in place / need to be in place to eliminate/reduce the impact of these factors? • Are there documented management plans for each component of the system? • What are the existing and proposed monitoring programs for operational, verification and performance assessment purposes? • How is operational and monitoring data recorded and analysed? • What are the current/proposed reporting procedures? • Is there a community awareness and consultation process in place? • Is there a contingency plan for extreme and emergency incidents? • What are the proposed initiatives to address significant water quality issues?
Information management	<ul style="list-style-type: none"> • Where is the following data stored and how is it analysed and reported: <ul style="list-style-type: none"> - customer service data; - planning related data; - capital works data; - contract data; - financial data; - asset maintenance data; - asset condition and performance data; and - operational data? • How are databases linked/integrated?

Liite B: Hyviä vesihuoltoalan käyttöomaisuuden hallinnan artikkeleita ja tietolähteitä

Seuraavassa on lista läpikäytyistä artikkeleista, joissa on hyvää perustietoa tai hyvin kuvaavia tutkimustuloksia AssetVesi-hankkeeseen liittyen. Kaikkia seuraavassa mainittuja lähteitä ei ole referoitu tässä raportissa.

1. Framework Model for Asset Maintenance Management (Hassanain, A., Froese, T.M., D.J.Vanier, 2003. Journal of performance of constructed facilities)

Artikkeli esittelee yleisen mallin käyttöomaisuuden kunnossapidon hallinnasta. Mallin kuvaus on tehty IDEF0-kuvausmenetelmällä prosessikaavion tapaan. Artikkelin on vapaasti ladattavissa Internetistä osoitteesta:

<http://faculty.kfupm.edu.sa/ARE/mohhas/docs/Framework%20model%20for%20asset%20maintenance%20management.pdf>

2. Guidelines for implementing total management planning - asset management-overview. WIC/2002/1088 – Version 1. Endorsed 01/06/2002. Queensland Government. Natural Resources and Mines.

Katsaus antaa kokonaiskuvan vesilaitosten omaisuuden hallinnan prosessista. Kuvauksen pohjalta voidaan kehittää omaisuuden hallinnan toimintoja ja toimintatapoja vesilaitosten tarpeisiin asiakkaiden vaatimukset huomioiden. Kuvaukseen on liitetty myös omaisuuden hallintasuunnitelman laatiminen sekä järjestelmän toteutuksen ja käyttöönoton ohjeistus.

http://www.nrm.qld.gov.au/about/policy/documents/1088/wic_2002_1088.pdf

3. Economic modeling for prioritizing pipe replacement programs (Grablutz, F. & Hanneken, S.)

Artikkeli on Weston Solutions Inc:n markkinointimateriaalia. Mainoksenomaisesta muodostaan huolimatta se kertoo St. Louisin vesiyhtiön putkien uusimissuunnitelman kehitystyöstä varsin seikkaperäisesti. Tuloksena laskennasta saadaan kolme eri strategialvaihtoehtoa verkoston uusintaan. Kehitystyössä menettelytapana käytettyä KANEW-mallia koskettava toinen artikkeli, jossa Weston Solutions on ollut mukana, on referoitu nykytilakartoitusraporttiin. Artikkelin on saatavissa Internetistä osoitteesta:

<http://www.environmental-expert.com/consulting/weston/Grablutz1.PDF>

4. Condition Rating Model for Underground Infrastructure Sustainable Water Mains (Al-Barquawi, H. & Zayed, T. 2006)

Artikkeli kertoo maanalaisten putkien kunnonarviointimenetelmästä, jossa sovelletaan neuroverkkolaskentaa. Laskentamallia opetetaan tietyllä tunnetulla datasarjalla ja tämän jälkeen neuroverkkoa käytetään muiden tuntemattomien putkistojen kunnon arvioinnin tekemiseen. Artikkelin on *ostettavissa* sähköisessä muodossa Internetistä osoitteesta:

<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JPCFEV0000200000200012600001&idtype=cvips&gifs=yes> .

5. Modeling Water Pipe Breaks – Three Case Studies (Pelletier, G., Mailhot, A., Villeneuve, J. 2003. Journal of water resources planning and management)

Artikkelissa käytetään vesijohtojen eliniän arviointiin olemassa olevaa, varsin lyhyeltä aikaväliltä kerättyä vikadataa. Tutkimuksessa on tehty vikamallinnus kolmelle eri kaupungille (asukasluvut 64 000, 93 000 ja 20 000 henkilöä) Kanadan Quebecissä. Artikkelin on *ostettavissa* sähköisessä muodossa Internetistä osoitteesta:

<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JWRMD500012900002000115000001&idtype=cvips&gifs=yes>

6. CSIRO:n www-sivut

CSIRO on ”Australian VTT”, eli kansallinen tutkimuslaitos. CSIRO on tehnyt paljon tutkimusta käyttöomaisuuden hallinnan alalla ja heidän tutkimusprojekteissaan on luotu erilaisia palveluja Asset Managementin ympärille. CSIRO:n vesiasioita koskevat sivut löytyvät osoitteesta: <http://www.cmit.csiro.au/research/urbanwater/>

7. Asset Management: A Handbook for Small Water Systems -- One of the Simple Tools for Effective Performance (STEP) Guide Series (EPA 816-R-03-016, September 2003)

Käytännönläheinen ja yksinkertainen opas esittelee omaisuuden hallinnan peruslähtökohtia sekä tarjoaa lomakepohjia, joita voi hyödyntää omaisuuden hallinnan suunnitelman laatimisessa ja prosessin kehittämisessä. Oppaan on laatinut USA:n ympäristövirasto (US Environmental Protection Agency, US-EPA) eli lomakkeet on laadittu Yhdysvaltain vesilaitosten tarpeeseen ja ne täytyy ensin räätälöidä Suomen vesihuoltoalaksi toimintaan sopivaksi. Opas löytyy:

http://epa.gov/safewater/smallsys/pdfs/guide_smallsystems_asset_mgmnt.pdf

8. **Assessment and renewal of water distribution systems.** Neil S. Grigg. American Water Works Association. Journal. Denver: Feb 2005. Vol. 97, Iss. 2; s. 58 (12 s.) (artikkeli)

Artikkeli kuvaa näkökulmia verkostojen uudistamiseen: verkostojen priorisointi sekä kunnonarviointi ja uudistamisen toteuttaminen ja kuinka ko. asiat liitetään osaksi omaisuuden hallintaa. Artikkeli kuvaa viitekehyksen kunnonarvioinnille ja sitoutuneen pääoman käytön tehostamiselle. Artikkelissa esitetään myös vaihtoehtoisia uudistamisteknologioita ja esimerkkejä, miten alansa johtavat laitokset suunnittelevat ja toteuttavat uudistamistoimenpiteitä. Artikkeli on *ostettavissa* osoitteesta:

<http://www.iwaponline.com/wio/2005/06/wio200506AF91025F.htm>

9. **Water Asset Management Plan.** Carterton District Council. (raportti/suunnitteluopas/ohjeistus)

Raportissa kuvataan Uuden-Seelannin ”National Asset Management Steering Groupin” suositteleman vesihuollon omaisuuden hallinta-suunnitelman sisältö. Oppaan sisältö on hieman samaan tyyliin laadittu kuin esim. laatustandardiohjeistus. Suunnitelman sisältö ennakoii Uuden-Seelannin auditointikomitean (Audit New Zealand) tulevia lakisääteisiä ja kirjanpidollisia vaatimuksia. Opas kuvaa järjestelmää, joka parantaa mm. omaisuusmassan dokumentointia, omaisuusrekisterin ylläpitoa, omaisuuden kunnonarviointia sekä kustannusten tunnistamista ja hallintaa. Suunnitelma/ohjeistus on päivitetty elokuussa 2006 ja tarkistetaan kolmen vuoden välein. Opas löytyy Internetistä osoitteesta:

<http://cartertondc.co.nz/pdfs/Draft-Water-AMP.pdf>

10. **the Water Research Centre:n (WRc UK) www-sivut: Asset Management aihepiiri**

WRc on Isossa-Britanniassa toimiva konsulttitoimisto, joka tekee vesihuollon ja ympäristöalan konsultointia ja tutkimusta. Henkilökuntaa noin 200 ja toimistolla on 75 vuoden kokemus kansallisesta ja kansainvälisestä toiminnasta alalla. WRc:n yhdeksi palveluksi on kuvattu ”Asset Management” ja he ovat kehittäneet myös omaisuuden hallintaan liittyviä ohjelmistoja. WRc:n Asset Managementia koskevat sivut löytyvät:

<http://www.wrcplc.co.uk/default.aspx?item=16>

11. **Approaches to sewer maintenance: a review.** R.A. Fenner. 2000. Urban Water 2 (2000) s. 343–356.

Artikkelissa kuvataan eri maissa kehitettyjä viemäriverkoston kunnossapito- ja saneeraus strategioita. Artikkelin keskeinen viesti on ennakoivan kunnossapidon tarve sekä

siihen perustuva verkoston priorisointi, jotta kunnossapito- ja saneeraustoimenpiteet osataan kohdistaa oikein. Lisäksi artikkelissa kuvataan yleisellä tasolla niitä tietoja, joita viemäriverkostosta tulisi kerätä, jotta kunnossapitoon ja saneeraukseen liittyvälle päätöksenteolle olisi riittävät perusteet. Artikkelin on *ostettavissa* Internetistä osoitteesta:

<http://www.ingentaconnect.com/content/els/14620758/2000/00000002/00000004/art00065;jsessionid=71j7gonqmip38.alice>

12. Dawn of the replacement era. Reinvesting in drinking water infrastructure (AWWA 2001)

AWWA:n raportti kertoo vesijohtoverkoston uusimistarpeesta ja valottaa uudelleeninvestointeihin tarvittavien investointien suuruutta USA:ssa. Raportti on tarkoitettu mitä ilmeisimmin investoinneista päättävälle taholle ja perustelemaan lähitulevaisuudessa ilmeneviä investointitarpeita. Raportti on vapaasti saatavissa Internetistä osoitteesta:

<http://win-water.org/reports/infrastructure.pdf>

