

Kaukolämpöverkon perusparannus- strategia

Jyväskylän Energia Oy

Joona Ala-Porkkunen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015

Energiatekniikan koulutusohjelma
Konetekniikka





Tekijä(t) Ala-Porkkunen, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 21.04.2015
	Sivumäärä 87	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kaukolämpöverkon perusparannusstrategia		
Koulutusohjelma Energiatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Kirsi Niininen, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Energia Oy lämpö- ja jäähdytysverkot		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Jyväskylän Energialle laskenta- ja analysointityökalut kaukolämpöverkon perusparannuksien suunnittelua varten. Työn toisena tavoitteena oli määrittää toimeksiantajan kaukolämpöverkon perusparannustarve ja luoda perusparannuskohdelista. Tavoitteiden pohjalta luotiin toimeksiantajalle pitkäntähtäimen perusparannusstrategia vuosille 2015–2025.</p> <p>Opinnäytetyössä laaditut kaukolämpöverkon laskenta- ja analysointityökalut kehitettiin teorian pohjalta Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Kaukolämpöverkon perusparannustarve määriteltiin korjausvelan ja -vastuun laskennan sekä verkon nykyisen kuntotason pohjalta. Perusparannuskohteet määriteltiin kuntohavaintojen ja PSK 6800 standardin pohjalta kehitetyn kriittisyysanalyysimallin avulla.</p> <p>Työn tuloksena toimeksiantajalle syntyi Excel-laskentataulukot korjausvelan ja korjausvastuun laskemiseen, sekä kaukolämpöjohtojen kriittisyysanalyysiä varten. Perusparannustarpeen euromääräiseksi suuruudeksi saatiin 360 000-620 000 €/a ja uusittavaksi johtopituudeksi 1400–2400 johtometriä/a. Perusparannuslistalle valikoitui 88 kaukolämpökaivoa, joista muodostui 49 perusparannustyökohdetta. Perusparannusstrategiassa todettiin, että vikojen paikallinen korjaaminen on useimmiten kannattavinta. Laajempia perusparannuksia suositeltiin tehtävän muun rakentamisen yhteydessä sekä vaurioherkän johtotyypin vikaantuessa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöverkon perusparannuksien budjetoinnissa sekä pitkän- ja lyhyentähtäimen suunnittelussa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kaukolämpö, perusparannus, kunnossapito, korjausvelka, korjausvastuu, kriittisyysanalyysi		
Muut tiedot Liitteitä ei julkaista internetissä.		



Author(s) Ala-Porkkunen, Joonas	Type of publication Bachelor's thesis	Date 21.04.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 87	Permission for web publication: x
Title of publication The fundamental improvement strategy of district heating network		
Degree programme Degree Programme in Energy technology		
Tutor(s) Kirsi Niininen, Marjukka Nuutinen		
Assigned by Jyväskylän Energia Ltd, heating and cooling networks		
Abstract <p>The Bachelor's thesis was made for Jyväskylän Energia heating and cooling networks. The aim of the thesis was to develop calculation and analysis tools for planning fundamental improvement in the district heating network. The second aim was to determine the necessity for fundamental improvement and to create a list of fundamental improvement work sites. Based on these aims the long-term fundamental improvement strategy for district heating networks was created.</p> <p>The calculation and analysis tools were created using Microsoft Excel. The necessity for fundamental improvement was determined by the condition and the maintenance backlog of the district heating network. The list of the fundamental improvement work sites was based on the condition of the network and critical analysis.</p> <p>As a result of the thesis Jyväskylän Energia got tools for critical analysis and maintenance backlog calculation. The necessity for fundamental improvement was evaluated at 360 000-620 000 € per year, which means that 1400-2400 meters district heating pipeline must be renewed per year. The list of fundamental improvement work sites included 49 targets.</p> <p>According to the fundamental improvement strategy, the best operation in failure case is usually to repair it locally. Larger operations were recommended to be arranged simultaneously with other construction and when a damageable type of pipe fails.</p> <p>The results of the thesis can be exploited for example in budgeting and short- and long-term planning of the fundamental improvements in the district heating network.</p>		
Keywords/tags (subjects) District heating, fundamental improvement, maintenance, critical analysis		
Miscellaneous Attachments will not be published on the Internet.		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
	1.1 Työn tausta	8
	1.2 Työn tavoitteet ja toteutus	8
2	JYVÄSKYLÄN ENERGIA OY.....	10
	2.1 Historia	10
	2.2 Yrityksen liikeidea ja tuotteet.....	10
	2.3 Organisaatorakenne.....	11
3	KAUKOLÄMPÖVERKKO.....	12
	3.1 Kaukolämpöverkon toiminta.....	12
	3.2 Jyväskylän Energian kaukolämpöverkko.....	14
4	KUNNOSSAPITO.....	18
	4.1 Keskeiset termit ja käsitteet.....	18
	4.2 Mitä on kunnossapito ja miksi sitä tarvitaan?.....	19
	4.3 Tuotanto-omaisuuden hallinta.....	20
	4.4 Kunnossapitolajit	22
5	KORJAUSVELKA	24
	5.1 Käsite.....	24
	5.2 Korjausvelan laskenta	25
	5.2.1 Korjausvelan määrittäminen mittaustuloksiin perustuen.....	27
	5.2.2 Korjausvelan määrittäminen teoreettisella mallilla	28
	5.2.3 Korjausvelan määrittäminen hybridimallilla	29
6	KRIITTISYYSANALYYSIT	30
	6.1 Soveltamisala ja keskeiset termit	30
	6.2 Menetelmän kuvaus	31
	6.3 Laskentatavat.....	32
7	KAUKOLÄMPÖVERKON KUNNOSSAPITO JA PERUSPARANTAMINEN.....	34

7.1	Kunnossapidon tavoite.....	34
7.2	Kunnossapitokohteet ja -menetelmät	34
	7.2.1 Johdot.....	35
	7.2.2 Kaivot	36
	7.2.3 Lämmönjakohuoneet.....	37
	7.2.4 Pumppaamot	39
	7.2.5 Kunnossapitolajit ja -menetelmät Jyväskylän Energialla	39
7.3	Kaukolämpöverkon perusparantaminen	40
	7.3.1 Yleistä	40
	7.3.2 Uudistava perusparantaminen	41
	7.3.3 Korvaava perusparantaminen	41
	7.3.4 Ulkopuolisista syistä johtuva perusparantaminen	41
7.4	Perusparannuksen ja kunnossapidon strategiat	42
	7.4.1 Yleistä	42
	7.4.2 Lyhyentähtäyksen perusparannussuunnittelu	42
	7.4.3 Pitkätähtäyksen perusparannussuunnittelu	43
	7.4.4 Yhteenveto	44
8	KAUKOLÄMPÖVERKON KUNTO.....	44
8.1	Energiateollisuuden tunnusluvut.....	44
	8.1.1 Käyttötaloudelliset tunnusluvut	44
	8.1.2 Vauriostatot.....	46
	8.1.3 Keskeytystilastot.....	51
8.2	Benchmarking.....	53
8.3	Kuntohavainnot	55
9	KAUKOLÄMPÖVERKON KORJAUSVELKA JA KORJAUSVASTUU.....	56
9.1	Perusparannustarpeen laskentamallit	56
	9.1.1 Laskentamalli 1	57
	9.1.2 Laskentamalli 2	59
9.2	Laskennan tulokset	61
	9.2.1 Laskentamalli 1	61
	9.2.2 Laskentamalli 2	63

9.2.3 Tulosten läpikäynti ja analysointi	65
10 KRIITTISYYSANALYYSI KAUKOLÄMPÖVERKOLLE	66
10.1 Kriittisyysanalyysimalli kaukolämpöjohdoille.....	66
10.2 Kriittisyyslaskenta kaukolämpöjohdoille.....	70
11 PERUSPARANNUSSTRATEGIA 2015–2025.....	73
11.1 Johdanto	73
11.2 Perusparannustarve	73
11.3 Perusparantamisen laajuus ja perusparannusmenetelmät	75
11.4 Perusparannuskohteet	77
12 YHTEENVETO JA POHDINTA	77
LÄHTEET	81
LIITTEET	83
Kuvio 1: Kaukolämpöverkon johtopituus (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014)	14
Kuvio 2: Kaukolämpöverkon rakennusvuodet (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014) .	15
Kuvio 3: Mpuk kaukolämpöjohto kaivannossa.....	16
Kuvio 4: Kaukolämpöverkon johtotyypit (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014)	16
Kuvio 5: Betonikaivon paljetasaimet, venttiilit ja kiintopiste.....	17
Kuvio 6: Tuotanto-omaisuuden hallinta (Järviö & Lehtiö 2012, 15–16)	20
Kuvio 7: Tuotanto-omaisuuden hoitaminen (Järviö & Lehtiö 2012, 15–16).....	21
Kuvio 8: Kunnossapitolajit (PSK 7501, 2010, 32)	22
Kuvio 9: Kunnossapitolajit (PSK 6201, 2011, 22)	23
Kuvio 10: Korjausvelan laskentatapa (Rantanen 2014, 11).....	26
Kuvio 11: Korjausvelan laskentaperiaate (Rantanen 2014, 12)	26
Kuvio 12: Kadun kuntotasojen viisiportainen asteikko (Rantanen 2014, 17)	27
Kuvio 13: Aistinvaraisen arvioinnin kuntokortti (Rantanen 2014, 18).....	28
Kuvio 14: Teoreettisen mallin kuntokortti (Rantanen 2014, 19).....	29
Kuvio 15: Hybridimalli (Rantanen 2014, 19).....	30
Kuvio 16: Kaukolämpölaitteet lämmönjakohuoneessa	38

Kuvio 17: Jyväskylän Energian verkostovauriot 1993–2013	47
Kuvio 18: Jyväskylän Energian verkostovaurioiden normaalijakauma	47
Kuvio 19: Kaukolämpöjohtojen vikaantuvuus 1982–2013 (Kaukolämmön vauriotilastot 2013, 2014, kuva 1)	48
Kuvio 20: JE:n ja ET:n vaurioiden havaitsemistavat 2013	50
Kuvio 21: Prosentuaaliset tulokset laskentamalli 1	62
Kuvio 22: Euromääräiset tulokset laskentamalli 1.....	62
Kuvio 23: Uusittavat johtopituudet laskentamalli 1	63
Kuvio 24: Korjausvastuu euroissa laskentamalli 2	64
Kuvio 25: Uusittavat johtopituudet laskentamalli 2	64
Kuvio 26: Kaukolämpöjohtojen kriittisyysarvot.....	71
Taulukko 1: Laitetason kriittisyyden tekijät (PSK 6800, 2008, 7)	33
Taulukko 2: Käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013.....	45
Taulukko 3: JE:n ja ET:n vaurioituneet johto-osat 2013	49
Taulukko 4: JE:n ja ET:n keskeytystilastot 2013	52
Taulukko 5: Kaukolämpöverkon tekniset mittarit (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 18.)	54
Taulukko 6: Johtopituudet dimension ja rakennusvuoden mukaan	58
Taulukko 7: Johtotiedot dimension ja johtotyypin mukaan	60
Taulukko 8: Korjausvastuun laskentamalli 2	61
Taulukko 9: Prosentuaaliset tulokset laskentamalli 1	61
Taulukko 10: Kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysi vian vaikutukset tekijät	68
Taulukko 11: Kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysin vikaantumisen todennäköisyyden tekijät	69
Taulukko 12: Perusparannusalueet	72
Kaava 1: Kriittisyysindeksin laskentakaava (PSK 6800, 2008, 7).....	32
Kaava 2: Nykykäyttöarvon laskenta (Keski-ian huomiointi sähköverkon nykykäyttöarvon laskennassa. 2011, 6)	58

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Vuonna 2014 kaukolämmitys oli Suomen selvästi yleisin lämmitysmuoto 46 prosentin markkinaosuudella (Energiavuosi 2014 - Kaukolämpö 2015, 2). Uudisrakentamisessa kaukolämmön markkinaosuus lämmitetystä rakennustilavuudesta oli reilusti yli 50 prosenttia (Mikä kaukolämmössä maksaa? – Laatu ja korkeat verot 2015). Kaukolämpömarkkinoiden kasvusta huolimatta uudisrakennusinvestointien osuus kaukolämpöalan kokonaisinvestoinneista on laskenut, ja samaan aikaan kaukolämpöjärjestelmien keskimääräinen käyttöikä on noussut ja perusparannustoiminnan suhteellinen osuus kokonaisinvestoinneista on kasvanut (Kaukolämmön käsikirja 2006, 356). Kaukolämpöverkon korjaamisen ja perusparantamisen toteuttaminen voidaan jakaa kunnanvalvontaan, huoltotöihin ja perusparantamiseen tai korjaavaan kunnossapitoon, jossa toimenpiteisiin ryhdytään vasta ongelmien ilmetessä (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348).

Kun perusparannustoiminnan suhteellinen osuus kaukolämpöalan kokonaisinvestoinneista on noussut, on perusteltua laatia perusparannus- ja kunnossapitostrategia kaukolämpöjärjestelmien käytettävyyden sekä käyttö- ja kunnossapitokustannuksien optimoimiseksi. Kaukolämpöverkon perusparannus- ja kunnossapitostrategia perustuu joko lyhyen- tai pitkäntähtäimen suunnitteluun (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358).

1.2 Työn tavoitteet ja toteutus

Tämä opinnäytetyö on tehty kehittämistyönä Jyväskylän Energia Oy:lle (JE). Opinnäytetyön aihe syntyi JE:n lämpö- ja jäähdytysverkkojen tarpeesta hallita verkon perusparannustoimintaa entistä paremmin.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää toimeksiantajalle laskenta- ja analysointityökalut verkon perusparannuksien suunnittelua varten. Työn toisena tavoitteena on määrittää toimeksiantajan kaukolämpöverkon perusparannustarve ja luoda perusparannuskohdelista. Perusparannustarpeella tarkoitetaan perusparannustoiminnan laajuutta, jolla pystytään varmistamaan kaukolämpöverkon hyvä kunto myös tulevaisuudessa, sekä hallitsemaan korjausvelkaa ja -vastuuta. Opinnäytetyön tavoitteiden pohjalta toimeksiantajalle luodaan perusparannusstrategia vuosille 2015–2025.

Opinnäytetyössä verkon perusparannuksien suunnittelua varten laaditut laskenta- ja analysointityökalut on kehitetty teorian pohjalta Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Kaukolämpöverkon perusparannustarve on määritelty korjausvelan ja korjausvastuun laskennan sekä nykyisen kuntotason pohjalta. Perusparannustarpeen suuruus esitetään uusittavana kaukolämpöjohtopituutena ja euromääräisenä. Perusparannuskohteet on määritelty kuntohavaintojen ja kehitetyn kriittisyysanalyysimallin avulla.

Kaukolämpöverkko on tässä opinnäytetyössä rajattu käsittämään ainoastaan kaukolämpöjohtoja, sillä ne muodostavat suurimman osan verkon omaisuuseristä ja niiden dokumentointi on ollut kattavinta. Perusparannusstrategia on laadittu pitkälle tähtäimelle yhdistämällä teoriaa ja laskennan tuloksia.

Opinnäytetyön alussa esitellään toimeksiantaja, Jyväskylän Energia Oy. Kolmannessa kappaleessa käsitellään kaukolämpöverkkoa yleisesti ja Jyväskylän Energian näkökulmasta. Kappaleessa neljä ja viisi käsitellään yleisellä tasolla kunnossapitoa ja korjausvelkaa. Kuudennessa kappaleessa käsitellään yhtä kunnossapidon suunnittelun työkalua, kriittisyysanalyysia. Tämän jälkeen kappaleessa seitsemän käsitellään kaukolämpöverkon kunnossapitoa, sen tavoitteita ja eri kohteita sekä erilaisia perusparantamistapoja. Kappaleessa seitsemän esitellään myös perusparantamisen ja kunnossapidon strategiat.

Teoriapohjan jälkeen kappaleessa kahdeksan analysoidaan toimeksiantajan kaukolämpöverkon kuntoa Energiateollisuus ry:n tunnuslukujen, benchmarkingin ja kuntohavaintojen pohjalta. Kappaleessa yhdeksän esitetään kehitetyt kaukolämpöverkon perusparannustarpeen laskentamallit ja laskennan tulokset. Kappaleessa kymmenen esitetään kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysimalli ja kriittisyyslaskennan tulokset toimeksiantajan kaukolämpöjohdoille. Tämän jälkeen esitetään toimeksiantajalle laadittu perusparannusstrategia vuosille 2015–2025. Perusparannusstrategiaan on sisällytetty perusparannustarpeen analysointi sekä perusparantamismenetelmien ja perusparannuskohteiden määrittäminen. Lopuksi kappaleessa kaksitoista esitetään yhteenveto ja pohdintaa opinnäytetyöstä.

2 Jyväskylän Energia Oy

2.1 Historia

Jyväskylän Energian historia voidaan katsoa alkaneeksi vuonna 1902, jolloin perustettiin höyryvoimalla sähköä tuottava Jyväskylän kaupungin Sähkölaitos. Kaukolämmön tuotannon Sähkölaitos aloitti vuonna 1960. Vuonna 1980 Sähkölaitos nimi vaihdettiin Energialaitokseksi ja samalla toiminta muuttui liikelaitokseksi. Lopulta vuonna 1997 Energialaitoksesta tehtiin osakeyhtiö, Jyväskylän Energia Oy. Yhtiö osti Jyväskylän kaupungilta vesiliiketoiminnan vuonna 2006. (JE-yhtiöt 2014)

2.2 Yrityksen liikeidea ja tuotteet

Jyväskylän Energian liikeidea on tuottaa, myydä ja jaella sähköä, lämpöä sekä vettä omistamissaan verkoissa. Yhtiö pyrkii luomaan edellytykset sen asiakkaiden hyvinvoinnille tarjoamalla älykkäitä ratkaisuja energian ja veden tuotantoon, jakeluun ja käyttöön. (Strategia 2014)

Jyväskylän Energialla on tarjota monia erilaisia sähkön, lämmön ja veden tuotteita. Sähköä asiakas voi ostaa JE:lta sähkön tuotantotavan mukaan. Vaihtoehtoina on va-

littavana paikallisesti tuotettu vihreä Puusähkö, Porin ja Raahen tuulipuistoissa tuotettu Tuulisähkö, NordPool-sähköpörssin mukaan hinnoiteltu Pörssisähkö sekä monilla tuotantotavoilla tuotettu Normisähkö. (Jyväskylän Energian sähkötuotteet 2015). Pientaloille on sähkön siirtotariffiksi valittavana yleissähköä normaalilla tai yö/päivämittauksella sekä vuodenajasta riippuvaa kausisähköä. Yleissähkö 5 on sähkön siirtotariffi kerros- ja rivitalojen asunnoille, joissa samassa liittymässä on vähintään viisi huoneistoa. JE myy sähköä koko Suomen alueelle. (Sähkötuotteet 2014)

Kaukolämpötuotteita Jyväskylän Energialla on kolme: Normilämpö, Vihreä lämpö ja Säätölämpö. Normilämpö on JE:n yhteistuotantolaitoksissa tuotettua luotettavaa ja tasalaatuista kaukolämpöä. Maakunnallisilla puupolttoaineilla Rauhalahden ja Keljonlahden voimalaitoksilla tuotettu Vihreä lämpö on ympäristöystävällinen vaihtoehto. Säätölämpö taas on tarkoitettu ominaiskulutuksiltaan alhaisiin omakotitaloihin, kuten passiivitaloihin. Kaukolämpöä JE myy yrityksille ja kotitalouksille, jotka sijaitsevat JE:n kaukolämpöverkon alueella. (Lämpötuotteet 2014)

Jyväskylän Energia vastaa vesihuollosta Jyväskylän kaupungin alueella. Sen vastuulla on valmistaa puhdasta talousvettä ja jakaa se asiakkaille. Lisäksi JE vastaa poislähtevien jätevesien siirrosta ja puhdistuksesta sekä hulevesien johtamisesta luontoon. (Vesihuolto 2014)

2.3 Organisaatiorakenne

Jyväskylän Energia Oy on Jyväskylän kaupungin 100 prosenttisesti omistama energia-yhtiö. Yhtiötä johtaa toimitusjohtaja Tuomo Kantola johtoryhmineen. JE on rakenteeltaan konserniyhtiö. Konsernin emoyhtiö on Jyväskylän Energia Oy, ja sen tytäryhtiöitä ovat: JE-Siirto Oy (100 %), Jyväskylän Energiantuotanto Oy (100 %) ja Jyväskylän Voima Oy (81,4 %). (JE-yhtiöt 2014)

Emoyhtiö on organisaatorakenteeltaan matriisiorganisaatio, joka rakentuu eri toimintojen osa-alueista. Toiminnon eri alueet ovat asiakkuudet, henkilöstö, resurssit, talous, tuotanto ja verkot. (Toiminnot 2014)

JE-Siirto Oy omistaa Jyväskylän kantakaupungin sähköverkon. Sen tehtävä on siirtää voimalaitoksissa tuotettu sähkö verkkoalueellaan oleville asiakkaille. JE-Siirto vastaa sähköverkon suunnittelusta, rakentamisesta, ylläpidosta ja käytöstä, asiakkaiden liittämisestä verkkoon sekä sähkön mittauksesta. (Tytäryhtiöt 2014)

Jyväskylän Energiantuotanto Oy tuottaa sähköä, höyryä ja kaukolämpöä Rauhalahden ja Savelan voimalaitoksissa ja kymmenessä aluelämpökeskuksessa. Kaukolämmön yhtiö toimittaa Jyväskylän Energia Oy:n, Elenia Oy:n ja Muuramen lämmön verkkoihin. Tuotettu sähkö käytetään pääasiassa Jyväskylässä ja Keski-Suomen maakunnassa. Jyväskylän Energiatuotanto Oy:n sähköntuotannon kapasiteetti on yhteensä 115 MW, kaukolämmön 570 MW ja teollisuushöyryn 110 MW. (Tytäryhtiöt 2014)

Jyväskylän Voima Oy on perustettu vuonna 2006 Keljonlahden uuden biovoimalaitoksen toimintaa varten. Yhteistuotantoajossa voimalaitoksen sähköteho on 130 MW ja kaukolämpöteho 240 MW. Keljonlahden voimalaitosta voidaan ajaa myös lauhdeajolla, jolloin sen sähköteho nousee 200 MW asti. JE on Jyväskylän Voima Oy:n suurin omistaja 81,4 % osuudella. (Tytäryhtiöt 2014)

3 Kaukolämpöverkko

3.1 Kaukolämpöverkon toiminta

Kaukolämmityksellä tarkoitetaan rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan lämmön keskitettyä tuotantoa ja julkista jakelua asiakkaina oleville kiinteistöille. Kaukolämpöjärjestelmä koostuu lämmöntuotantolaitoksista, kaukolämpöverkosta ja asiakaslaitteista. Suomessa on käytössä monenlaisia kaukolämmön tuotantotekniikoita, mutta kaikkien niiden jakelu perustuu kaukolämpöjohdoissa virtaavaan kuu-

maan veteen. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 25, 43). Suurin osa Suomen kaukolämmöstä - noin 73 % - tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona CHP- laitoksissa (combined heat and power). Yhteistuotantolaitoksilla lämpö tuotetaan pääasiassa kiinteillä polttoaineilla ja maakaasulla. Loput 27 % kaukolämmöstä tuotetaan erillistuotantona lämpölaitoksilla yleensä öljyllä, maakaasulla tai kiinteillä polttoaineilla. Laitoksilla tuotettu lämpöenergia siirretään kaukolämmön menoveteen lämmönsiirtimen avulla ja menovesi pumpataan kaukolämpöverkkoon jakelua varten. (Energia- vuosi 2013 - Kaukolämpö 2014, 10, 14–15.)

Kaukolämpöverkko koostuu kaukolämpöjohdoista, kaukolämpökaivoista, välipumppaamoista ja käyttöpaikoista. Tuotantolaitoksilta lähtevä kuuma vesi johdetaan kaukolämpöjohdon meno-putken välityksellä asiakkaan lämmönjakokeskukseen, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa rakennuksen ja käyttöveden lämmitystä varten. Jäähdyntynyt kaukolämpövesi palaa takaisin tuotantolaitokselle paluu-putkea pitkin. Tuotantolaitoksilta lähtevän menoveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilasta riippuen 65–120 °C välillä. Kaukolämmön jakelussa käytetty vesi on värjätty elintarvikeväreillä vihreäksi, jotta mahdolliset putkivuodot löytyvät helposti. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 43–44, 336.)

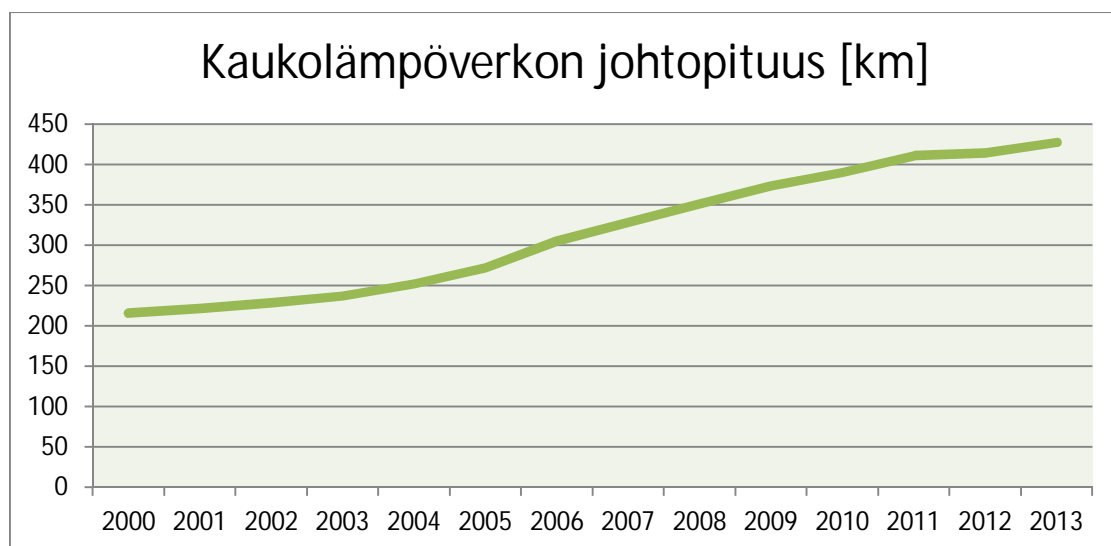
Kaukolämpöverkossa olevien välipumppaamojen avulla varmistetaan verkon riittävä painetaso ja virtaus. Jakeluverkon painetaso on pysyttävä riittävän korkealla, jotta vesi ei pääse höyrystymään. Riittävä lämmönsaanti jokaiselle asiakkaalle taataan pitämällä meno- ja paluuputken paine-ero yli 0,6 baarissa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 338–340.)

Kaukolämpöverkkoon on rakennettu kaivoja verkon käyttöä varten. Kaukolämpökaivoissa olevien sulkuventtiilien avulla voidaan sulkea ja erotella jakelualueita. Lisäksi kaivoihin on sijoitettu venttiileitä putkien tyhjennystä, täyttöä ja ilman poistamista varten. Myös erilaisia säätö- ja mittalaitteita on sijoitettu kaivoihin, pumppaamoihin ja lämmönjakokeskuksiin. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 146–147.)

3.2 Jyväskylän Energian kaukolämpöverkko

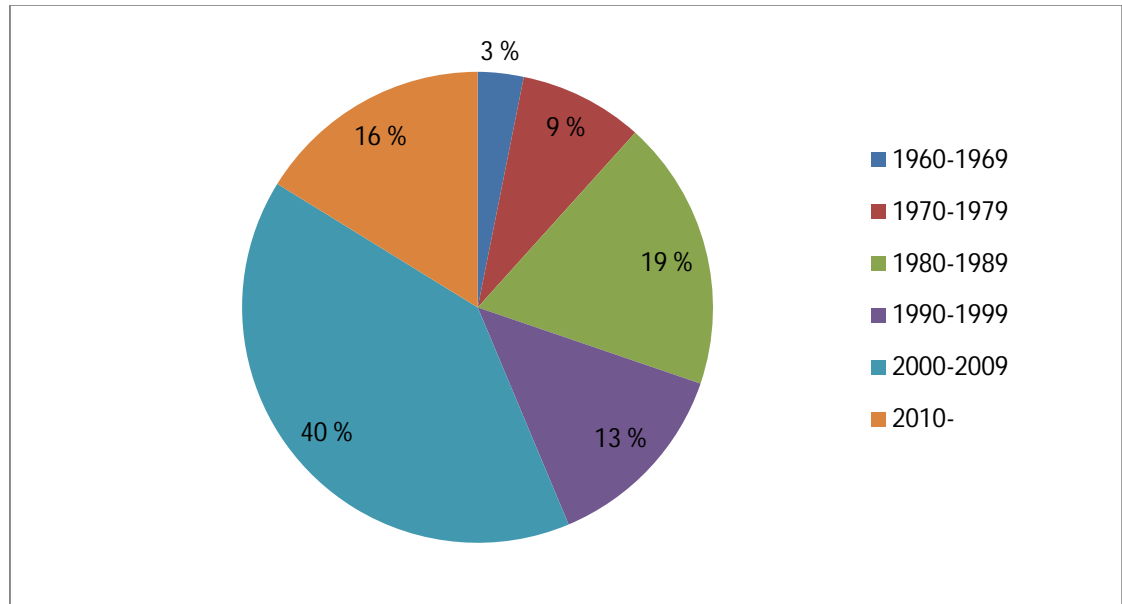
Jyväskylässä suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona Keljonlahden ja Rauhalahden lämpövoimalaitoksilla. Yhteistuotantoa tukevat 14 erillistä lämpölaitosta ja biokaasulaitos. (Lämmöntuotanto 2014.). Vuonna 2013 Jyväskylän Energia tuotti kaukolämpöä yli 1134 GWh, pääpolttoaineena olivat puu ja turve (Liite 1: Energiateollisuuden kaukolämpötilasto 2013).

Jyväskylän Energian omistuksessa on Jyväskylän pääkaukolämpöverkko sekä Korpiolahden ja Tikkakosken puolustusvoimien erillisverkot. Lisäksi Jyväskylän kaukolämpöverkon kautta toimitetaan lämpöä Elenian ja Muuramen lämmön kaukolämpöverkoihin. Vuonna 2013 JE:n omistaman kaukolämpöverkon johtopituus oli 428 km ja vesitilavuus ilman kaukolämpöakkuja 23 650 m³. (Liite 2: Energiateollisuuden käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013). Verkon johtopituus on kasvanut 2000-luvulla keskimäärin 16 km/a. Kuvioista 1 nähdään, että kaukolämpöverkon uudisrakentaminen on ollut erityisen suurta vuosien 2005–2008 välisenä aikana. (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014.)



Kuvio 1: Kaukolämpöverkon johtopituus (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014)

Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon vanhimmat putkiosuudet ovat peräisin vuodelta 1960. Kokonaisuudessaan verkko on kuitenkin varsin uutta, sillä yli 56 % kaukolämpöverkon johtopituudesta on rakennettu 2000- luvulla, kuvio 2. (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014)



Kuvio 2: Kaukolämpöverkon rakennusvuodet (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014)

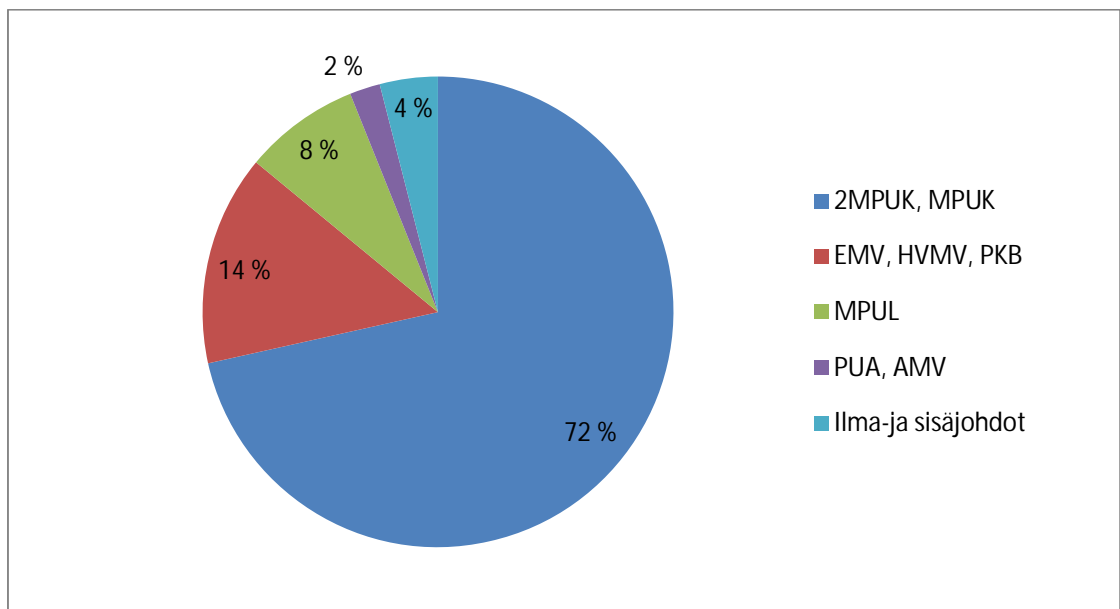
Jyväskylän Energian kaukolämpöjohtojen putkikoot vaihtelevat DN 20 ja DN 800 välillä. Johtopituudeltaan eniten on DN 65 putkea. JE:n johtotyypit voidaan jakaa viiteen kategoriaan:

- kiinnivaahdotettuihin johtoihin (2Mpuk, Mpuk)
- betonikanavarakenteisiin (Emv, Hvmv, Pkb)
- vapaasti liikkuviin muovisuojakuorirakenteisiin (Mpu)
- asbestisementtisuojaputkirakenteisiin (Pua, Amv)
- muihin rakenteisiin (ilma- ja sisäjohdot). (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014.).

Kuviossa 3 on kiinnivaahdotettu Mpuk kaukolämpöjohto kaivannossa. Kuviossa 4 on esitetty JE:n johtotyyppien prosenttiosuudet johtopituudesta.



Kuvio 3: Mpuk kaukolämpöjohto kaivannossa



Kuvio 4: Kaukolämpöverkon johtotyypit (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014)

Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa on betonikaivoja 1700 kappaletta ja maaventtiilikaivoja 1200 kappaletta. Välipumppaamoita on kaukolämpöverkossa 7 kap-

paletta ja pumppukaivoja 8 kappaletta. Kaukolämmön asiakkaita eli käyttöpaikkoja Jyväskylässä on yli 4500 ja kaukolämmitetyissä taloissa asuu yli 94 000 asukasta. (Liite 1: Energiateollisuuden kaukolämpötilasto 2013).

Kaukolämpöverkkoon sisältyy myös monia muita komponentteja. Kaukolämpöjohtoihin ja kaivoihin on rakennettu paljetasaimia sekä ohjaus- ja kiintopisteitä johtojen lämpöliikkeitä varten. Lisäksi kaukolämpökaivot ja käyttöpaikat sisältävät sulku- ja säätöventtiileitä sekä mittalaitteita. Kaivoissa on myös venttiileitä kaukolämpöjohtojen ilman poistamista ja tyhjennystä varten. Venttiilit ovat pääasiassa käsikäyttöisiä, mutta myös etäkäytettäviä venttiileitä on rakennettu tärkeille johto-osuuksille. (ArcGis paikkatietojärjestelmä 2014.). Kuviossa 5 näkyy erään Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon betonikaivon paljetasaimet, laipalliset venttiilit ja kiintopiste.



Kuvio 5: Betonikaivon paljetasaimet, venttiilit ja kiintopiste

4 Kunnossapito

4.1 Keskeiset termit ja käsitteet

Kunnossapidon perustermit ja kunnossapitokohteiden ominaisuudet:

- Käyttö: *"Tuotannon toteuttamisen välittömät toimenpiteet, kuten prosessin-ohjaus ja koneiden käyttö. Käyttöön voi kuulua myös tuotteen, prosessin, tms. vaatimat kytkentöjen muutokset, vaihtoyksiköiden, komponenttien ja työkalujen vaihdot."*
- Käyttövarmuus: *"Kyky toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla."*
- Toimintavarmuus: *"Kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminto määrättyissä olosuhteissa vaaditun ajanjakson."*
- Käytettävyyys: *"Kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla."*
- Kunnossapidettävyyys: *"Kohteen kyky olla pidettävissä tilassa tai palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon määritellyissä käyttöolosuhteissa, jos kunnossapito suoritetaan määritellyissä olosuhteissa käyttäen vaadittuja menetelmiä ja resursseja."*
- Luoksepäästävyys: *"Kohteeseen suunniteltu ominaisuus, joka kuvaa helppoutta lähestyä ja päästä kohteeseen kunnossapitotehtävien suorittamiseksi."*
- Elinjakso: *"Ajanjakso, joka alkaa kun järjestelmä- tai laitetarve määritellään ja päättyy, kun ao. järjestelmä tai laite romutetaan tai siirtyy toiseen käyttöön. Elinjaksoa käytetään erityisesti taloudellisissa laskelmissa."* (PSK 6201, 2011, 3-11.)

Vikaantumiset ja tapahtumat

- Vika: *"Tila, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa täydellisesti pois lukien ehkäisevän kunnossapidon, jonkin muun suunnitellun toimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteesta johtuvan toimintakyvyttömyyden takia."*

- Häiriö: " aiheuttaa tuotannon menetyksiä ja välittömän korjaustarpeen."
- Vikaantuminen: "*Tapahtuma, jonka seurauksena kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminto päättyy.*"
- Vikamuoto: "*Tapa, jolla kohteen kykenemättömyys suorittaa vaadittu toiminta ilmenee.*"
- Vikaantumissy: "*Olosuhteet tai virheellinen toiminta määrittelyn, suunnittelun, valmistuksen, asennuksen, käytön tai kunnossapidon aikana, mitkä ovat johtaneet vikaantumiseen.*" (PSK 6201, 2011, 15.)

4.2 Mitä on kunnossapito ja miksi sitä tarvitaan?

Kehittyneisiin yhteiskuntiin on syntynyt erilaisia prosesseja, jotka tuottavat hyödykkeitä. Näiden prosessien suorittamiseen yritys tarvitsee koneita, laitteita, kiinteistöjä ja maa-alueita eli tuotanto-omaisuutta. Termodynamiikan toisen lain mukaan nämä prosessit muuttuvat jatkuvasti ja muutos tapahtuu aina huonompaan suuntaan; tuotanto-omaisuus kuluu ja rikkoontuu. Kunnossapidolla pyritään estämään, hallitsemaan ja korjaamaan näitä prosessien muutoksia. (Järviö & Lehtiö 2012, 13–17.)

Kunnossapidolle on kehitetty erilaisia kansainvälisiä ja kansallisia standardeja. Euroopan Unionin alueella voimassa oleva SFS-EN 13306:2010-standardi määrittelee kunnossapidon seuraavasti: "Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joilla on tarkoitus ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon."

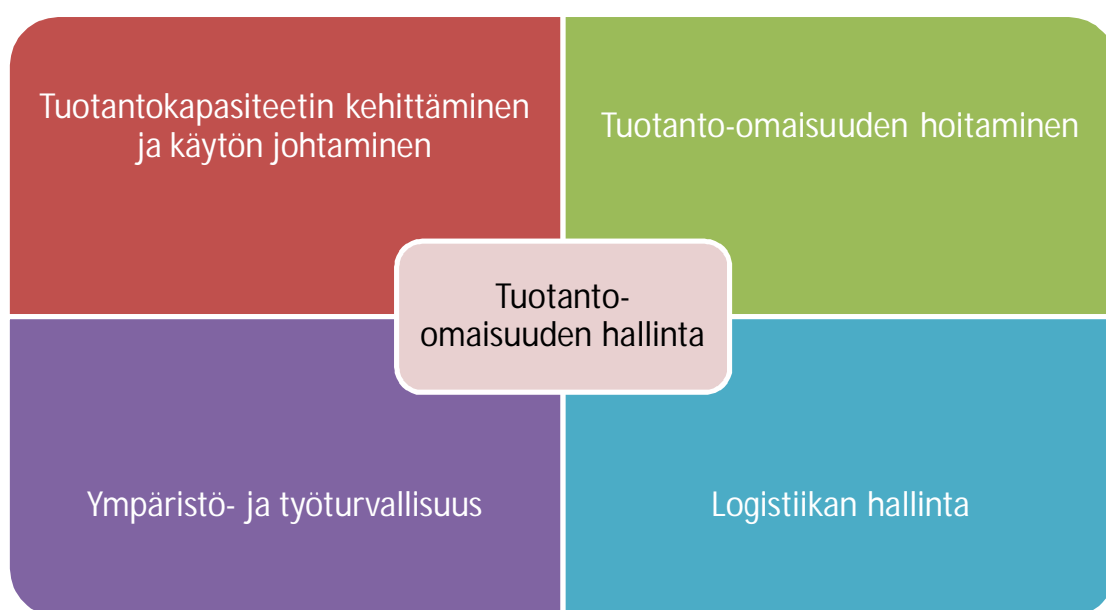
Suomalaisessa teollisuudessa laajasti käytössä olevassa PSK 6201:2011 standardissa kunnossapito käsite määritellään näin: "Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana." (Järviö & Lehtiö 2012, 17–18.)

Nämä standardit määrittelevät kunnossapidon pitkälti korjaavaksi toimenpiteeksi, joilla palautetaan kone toimintakuntoon. Tämä malli on koettu nykyaikaisessa yhteiskunnassa liian suppeaksi ja tehottomaksi, joten uusia malleja on kehitteillä. Uusimman ajattelun mukaan kunnossapito nähdään osana tuotanto-omaisuuden hallintaa (Asset Management). (Järviö & Lehtiö 2012, 14.)

4.3 Tuotanto-omaisuuden hallinta

Tuotanto-omaisuutta saadakseen on yritysten investoitava. Tuotanto-omaisuuden tehokas käyttö vaikuttaa tuotantomääriin sekä myyntiin ja sitä kautta yrityksen tulokseen. Näin käytön tehokkuus vaikuttaa suoraan tuotanto-omaisuuden investointien tuottoon. Tuotanto-omaisuuden hallinnan avulla pyritään maksimoimaan investointien tuotto. (Järviö & Lehtiö 2012, 13.)

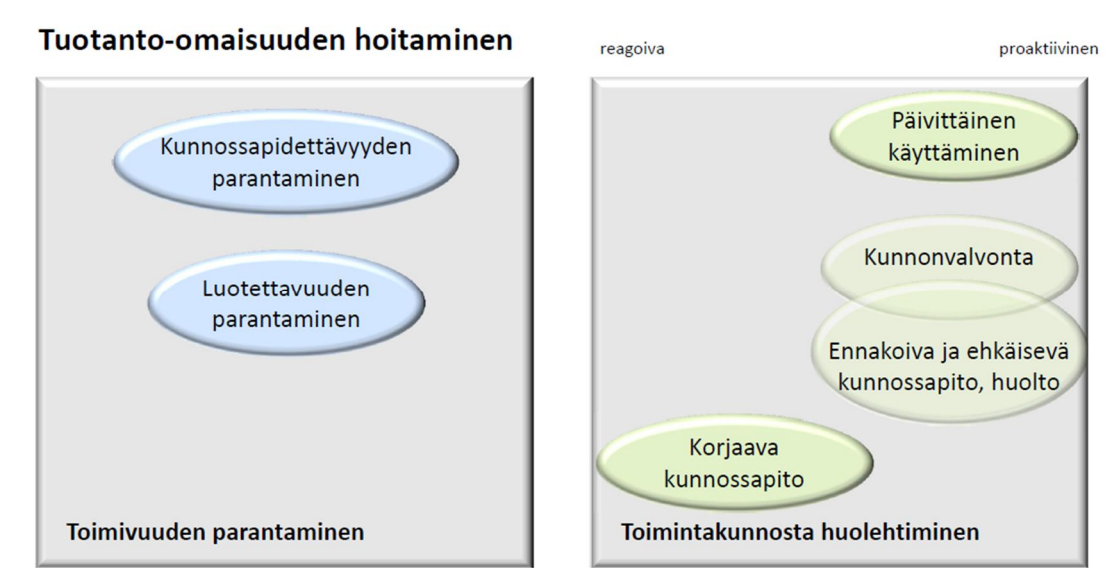
Tuotanto-omaisuuden hallinta on lyömässä itseään läpi teollisuudessa. Sille ei ole vielä kehitetty standardia, mutta sen tavoitteet ovat tiedossa. Kuviossa 6 on esitetty teollisuuden näkökulmasta tuotanto-omaisuuden hallinnan neljä päätavoitetta. (Järviö & Lehtiö 2012, 14.)



Kuvio 6: Tuotanto-omaisuuden hallinta (Järviö & Lehtiö 2012, 15–16)

Tuotantokapasiteetin kehittämisen ja käytön johtamisen avulla pyritään mitoittamaan laitteet oikein ja käyttämään niitä optimaalisesti. Panostamalla ympäristö- ja työturvallisuuteen halutaan vastata kiristyneisiin viranomaismääräyksiin ja ostajien ympäristötietoisuuteen. Logistiikan hallinnalla vaikutetaan suoraan tehokkuusarvoihin, kun turhat viiveet esimerkiksi varaosien toimituksesta poistuvat. Hyvin hallitun logistiikan ansiosta pystytään pitämään myös organisaation koko tehokkaana. (Järviö & Lehtiö 2012, 15–16.)

Tuotanto-omaisuuden hoitamisessa yhdistyvät oikea käyttötapa, vikaantumisen ehkäisy ja hallinta, huolto sekä tarvittava kunnossapito tai korjaaminen. Tuotanto-omaisuuden hoitamisen malli jakaantuu kahteen suureen osa-alueeseen: toimivuuden parantamiseen ja toimintakunnosta huolehtimiseen, kuvio 7. (Järviö & Lehtiö 2012, 15.)



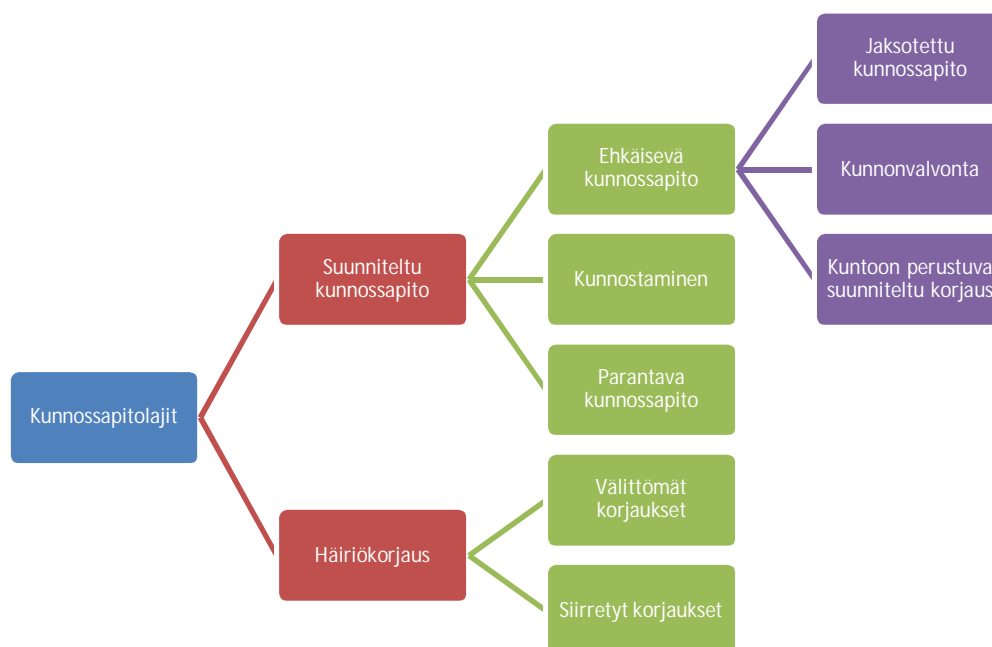
Kuvio 7: Tuotanto-omaisuuden hoitaminen (Järviö & Lehtiö 2012, 15–16)

Toimivuuden parantamisella tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla muutetaan tuotanto-omaisuuden ominaisuuksia paremmaksi muuttamatta kohteen toimintaa (PSK 6201, 2011, 3). Toimintakunnosta huolehtimisella tarkoitetaan sen sijaan tuotanto-omaisuuden elinjakson aikaisia toimenpiteitä, joilla taataan hyvä käytettävyyttä. (Järviö & Lehtiö 2012, 15.)

Toimintakunnosta huolehtimisen kentässä korjaava kunnossapito on erillään muista toimenpiteistä, sillä se on reagoivaa toimintaa. Muut taas ovat proaktiivisia eli ennakoitavia toimintoja. Proaktiivisia toimintoja voi suunnitella ja aikatauluttaa, kun taas korjaava kunnossapito on usein tehtävä välittömästi. Tuotanto-omaisuuden hallinnan ansiosta kunnossapito ei ole enää ainoastaan kunnossapito-osaston vastuulla, vaan siihen osallistuu myös koneen käyttäjä. (Järviö & Lehtiö 2012, 15–16.)

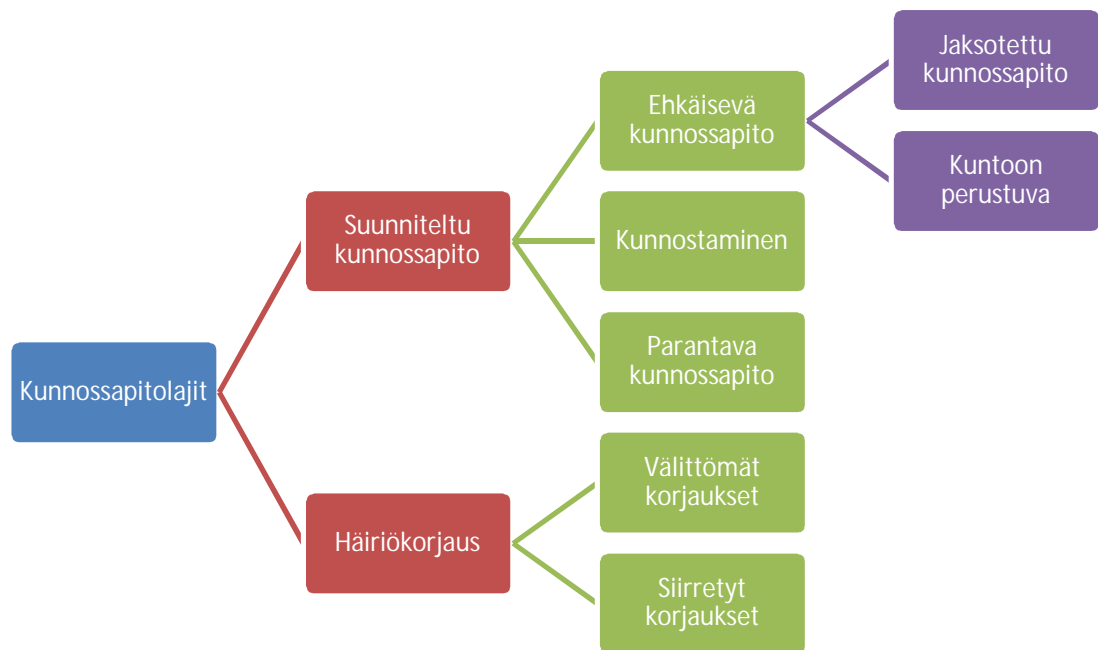
4.4 Kunnossapitolajit

Tuotanto-omaisuuden hoitamisen toimenpiteet on jaettu eri lajeiksi tehokasta johtamista varten. Niiden avulla seurataan esimerkiksi kunnossapidon tehokkuutta vertailemalla erilaisten työlajien kustannuksia. Näitä lajeja kutsutaan kunnossapitolajeiksi. Eri standardeilla on omat jakotavat kunnossapitolajeille. Suomessa laajasti käytössä oleva PSK 7501 standardi jakaa kunnossapitolajit sen mukaan, ovatko ne suunniteltuja vai aiheuttavatko ne tuotantohäiriön, kuvio 8 (PSK 7501, 2010, 32).



Kuvio 8: Kunnossapitolajit (PSK 7501, 2010, 32)

PSK 6201 standardissa kunnossapitolajien jakoperuste on muuten sama kuin PSK 7501 standardissa, mutta siinä on yhdistetty kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus yhdeksi lajiksi (kuntoon perustuva kunnossapito), kuvio 9 (PSK 6201, 2011, 22).



Kuvio 9: Kunnossapitolajit (PSK 6201, 2011, 22)

Ehkäisevän kunnossapidon PSK 6201 standardi määrittelee seuraavasti: "Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen." (PSK 6201, 2011, 22). Ehkäisevän kunnossapidon töitä ovat:

- tarkastaminen
- kuntoon perustuva kunnossapito (kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus)
- määräystenmukaisuuden toteaminen
- käynninvalvonta
- vikaantumistietojen analysointi. (Järviö & Lehtiö 2012, 50.)

Parantava kunnossapito luokitellaan PSK 6201 standardissa näin: "Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa." (PSK 6201, 2011, 23). Parantavan kunnossapidon toimet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä kohdetta muutetaan vaihtamalla siihen uudempia osia tai komponentteja, mutta ei paranneta varsinaisesti suorituskykyä. Toisessa pääryhmässä parannetaan kohteen luotettavuutta erilaisten uudelleensuunnittelujen ja korjauksien avulla. Kolmannen pääryhmän muodostavat modernisaatiot, joilla kohteen suorituskykyä muutetaan. (Järviö & Lehtiö 2012, 51.)

PSK 6201 standardi määrittelee korjaavan kunnossapidon seuraavasti: "Korjaavaa kunnossapitoa on häiriökorjaus, kunnostaminen ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus." (PSK 6201, 2011, 23). Korjaavassa kunnossapidossa vikaantuvaksi todettu osa tai komponentti palautetaan käyttökuntoon korjaamalla. Korjaava kunnossapito voi olla suunniteltua (kunnostusta) tai suunnittelematonta (häiriökorjausta). Korjaavan kunnossapitoon sisältyviä töitä ovat:

- vian määrittäminen
- vian tunnistaminen
- vian paikallistaminen
- korjaus
- toimintakunnon palauttaminen. (Järviö & Lehtiö 2012, 51.)

5 Korjausvelka

5.1 Käsite

Korjausvelka kuvaa, kuinka paljon infrastruktuurin rakenteisiin on jäänyt investoimatta rahaa menneinä vuosina, jotta ne olisivat edelleen käytön kannalta hyvässä kunnossa. Luku on laskennallinen. Korjausvelka määritetään esimerkiksi pitoajan kautta lasketuksi jäännösarvoksi siltä osin kuin se alittaa 70–80 prosenttia jälleenhankintahinnasta. (Vehmaskoski, Kananen, Okko, Vesterinen & Nojonen 2011, 4.)

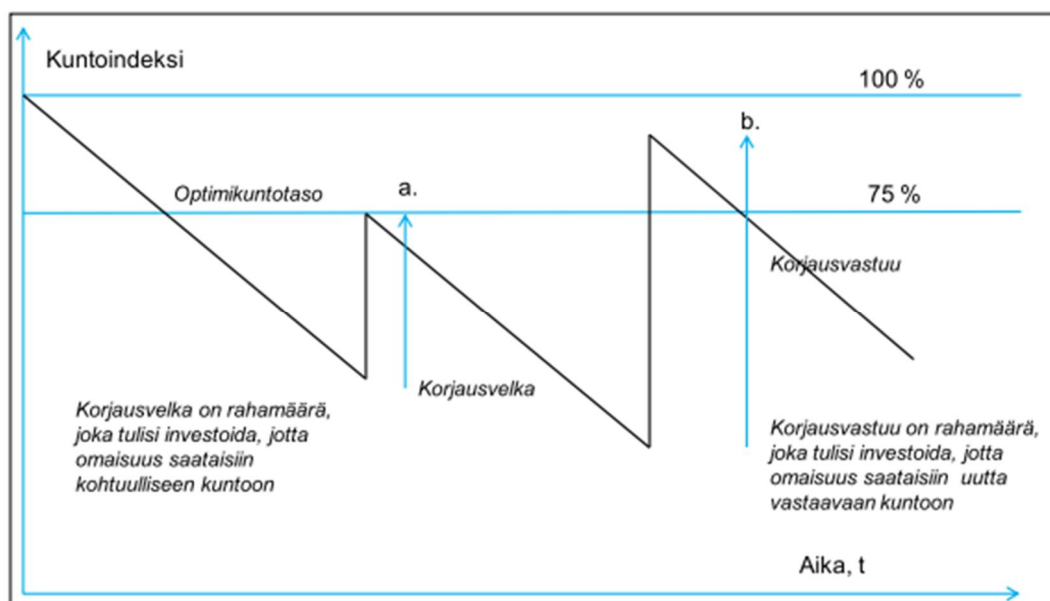
Korjausvelka on käsitteenä melko uusi, mutta hyvin käyttökelpoinen. Korjausvelka käsitteen avulla voidaan kuvata nykytilannetta ja esittää kunnossapitotarvetta. Lisäksi sen avulla voidaan arvioida käytössä olevia toimintatapoja ja niiden tehokkuutta sekä ennustaa tulevaa kehitystä. Korjausvelan määrä on tärkeä tekijä pidemmän ja lyhyemmän ajan toimintasuunnitelmissa sekä perusteluviestinnässä. (Kesälä & Koivula 2012, 3.)

Suomessa käsitettä lanseeraamassa ollut Roti:n (Rakennetun omaisuuden tila) työryhmä näkee korjausvelan hyvänä keinona herättää keskustelua, sillä moni ei tunne omaisuutensa määrää eikä varsinkaan sen kuntoa tai kehitystarpeita. (Vehmaskoski, Kananen, Okko, Vesterinen & Nojonen 2011, 5.)

5.2 Korjausvelan laskenta

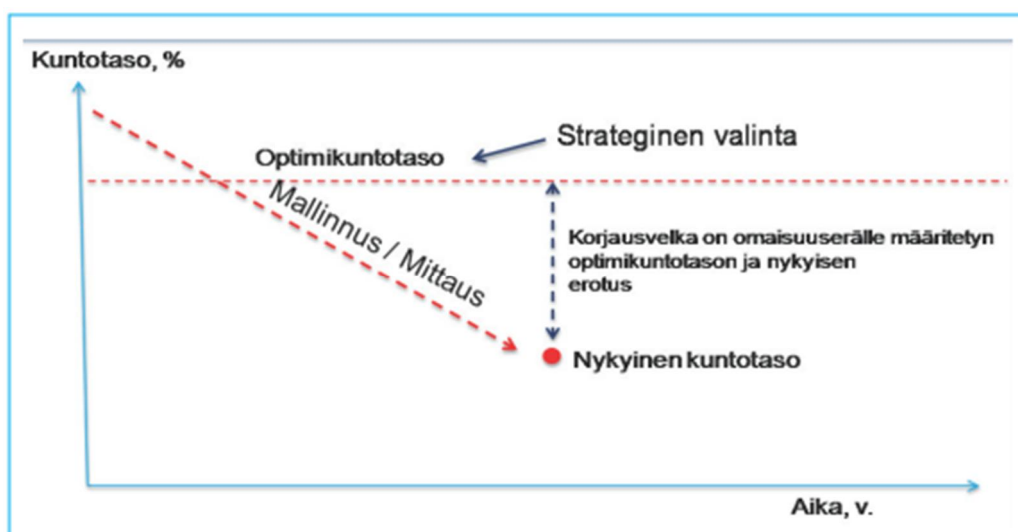
Korjausvelan suuruus määritetään laskemalla. Korjausvelan laskentaan on olemassa monia erilaisia laskentatapoja, joista useimmat perustuvat rakenteiden ikään. (Vehmaskoski, Kananen, Okko, Vesterinen & Nojonen 2011, 4.)

Suomessa laskentatapoja korjausvelalle on ollut kehittämässä muun muassa Kuntaliitto. Kuntaliiton "Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittämishankkeessa" korjausvelka määritellään omaisuuserän nykyisen kuntotason ja sille valitun optimikuntotason erotukseksi. Määrittämishankkeen lopputuloksena syntyneessä mallissa, kuvio 10, omaisuuden kunto laskee ajan kuluessa, ellei sille tehdä korjaustoimenpiteitä. Kuviossa 8, a kohta kuvaa korjausvelkaa ja b kohta kuvaa korjausvastuuta, eli sitä summaa joka joudutaan investoimaan omaisuuserän saattamiseksi uutta vastaavaan kuntoon. (Rantanen 2014, 11.)



Kuvio 10: Korjausvelan laskentatapa (Rantanen 2014, 11)

Optimikuntotasolla tarkoitetaan sitä rajaa, mihin saakka omaisuuserän kuntotaso saa laskea ennen kuin sille alkaa muodostua korjausvelkaa. Optimikuntotaso ilmoitetaan prosenttilukuna, joka ilmaisee, kuinka paljon omaisuuserän jäännösarvo saa olla. Esimerkiksi 75 % taso omaisuuserälle tarkoittaa sitä, että omaisuuserän kuntotaso saa laskea uudenveroisen tasosta 25 % ennen kuin sille kertyy korjausvelkaa. Optimikuntotaso on yhtiön strateginen valinta. Kun taas nykyinen kuntotaso määritetään erilaisten mittausten tai teoreettisten mallien avulla, kuvio 11. (Rantanen 2014, 12.)



Kuvio 11: Korjausvelan laskentaperiaate (Rantanen 2014, 12)

Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittämissä hankkeissa esiteltiin kolme korjausvelan määrittäystapaa. Korjausvelka voidaan määrittää joko mittaustuloksiin perustuen, teoreettisen mallin avulla tai niiden yhdistelmällä eli hybridimallilla. Oli määrittämistapa mikä tahansa edellä mainituista, niin määrittäisperiaate säilyy kuitenkin samana. Korjausvelka on nykyisen kuntotason ja omaisuuserälle asetetun optimikuntotason erotus prosenttisyksikköinä. Korjausvelan euromääräinen suuruus saadaan laskemalla kohteen uudishinta ja kertomalla se nykyisen kuntotason ja optimikuntotason erotuksella. (Rantanen 2014, 17.)

Korjausvelan määrittämistä varten tarvitaan seuraavat kolme lukua: kohteelle asetettu optimikuntotaso, kohteen uudishinta ja kohteen nykyinen kuntotaso. Kohteen nykyinen kuntotaso on näistä kolmesta hankalin määriteltävä. (Rantanen 2014, 17.)

5.2.1 Korjausvelan määrittäminen mittaustuloksiin perustuen

Korjausvelan määrää voidaan arvioida määrittämällä kohteen nykyinen kuntotaso erilaisten mittausten avulla. Tehtyjen mittausten perusteella kohteet jaetaan viiteen kuntotasoon. Kuviossa 12 on esimerkki kadun kuntotasojasta. (Rantanen 2014, 17.)

Kuntoluokka	Sanallinen kuvaus	Kunnostustarve
1 Erittäin hyvä	Katu on uusi, juuri päällystetty tai muutoin erittäin hyvässä kunnossa.	Ei kunnostustarvetta
2 Hyvä	Katu on normaalisti kulunut, mutta hyvässä kunnossa suhteessa ylläpitoluokkaan ja liikennemäärään.	Ei kunnostustarvetta
3 Tyydyttävä	Kadulla on pientä epätasaisuutta ja pieniä vaurioita, mutta kunto on tyydyttävä. Huonokuntoisten katujaksojen korjaus perusteltua.	Paikoittaista kunnostustarvetta
4 Huono	Kadun pintakunto on ylläpitoluokka ja liikennemäärä huomioon ottaen korjausta edellyttävässä kunnossa. Kunnostustoimet kohdistetaan pääasiallisesti tämän kuntoluokan kaduille.	Kunnostus tai peruskorjaus tarpeellinen
5 Erittäin huono	Katu on erittäin epätasainen ja vaurioitunut ja suhteessa ylläpitoluokkaan ja liikennemäärään ala-arvoisessa kunnossa. Katu tulee korjata pikaisesti.	Kunnostustarve välttämätön, edellyttää suunnitelman laatimista

Kuvio 12: Kadun kuntotasojen viisiportainen asteikko (Rantanen 2014, 17)

Kohteen kuntotason määrittämisen jälkeen arvioidaan kohteen nykyinen tila kuntokortin avulla, kuvio 13. Esimerkiksi, jos kohteen kuntotaso on ollut luokassa kolme, katsotaan kohteen jäännösarvo kuntokortin tyydyttävä sarakkeen kohdalta. Kuntokortin avulla nähdään, että tyydyttävässä kunnossa olevan kohteen oletettu jäännösarvo on 46 %. Mikäli optimikuntotasoksi olisi asetettu 75 %, niin kohteen korjausvelka olisi 29 %. (Rantanen 2014, 18.)

AISTINVARAINEN HAVAINNOINTI					
Omaisuserän osaryhmä	Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
Alustaosat	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Perustaosat	25 %	24 %	20 %	18 %	16 %
Runko-osat	25 %	23 %	19 %	13 %	6 %
Pintaosat	20 %	10 %	2 %	1 %	0 %
Tekniikkaosat	15 %	8 %	5 %	2 %	0 %
Varusteosat	15 %	5 %	0 %	0 %	0 %
Nykyinen kuntotaso	100 %	70 %	46 %	34 %	22 %

AISTINVARAINEN HAVAINNOINTI					
Omaisuserän osaryhmä	Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
Alustaosat	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Perustaosat	25 %	24 %	20 %	18 %	16 %
Runko-osat	25 %	23 %	19 %	13 %	6 %
Pintaosat	20 %	10 %	2 %	1 %	0 %
Tekniikkaosat	15 %	8 %	5 %	2 %	0 %
Varusteosat	15 %	5 %	0 %	0 %	0 %
Nykyinen kuntotaso		54 %			

Kuvio 13: Aistinvaraisen arvioinnin kuntokortti (Rantanen 2014, 18)

Mikäli arvioita halutaan tarkentaa, niin kohteen jokaisen osaryhmän kuntotaso voidaan arvioida erikseen. Esimerkiksi kuvion 13 alaosan laskelmassa on huomioitu kaksi viimeistä osaryhmää, joilla on korkeampi kuntotaso kuin neljällä ensimmäisellä osaryhmällä. Tässä laskelmassa jäännösarvojen yhteissumma on 54 % eli korjausvelka olisi 21 %, mikäli optimikuntotaso olisi edelleen 75 %. (Rantanen 2014, 18.)

5.2.2 Korjausvelan määrittäminen teoreettisella mallilla

Teoreettisen mallin avulla on mahdollista määrittää korjausvelka kustannustehokkaasti suurille massoille, sillä tarkasteltavasta kohteesta ei tarvita mittaustietoja. Mitäustuloksien puuttuminen aiheuttaa kuitenkin haasteita riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi. Teoreettisen mallin tarkkuuden parantaminen ei ole helppoa, koska kuntotason muuttumiseen vaikuttavat useat tekijät. (Rantanen 2014, 18.)

Tarkasteltavan kohteen kuntotaso määritetään teoreettisessa mallissa kohteen iän perusteella, eikä mittaustuloksien avulla. Kuntotason määrittelyn jälkeen kohteen jäännösarvo arvioidaan kuntokortista samalla periaatteella kuin mittaustuloksiin perustuvassa mallissa, kuvio 14. (Rantanen 2014, 18.)

TEOREETTINEN MALLINNUS					
Omaisuserän osaryhmä	Uusi	10 v	20 v	30 v	50 v
Alustaosat	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Perustaosat	25 %	24 %	20 %	18 %	16 %
Runko-osat	25 %	23 %	19 %	13 %	6 %
Pintaosat	20 %	10 %	2 %	1 %	0 %
Tekniikkaosat	15 %	8 %	5 %	2 %	0 %
Varusteosat	15 %	5 %	0 %	0 %	0 %
Nykyinen kuntotaso	100 %	70 %	46 %	34 %	22 %

TEOREETTINEN MALLINNUS					
Omaisuserän osaryhmä	Uusi	10 v	20 v	30 v	50 v
Alustaosat	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Perustaosat	25 %	24 %	20 %	18 %	16 %
Runko-osat	25 %	23 %	19 %	13 %	6 %
Pintaosat	20 %	10 %	2 %	1 %	0 %
Tekniikkaosat	15 %	8 %	5 %	2 %	0 %
Varusteosat	15 %	5 %	0 %	0 %	0 %
Nykyinen kuntotaso		54 %			

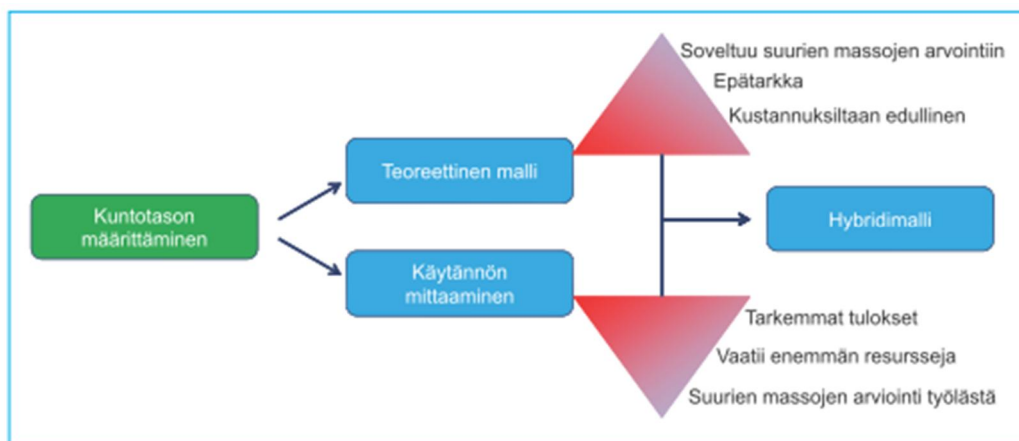
Kuvio 14: Teoreettisen mallin kuntokortti (Rantanen 2014, 19)

Samalla tavalla kuin mittaustuloksiin perustuvassa mallissa, voidaan myös teoreettisessa mallissa arvioida kohteen osaryhmät yhdessä tai erikseen. Osaryhmittäin tapahtuva arviointi edellyttää kuitenkin tarkkaa tietoa kohteelle tehdyistä uudistuksista ja kunnostuksista. Teoreettisessa mallinnuksessa tarkkuutta voidaan parantaa tekemällä erillisiä malleja erityyppisille kohteille. Esimerkiksi kivipäälysteelle, asfalttipäälysteelle ja sorapäälysteelle olisi hyvä laatia omat kuntomallit. (Rantanen 2014, 19.)

5.2.3 Korjausvelan määrittäminen hybridimallilla

Pelkästään teoreettista mallia hyödyntämällä kohteen kuntotasoarvio voi poiketa hyvinkin paljon todellisesta tilanteesta. Mittaustuloksiin perustuvalla mallilla saadaan tarkempi kuva kohteen kuntotasosta, mutta suurien massojen arvioiminen mittauksilla on työlästä ja vaatii paljon resursseja. Ongelman ratkaisemiseksi ja kuntotasoarvioiden tarkentamiseksi on kehitetty ns. hybridimalli, jossa yhdistetään teoreettinen ja mittaustuloksiin perustuvat mallit. Hybridimallin avulla pyritään saavuttamaan teoreettisen mallinnuksen tehokkuus ja käytännön mittausten tarkkuus. Kuviossa 15

on esitelty teoreettisen mallinnuksen ja käytännön mittausten heikkoudet ja vahvuudet. (Rantanen 2014, 19–20.)



Kuvio 15: Hybridimalli (Rantanen 2014, 19)

Hybridimallissa ensimmäinen vaihe on valita omaisuuserät, joille korjausvelan mahdollinen määrä halutaan arvioida. Valinnan jälkeen omaisuuserät pyritään jakamaan mahdollisimman homogeenisiin ryhmiin, kuitenkin niin, että ryhmien määrä pysyisi kohtuullisena. Ryhmien muodostamisen jälkeen kustakin ryhmästä valitaan yksi tai useampi kohde, joiden kuntotaso arvioidaan mittauksin ja/tai aistihavainnoin. Ryhmän loppujen kohteiden oletetaan olevan lähes vastaavassa kunnossa, jolloin on mahdollista arvioida koko ryhmän korjausvelan määrä. (Rantanen 2014, 20.)

6 Kriittisyysanalyysit

6.1 Soveltamisala ja keskeiset termit

Kriittisyysanalyysi on kunnossapidon suunnittelun työkalu, jonka avulla pyritään löytämään prosessin heikoin lenkki. Kriittisyysanalyseistä on olemassa erilaisia malleja ja standardeja. Suomessa on laajasti käytetty PSK 6800 eli Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa standardia. Tämä standardi määrittää menettelytavan teollisuuden eri kohteiden kriittisyyden arviointiin. Standardissa kriittisyyttä arvioidaan taloudellisten vaikutusten, henkilöturvallisuuden ja ympäristövaikutusten näkökulmista. PSK 6800 standardissa määritetään kriittisyysanalyysin keskeiset termit seuraavasti:

- Kunnossapitosuunnitelma: *"Määrittelee yksityiskohtaiset toimenpiteet, joilla kunnossapitostrategia toteutetaan."*
- Kunnossapitostrategia: *"Määrittelee kunnossapidon valinnat, joilla saavutetaan asetetut liiketoiminnan tavoitteet."*
- Kriittisyys: *"Ominaisuus, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Kohde on kriittinen, jos siihen liittyvä riski (henkilöiden loukkaantumiseen, merkittäviin aineellisiin vahinkoihin ja tuotannon menetykseen tai muihin ei hyväksyttäviin seurauksiin liittyvä riski) ei ole hyväksyttävällä tasolla."*
- Riskianalyysi: *"Riskienhallinnan osa, joka auttaa riskien tunnistamisessa ja vahinkotapahtumien ennakoinnissa. Sillä selvitetään riskien kohteet, luonteet ja niiden toteutumisen todennäköisyydet seurauksineen."* (PSK 6800, 2008, 1-3.)

6.2 Menetelmän kuvaus

PSK 6800 standardin mukaista kriittisyysanalyysiä käytetään ennen kaikkea kunnossapitosuunnitelman lähtötiedon tuottamiseen. Lisäksi sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi hankintavaiheen tukena määriteltäessä hankittavan kriittisen laitteen ominaisuuksia ja laatutasoa. (PSK 6800, 2008, 3.)

Standardissa kohteen kriittisyyttä kuvataan kriittisyysindeksillä (K). Kriittisyysindeksi määritellään vian vaikutusten vakavuuden vikaantumisen todennäköisyyden tulona.

Vian vaikutukset jaetaan seuraaviin kriittisyyden osaindeksiin:

- turvallisuusvaikutuksiin K_s
- ympäristövaikutuksiin K_e
- tuotannon menetyskustannuksiin K_p
- lopputuotteen laatukustannuksiin K_q
- vikaantumisen korjauskustannuksiin K_r . (PSK 6800, 2008, 3.)

Vian todennäköisyys (p) määritetään keskimääräisen vikaantumisajan (MTTF) tai keskimääräisen vikaantumisvälin (MTBT) perusteella. Vikaantumisajalla tarkoitetaan kohteen käyntiaika käyttöönotosta vikaantumiseen tai kunnostamisesta/korjauksesta seuraavaan vikaantumiseen. Vikaväli on kahden peräkkäisen vian välinen ajanjakso. (PSK 6201, 2011, 10.)

6.3 Laskentatavat

PSK 6800 standardissa laitteiden kriittisyysindeksi K lasketaan kaavalla 1.

$$K = p \times (W_s \times M_s + W_e \times M_e + W_p \times M_p + W_q \times M_q + W_r \times M_r)$$

Kaava 1: Kriittisyysindeksin laskentakaava (PSK 6800, 2008, 7)

Kaavassa 1 vian todennäköisyyttä kuvaavalla muuttujalla p kerrotaan kriittisyyden osaindeksien summa. Kriittisyyden osaindeksit (K_s , K_e , K_p , K_q , K_r) saadaan vaikutuksen painoarvon W ja tarkasteltavan kohteen kertoimen M tulona. Kaavan 1 muuttujien määrittämistä varten standardiin on kehitetty Laitetason kriittisyyden tekijät taulukko (1), johon on sijoitettu kaikki muuttujat selityksineen ja ohjeellisineen arvoineen. Muuttujien määrittämisen jälkeen laitteet sijoitetaan standardin liitteenä tulleeseen laskentataulukkoon, joka laskee laitteille kriittisyysindeksin.

Taulukko 1: Laitetason kriittisyyden tekijät (PSK 6800, 2008, 7)

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$		$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle
			$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)
			$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)
			$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)
	Laatukustannus $W_q = 30$		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)
			$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.
			$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)
			$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)
	Korjaus- tai seurauskustannukset $W_r = 20$		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)
			$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)
			$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.
			$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)
$M_r = 2$		Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)		
$M_r = 3$		Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)		
	$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)		

¹⁾ Lukuarvot ovat ohjeellisia

PSK 6800 standardin kriittisyysindeksin laskennan vaiheet:

1. Määritetään tarkastelun laajuus.
2. Määritetään standardin mukaan tuotannon menetyksen painoarvo W_p
3. Arvioidaan sopivatko taulukossa 1 annetut muut painoarvot sovellettavalle teollisuuden toimialalle. Tarvittaessa annettuja painoarvoja muutetaan.
4. Listataan standardin liitteenä olevaan taulukkolaskentaohjelmaan tarkasteltavat laitteet.
5. Valitaan tarkasteltaville laitteille taulukosta 1 käytettävät kertoimet.
6. Ohjelma laskee laitteiden kriittisyysindeksin (K) ja sen osaindeksit (K_s , K_e , K_p , K_q ja K_r) käyttäen hyväksi annettuja parametreja.

7. Kriittisyysluokittelu tehdään lajittelemalla laitteet kriittisyysindeksin K mukaiseen järjestykseen. (PSK 6800, 2008, 3.)

7 Kaukolämpöverkon kunnossapito ja perusparantaminen

7.1 Kunnossapidon tavoite

Kaukolämpöliiketoiminta on luonteeltaan hyvin pääomavaltaista, sillä sekä tuotanto-että jakeluinvestoinnit ovat suuria. Tästä syystä verkko-omaisuudelta vaaditaan pitkää elinkaarta. Kunnossapitotoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi investointien pitkään elinkaareen. Kaukolämpöverkon kunnossapidolla on tarkoituksena:

- vikaantuvuuden estäminen
- käytettävyyden parantaminen
- häviöiden pienentäminen
- käyttökustannusten alentaminen
- laatujärjestelmän vaatimusten täyttäminen
- ympäristöohjelman täyttäminen
- laitteiston iän pidentäminen
- ongelmakohtien kartoittaminen
- perusparannettavien kunnossapitokohteiden selvittäminen
- vikojen ja vaurioiden korjaaminen (Kaukolämmön käsikirja 2006, 347.)

7.2 Kunnossapitokohteet ja -menetelmät

Kaukolämpöverkon kunnossapito on melko haastavaa kahdesta syystä. Ensinnäkin suurin osa verkosta on maan alla, joten sen luoksepäästävyys on heikkoa. Toiseksi verkot ovat hyvin laajoja ja erilaisia komponentteja, kuten venttiileitä, on suuri määrä. Jotta kunnossapitotöitä voidaan tehdä, on verkkotietojen oltava hyvin dokumentoituja. Johtotiedoista on ilmevä johtojen tarkka sijainti, rakennusaika, rakennetyyppi,

mahdollinen urakoitsija ja johdon varusteet. Kaivuluetteloista ja kaivokorteista on ilmentävä kaivon sijainti, putkistokuva, sekä rakenne ja varusteet, kuten pumpput, tyhjennys- ja ilmausventtiilit. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348.)

Suunnitellut kunnossapitotyöt kohdistuvat kaukolämpöverkossa yleensä avojohtoihin, kaivoihin ja lämmönjakohuoneisiin. Lisäksi suunniteltua kunnossapitoa tehdään tuotantolaitoksille ja pumppaamoille. Korjaavaa kunnossapitoa tehdään kaukolämpöverkon kaikille verkon komponenteille tarpeen vaatiessa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348.)

Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa kunnossapidettäviä kohteita on noin 7500 kappaletta. Kunnossapitoa tehdään betonikaivoille (1700 kpl), maaventtiilikaivoille (1200 kpl), lämmönjakohuoneille (4500 kpl), pumppaamoille (7 kpl) sekä silta- ja ilmajohdoille. Nämä kohteet ovat valikoituneet pitkälti niiden tärkeyden ja luoksepäästävyuden perusteella. (Hakonen 2014)

7.2.1 Johdot

Kaukolämpöverkon johtojen suunniteltua kunnossapitoa tehdään pääasiassa vain avojohdoille, sillä maanalaisten johtojen osalta se on vaikeaa. Avojohtojen suunniteltu kunnossapito käsittää tarkastustoiminnan, jossa tarkistetaan silmämääräisesti avojohdon suojapäällysteen, eristysten sekä tuki- ja kannatinrakenteiden kunto. Tukirakenteiden pinnoitekorjaukset ovat yleisin avojohtojen huoltokohde. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348.)

Maanalaisten johtojen suunniteltu kunnossapito on pääasiassa kaivojen ennakkohuoltoa ja kunnossapitoa. Toinen yleinen kunnossapidonmenetelmä on verkon tunnuslukujen, erityisesti lisäveden, seuranta. Lisäksi maanalaisten johtojen kunnonvalvontaa voidaan tehdä lämpökamerakuvauksilla. Harvinaisempia tapoja Suomessa ovat betonikanavajohtojen videokuvaukset ja kiinnivaahdotettujen johtojen sähköisen kosteudenvälvontajärjestelmän käyttö. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348–349.)

7.2.2 Kaivot

Kaukolämpökaivojen tulisi olla aina siinä kunnossa, että niihin voi mennä suorittamaan normaaleja käyttötoimenpiteitä. Kaivojen suunniteltu kunnossapito jaetaan kahteen pääryhmään: kaivohuoltoon ja pumppaukseen. Kaivohuoltojen yhteydessä tehdään vain pieniä korjauksia ja suuremmat korjaustarpeet kirjataan erikseen hoidettavaksi. Kaivohuolto menetelmiin ja huollon määrään vaikuttavat muun muassa kaivon tyyppi, ympäristöolosuhteet ja kaivon merkitys lämmönjakelussa. Betonikaivoille tyypillisiä huolto- ja tarkastustoimenpiteitä ovat:

- valurautakannen kiinnityksen ja päällysteen kulumisen tarkastus
- välikannen puhdistus, tiivisteiden tarkastus ja salpojen voitelu
- ilmanvaihtoputken tarkastus
- kaivon puhdistus
- betonirakenteiden silmämääräinen tarkastus
- putkiston puhdistus, eristeiden tarkastus ja suojaus tippuvalta vedeltä
- sulkulaitteiden, ilmanpoistojen ja tyhjennysten tarkastus
- teräsrakenteiden puhdistus ja suojaus
- muiden laitetarkastusten suorittaminen
- toimenpiteiden kirjaaminen. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 349–350.)

Nykyisille maaventtiilikaivoille ei tarvitse tehdä pumppausta ollenkaan, sillä niihin tullut vesi pääsee imeytymään maahan. Lisäksi maaventtiilikaivoissa huolto- ja tarkastustoimenpiteitä tehdään vain venttiileille ja kaivon kansistolle. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 349.)

Kaivojen huolto kannattaa suorittaa lämmityskauden ulkopuolella, koska tällöin kaivot eivät ole niin kuumia ja haitat käytölle ovat vähäisempiä. Kaivojen huolto- ja pumppausaikataulu määritetään kaivoluokituksen perusteella. Kaivoluokitus perustuu kaivojen kosteudenvälvontaan, jossa selvitetään vuotovesien määrä ja kertymisnopeus. Kaivot luokitellaan kosteuden perusteella esimerkiksi seuraavalla tavalla:

1. Harvemmin kuin kerran vuodessa tarkastettavat kaivot
 - kaivot, joihin tulee vettä erittäin vähän ja harvoin
 - viemäröidyt
2. Kerran vuodessa tai useammin tarkastettavat kaivot
 - kaivot joihin tulee vettä rankkasateella ja keväällä
 - tyhjennyspumppulla varustetut kaivot
3. Kerran kuukaudessa tyhjennettävät kaivot
 - kaivot joihin kertyy vettä jatkuvasti
 - pohjaveden tai meriveden pinta liian korkealla
 - näissä tapauksissa veden kertymisen syy pitää aina selvittää ja poistaa
 - korjauksen tai viemäröinnin ollessa mahdoton on kaivoon asennettava erillinen tyhjennyspumppu. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 350.)

Jyväskylän Energialla kaivot on jaettu neljään luokkaan. Ensimmäisen luokan kaivot ovat niin sanottuja katastrofikaivoja, joihin kertyy jatkuvasti vettä. Toisen luokan kaivot ovat kaivoja, joihin saattaa kertyä vettä ja joissa on kosteuden- tai vedenpinnanhälytin. Kolmannen luokan kaivot ovat kuivia kaivoja. Neljännen luokan kaivoissa on kauko-ohjattavia laitteita tai pumppuja. (Pynnönen 2008, 22.)

7.2.3 Lämmönjakohuoneet

Kaukolämmityksen asiakaslaitteiden käyttöönoton yhteydessä asiakkaalle toimitetaan useita teknisiä dokumentteja laitteidensa kunnonvalvontaa varten. Näitä dokumentteja ovat rakennuksen kaukolämpösuunnitelmat, asennusvalvontapöytäkirja, vityspöytäkirja ja valmistumispöytäkirja. Lisäksi asiakkaalle toimitetaan lämmönjakokeskuksen laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet sekä sähkö- ja säätökaaviot. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 347.)

Lämmönjakohuoneessa kunnonvalvonnan kohteena ovat sekä asiakaslaitteet että lämmönmyyjän laitteistot. Asiakkaan tulisi tarkastaa laitteiden toimintakunto kuukausittain. Vuosittain tarkastettavia laitteita ovat lämmönsiirtimet, säätölaitteet,

venttiilit, paisuntajärjestelmä, varolaitteet, pumput, putkisto, eristykset, mittaristot, ilmanpoistot ja tyhjennykset. Lämmöntoimittajan laitteista kerran vuodessa tarkastetaan pääsulkuventtiilit, energiamittari, lianerotin sekä virtauksenrajoitin. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348.)

Asiakslaitteiden kunnossapito ei kuulu lämmönmyyjälle, mutta silti useat kaukolämpörytykset tekevät lämmönsiirtimien tiiveystarkastuksia vuotojen löytämiseksi. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348.). Jyväskylän Energian lämmönjakohuoneentarkistuksessa tarkastetaan lämmönmyyjän putkistot, kannakkeet, sulkuventtiilit, eristeet, mittarit sekä ensiöpuolen paine-ero ja jäähtymä. Asiakkaan laitteista tarkistetaan putkistot, kannakkeet, sulkuventtiilit, eristeet, säätölaitteet ja lämmönsiirtimet. (Pynnönen 2008, 20–21.). Kuviossa 16 näkyy lämmönjakohuoneen kaukolämpölaitteet. Asiakslaitteet ovat kuvan keskellä ja lämmöntoimittajan laitteet ovat vasemalla seinällä.



Kuvio 16: Kaukolämpölaitteet lämmönjakohuoneessa

7.2.4 Pumppaamot

Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapidossa keskitytään yleisesti ennakoivaan kunnossapitoon. Dynaamisille laitteille, kuten pumpuille ja moottoreille, on tärkeintä tehdä säännöllistä voiteluhuoltoa. Voiteluhuolto on tehtävä aina laitetoimittajan ohjeiden mukaisesti. Pumppaamon laitteiden toimintakyvyn ja paloturvallisuuden kannalta on tärkeää huolehtia puhallinpyörien, moottoreiden jäähdytysrivojen, lianerottimien ja ilmavaihtokoneiden puhdistushuollosta. Myös laitostilojen yleinen siivous on osa säännöllistä huoltotoimintaa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 351–352.)

Huoltotöiden lisäksi pumppaamoiden ennakoivaa kunnossapitoa on laitteiden kunnonvalvonta. Kunnonvalvonta sisältää erilaisia mittauksia, tarkastuksia ja koestuksia. Pumppaamoille voidaan suorittaa muun muassa termodynaamista kunnonvalvontaa, ainetta rikkomattomia testejä (NDT-testaus), pyörievien koneiden dynamiikan mittauksia ja lämpötilamittauksia. Termodynaamisella kunnonvalvonnalla tarkoitetaan koneiden ja laitteiden tehon, virtausten, lämpötilojen, paineiden, äänien ja värinän seuranta valvomosta käsin ja pumppaamokäyntien yhteydessä. Pumppaamoilla yleisimmin käytetyt NDT-testimenetelmät (Nondestructive testing) ovat hitsisaumojen tarkastus röntgenkuvauksen tai ultraäänien avulla. Pyörievien koneiden dynamiikan mittauksiin käytetään iskusysäysmittausta, värinämittausta ja stroboskoopimittauksia. Iskusysäysmittauksessa arvioidaan pyörievässä laakerissa mekaanisista iskuista syntyvien iskupuskujen suuruus. Värinämittauksessa taas mitataan kokonaistärinän tasoa tai analysoidaan värinäsignaalin spektriä. Stroboskoopilla tarkastellaan pyörimisnopeutta ja tasapainotusta. Pumppaamoiden lämpötilamittausten avulla pyritään löytää vikaantuneet laitteet. Lämpötilamittaukset tehdään laitteesta riippuen pintalämpötilamittauksena, infrapunamittauksena sekä lämpökamerakuvauksena. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 353–355.)

7.2.5 Kunnossapitolajit ja -menetelmät Jyväskylän Energialla

Jyväskylän Energialla tehdään sekä suunniteltua että korjaavaa kunnossapitoa. Kunnossapitotoiminta on luokiteltu PSK 6201:2011 standardin mukaan, kuvio 7. (Hakonen 2014)

Suunnitellun kunnossapidon töitä ovat verkon tunnuslukujen seuranta, lämpökamerakuvaukset, kriittisyyslaskenta, värinämittaukset, voitelu- ja puhdistushuolto sekä tarkastus- ja huoltokierrokset. Tarkastus- ja huoltokierroksia tehdään kaivoille, lämmönjakohuoneille sekä pumppaamoille. Jyväskylän Energialla 1. ja 4. luokan kaivot tarkastetaan normaalisti kahdesti vuodessa. 2. luokan kaivot kerran vuodessa ja 3. luokan kaivot kerran kolmessa vuodessa. Runsaiden sulamisvesien tai muiden sääolosuhteiden takia tarkastuksia voidaan tehdä normaalia useammin. Isojen kiinteistöjen lämmönjakohuoneita tarkastetaan Jyväskylässä kerran viidessä vuodessa. Pumppaamot tarkastetaan kerran viikossa. (Hakonen 2014)

Jyväskylän Energialla korjaavaa kunnossapitoa tehdään kaikille kunnossapitokohteille. Kaivoissa korjataan kastuneita eristyksiä, tiivistetään betonirakenteita sekä uusitaan venttiileitä ja putkia. Lämmönjakohuoneissa uusitaan lämmönmyyjän laitteita tarpeen vaatiessa. (Hakonen 2014)

7.3 Kaukolämpöverkon perusparantaminen

7.3.1 Yleistä

Perusparannustyöllä tarkoitetaan olemassa olevan kaukolämpöverkon uusimista tai korvaamista. Perusparannustoiminnan selkeimpänä erona korjaustoimintaan pidetään perusparannustoiminnan suunnitelmallisuutta, ei niinkään työkohteen kokoa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 356.)

Kaukolämpöverkon korjaamisen ja perusparantamisen toteuttamisessa on olemassa kaksi eri koulukuntaa. Toinen koulukunta kannattaa kunnonvalvonnan ja huoltotoiminnan lisäksi perusparantamista. Toinen taas on korjaavan kunnossapidon kannalla, jossa toimenpiteisiin ryhdytään vasta vian ilmetessä. Kaukolämpöalalla perusparannustoiminta jaetaan uudistavaan perusparantamiseen, korvaavaan perusparantamiseen ja ulkopuolisista syistä johtuvaan perusparantamiseen. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348, 356.)

7.3.2 Uudistava perusparantaminen

Uudistavalla perusparannuksella tarkoitetaan perusparannustöitä, jossa huonokuntoinen kaukolämpöverkon osa tai yksittäinen johto-osuus uusitaan samaa käyttötarkoitusta palvelevalla osalla tai johdolla. Näissä perusparannuskohteissa usein haasteita aiheuttavat uuden ja vanhan järjestelmän yhteensovittamiseen. Uudistavaa perusparantamista suunniteltaessa on huomioitavia myös uudet kaukolämpöasiakkaat, uusi johtoreitti, johdon mitoituksen tarkistaminen ja uudet tuotantoinnovaatiot. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 356.)

7.3.3 Korvaava perusparantaminen

Korvaavalla perusparantamisella tarkoitetaan sellaista perusparannuskohdetta, jossa uuden järjestelmän rakentamisella korvataan jokin vanha verkko-osuus. Korvaavaa perusparannusta tehtäessä vanha johto jää joko paikalleen, tai se poistetaan muuttuvan rakentamisympäristön tieltä. Uusi johto rakennetaan siten, että se palvelee uuden rakentamisympäristön luomia käyttötarkoituksia, joten se ei välttämättä sijaitse maantieteellisesti lähelläkään vanhaa johtoa. Korvaava perusparantaminen luokitellaan kaukolämpöyritysten tilastoinnissa usein uudisrakennuskohteeksi, vaikka korvattavan verkko-osuuden perusparannustarpeella on ratkaiseva merkitys rakennushankkeen toteuttamisen kannalta. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 356.)

7.3.4 Ulkopuolisista syistä johtuva perusparantaminen

Ulkopuolisista syistä johtuva perusparantamisen syy on riippumaton kaukolämpötoiminnasta. Yleisimpiä tällaisia syitä ovat kaavamuutokset, tietyöt ja rakennushankkeet, jotka edellyttävät maanalaisten yhdyskuntarakenteiden muuttamista. Myös ulkopuolisista syistä johtuvan perusparantamisen rakennus- ja asennuskustannukset kirjataan kaukolämpöyrityksen kirjanpidossa usein uudisrakennuskohteisiin. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 356.)

7.4 Perusparannuksen ja kunnossapidon strategiat

7.4.1 Yleistä

Perusparannus- ja kunnossapitostrategia on verkko-omaisuuden hallinnan kulmakivi. Hyvin suunniteltu ja toteutettu strategia mahdollistaa kaukolämpöjärjestelmälle halutun käytettävyyden sekä optimoi käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Perusparannus- ja kunnossapitostrategia riippuu seuraavista tekijöistä:

- kaukolämpöjärjestelmän vaurioherkkyydestä suhteessa tärkeisiin asiakasryhmiin
- käyttö- ja kunnossapitotoiminnan tehokkuudesta
- kaukolämpölaitosten ja verkon tuntemuksesta
- potentiaalisimmista vikaantuvuusriskeistä ja niiden sijainnista verkossa
- kaukolämmön laadusta. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358.)

Kaukolämpöverkon perusparannus- ja kunnossapitostrategia on perustuttava joko lyhyen- tai pitkántähtäimen suunnitteluun. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358.)

7.4.2 Lyhyentähtäyksen perusparannussuunnittelu

Toimivan kaukolämpöverkon eri osat on taloudellisesti kannattavinta käyttää loppuun asti. Perusparannuksien suunnittelu on siis hyvä aloittaa vasta ensimmäisten vikojen tai vaurioiden ilmetessä. Verkkoinvestointi on kirjanpidollisesta näkökulmasta maksettu takaisin noin 30 vuoden kuluttua, joten tämän jälkeen yksittäistä kaukolämpöverkon osuutta voidaan hyödyntää lähes ilmaiseksi. Ainoastaan lisääntynyt ennakoiva kunnossapito ja hieman heikentynyt hyötysuhde nostavat johto-osuuden käyttökustannuksia verrattuna uuteen johtoon. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358.)

Lyhyentähtäyksen perusparannussuunnittelussa, kaukolämpöjärjestelmän osan vaurioituessa ongelmakohta paikannetaan ja korjataan tilapäisesti. Tämän jälkeen karotetaan korjatun vaurion aiheuttamat muut ongelmat ja arvioidaan verkon osan tai johtotyypin yleinen vikaantumisherkyys, sekä vikaantuneen alueen merkitys läm-

mön-toimituksessa. Mikäli näiden arvioiden jälkeen verkon vaurioituneen osuuden voidaan olettaa toimivan edelleen, vaurioituneen kohteen korjaus voidaan suunnitella esimerkiksi seuraavalle kesälle. Tässä tapauksessa vauriokorjaus toteutetaan, kuin se olisi uudisrakennuskohde. Vauriotapauksissa, joissa taas vaurion vaikutusalue on selvästi rajattavissa, korvataan vain vaurioitunut verkon osa välittömästi. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358.)

Kaukolämpöyhtiön hyvä tuntemus verkon ja tuotannon vaurioherkistä kohdista tarjoaa mahdollisuuden poiketa "perusparannus vain vaurioitilanteessa" yleissäännöstä. Tällöin verkkoa voidaan uudistaa myös muiden arviointiperusteiden pohjalta, kuten muiden rakennustöiden yhteydessä. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358.)

7.4.3 Pitkántähtäyksen perusparannussuunnittelu

Kaukolämpöverkon perusparantamisen pitkántähtäimen suunnittelu joudutaan tekemään pääasiassa olettamusten varassa. Olettamusten epävarmuus kasvaa mitä kauemmas tulevaisuuteen suunnittelua tehdään. Pitkántähtäyksen perusparannussuunnittelussa käytetyt ennusteet tulisivat perustua tunnettuihin kehityssuuntiin sekä kaukolämpöverkon huolto- ja vauriohistoriaan. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 358.)

Kaukolämmityksessä käytetyt materiaalit ovat suhteellisen luotettavia, jonka vuoksi perusparantamiseen vaikuttavat tekijät ovat hitaita. Tästä huolimatta perusparannustarvetta tulisi arvioida jatkuvasti sekä varautua odottamattomiin vaurioihin. Kaukolämpöverkon kunnossapitäjällä tulisi olla näkemys pitkántähtäimen perusparannusstrategiasta ja tehtävien perusparannuksien laajuuden tulisi perustua aina kokemukseräiseen tietoon. Hyvästä perusparannussuunnittelusta huolimatta omistajan on hyväksyttävä, että kunnossapito- ja perusparannuskustannusten vuositaso tulee aina vaihtelevaan jonkin verran. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 359.)

7.4.4 Yhteenveto

Kaukolämpöalalla pitkäntähtäyksen perusparannussuunnittelu voi helposti johtaa siihen, että perusparantaminen kohdistuu väärin kohteisiin ja toimivia verkon osia uusitaan ennen vaurioituneita osia. Tästä syystä alalla on ollut yleisesti tapana perustaa perusparannustoiminta lyhyentähtäyksen suunnittelun varaan. Kunnossapitokustannusten hallitsemiseksi on kuitenkin tärkeää pohtia myös pitkäntähtäyksen perusparannustarpeita kaukolämpöjärjestelmän suunnittelun, rakentamisen ja kehittämisen yhteydessä. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 359.)

8 Kaukolämpöverkon kunto

8.1 Energiateollisuuden tunnusluvut

Energiayhtiöiden etujärjestö Energiateollisuus ry kerää ja julkaisee vuosittain erilaisia kaukolämpöalan tunnuslukuja ja tilastoja. Kaukolämpöverkon kuntoa seurataan erityisesti ja käyttötaloudellisten tunnuslukujen sekä vaurio- ja keskeytystilastojen avulla.

8.1.1 Käyttötaloudelliset tunnusluvut

”Käyttötaloudelliset tunnusluvut liittyvät välittömästi yrityksen käyttö- ja kunnossapito-toimintaan, mutta toimivat välillisesti myös suunnittelua ja rakentamista kuvaavina ja ohjaavina lukuarvoina. Tunnusluvut kertovat yrityksen teknisestä tilasta, erilaisen toimintojen taloudellisuudesta, yrityksen kustannusrakenteesta, energiataseesta sekä käyttö-, kunnossapito- ja huoltotoiminnan tehokkuudesta.” (Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013, 2014, 2.)

Verkon käyttötaloudelliset tunnusluvut ovat:

- lämmön siirron pumppaussähkön kulutuksen suhde lämmönhankintaan (kWh/MWh)
- lämmön myynnin ja hankinnan suhde (MWh/MWh)
- verkon keskimääräinen menolämpötila päätuotantolaitoksella °C

- verkon keskimääräinen paluulämpötila päätuotantolaitoksella °C
- lisäveden kulutuksen suhde verkon vesitilavuuteen ilman kaukolämpöakkaa (m³/ m³)
- uusitun johtopituuden suhde johtopituuteen (%)
- verkon käyttö- ja kunnossapitokustannusten suhde lämmönhankintaan (€/MWh)
- verkon korjauskustannusten suhde johtopituuteen (€/m)
- verkon perusparannuskustannusten suhde johtopituuteen (€/m). (Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013, 2014. 15–16.)

Taulukossa 2 on vertailtu Jyväskylän Energian käyttötaloudellisia tunnuslukuja Energiategollisuuden, kokoluokan 200–1000 MW keskiarvoon. Tässä kokoluokassa vastausten määrä on vaihdellut 18-6 välillä.

Taulukko 2: Käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013

Käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013	Yksikkö	JE	ET	JE/ET %
<u>Lämmön siirron pumppaussähkön kulutus</u>	kWh	7,40	7,3	101 %
Lämmön hankinta	MWh			
<u>Lämmön myynti</u>	%	93,1	90	103 %
Lämmön hankinta				
Verkon keskimääräinen menolämpötila päätuotantolaitoksella	°C	86,0	87	99 %
Verkon keskimääräinen paluulämpötila päätuotantolaitoksella	°C	50,0	47	106 %
<u>Lisäveden kulutus</u>	m ³	0,16	0,94	17 %
Verkon vesitilavuus ilman lämpöakkaa	m ³			
<u>Uusittu johtopituus</u>	%	0,34	0,14	242 %
Johtopituus				
<u>Verkon käyttö- ja kunnossapitokustannukset</u>	€	1,52	2,59	59 %
Johtopituus	m			
<u>Verkon käyttö- ja kunnossapitokustannukset</u>	€	0,57	0,52	110 %
Lämmön hankinta	MWh			
<u>Verkon korjauskustannukset</u>	€	0,31	0,3	104 %
Johtopituus	m			
<u>Verkon perusparannuskustannukset</u>	€	0,76	0,38	200 %
Johtopituus	m			

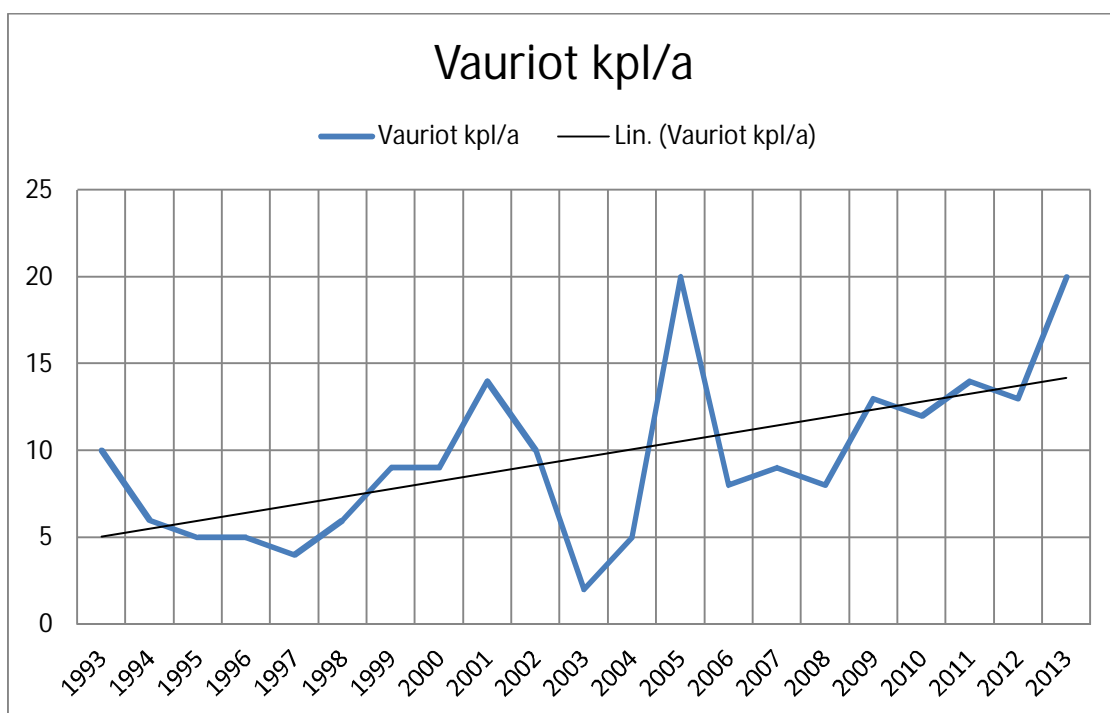
Taulukon 2 tunnusluvuihin nähdään, että Jyväskylän Energian verkko on pääasiassa vertailuyhtiöitä paremmassa kunnossa. Erityisesti lisävedenkulutus, joka kertoo verkon vuodoista, on hyvin alhainen. Myös verkon käyttö- ja kunnossapitokustannukset johtopituutta kohden ovat alhaiset.

Toisaalta Jyväskylän Energian verkkoa on uusittu huomattavasti keskiarvoa enemmän ja verkon perusparannuskustannukset ovat korkeammat. Nämä tunnusluvut selittyvät yhtiöiden erilaisilla toimintatavoilla. JE:lla on tapana korjata huonokuntoiset tai vikaherkät johtotyypit (Mpul) uusimalla johdot koko kaivoväliltä. Näin saadaan vauriokorjauksen yhteydessä poistettua huonoksi tiedettyjä johto-osuuksia verkosta. Osa kaukolämpöyhtiöistä ei näe kannattavaksi perusparantaa verkkoa vaurion yhteydessä, vaan ne korjaavat viat aina paikallisesti. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348.)

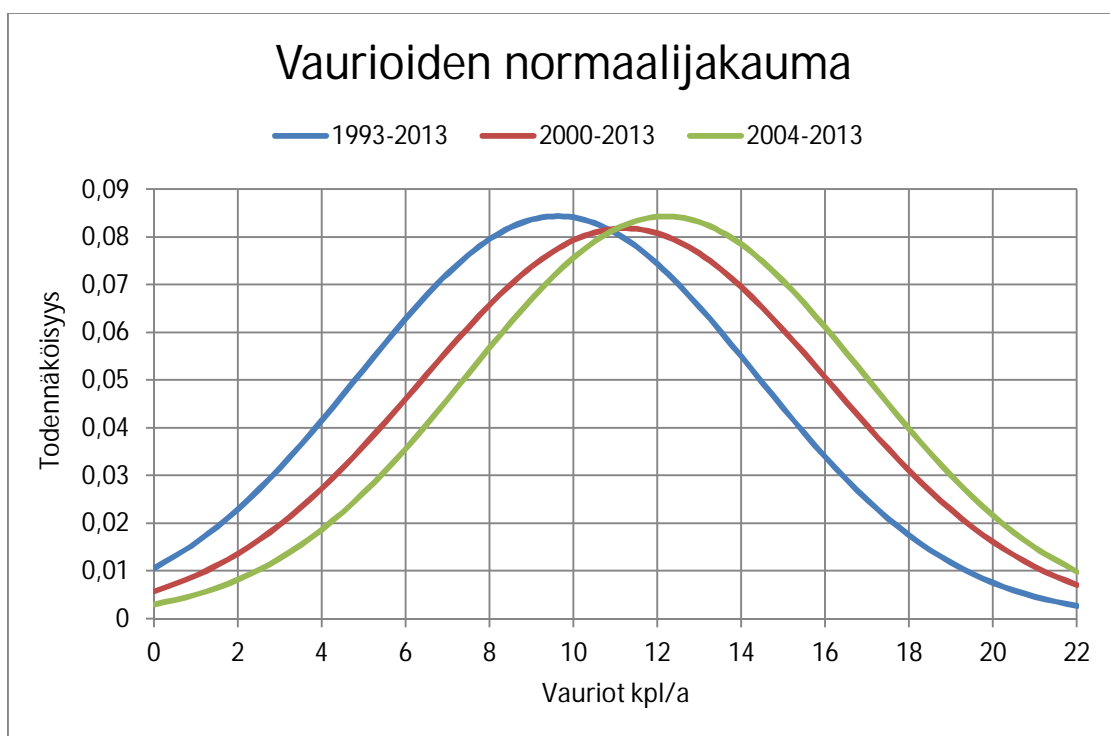
8.1.2 Vaurioutilastot

Energiateollisuuden julkaisemiin kaukolämmön vaurioutilastoihin on kerätty kattavasti tietoja vaurioituneesta johto-osasta, vauriosyystä, vaurion havaitsemisesta ja korjauskustannuksista (Kaukolämmön vaurioutilastot 2013, 2014, 2-6). Jyväskylän Energialla on tilastoitu tarkasti yhtiön kaukolämpöverkon vauriota 90-luvun alusta lähtien.

Jyväskylässä verkostovaurioiden vuosittainen kappalemäärä on kasvanut melko hitaasti viimeisen 20 vuoden aikana. Vauriomäärät ovat vaihdelleet 2-20 välillä, keskiarvon ollessa 9,6 vauriota vuodessa. Vuosina 1993–1999 vaurioita havaittiin keskimäärin 6,9 kpl/a, kun taas vuosina 2000–2009 keskiarvo oli 9,8 kpl/a. Vuodesta 2010 alkaneen tarkastelujakson aikana vauriomäärien keskiarvo on kasvanut 14,8 kappaleeseen vuodessa. Näin ollen vauriomäärän keskiarvon prosentuaalinen kasvu 90-luvulta 2010-luvulle on ollut 114 %. Tämä luku antaa helposti väärän kuvan verkon vaurioiden kasvusta. Todellisuudessa verkon vaurioherkkyys on pysynyt hallinnassa, mutta verkon johtopituus on kolmikertaistunut viimeisen 20 vuoden aikana.



Kuvio 17: Jyväskylän Energian verkostovauriot 1993–2013



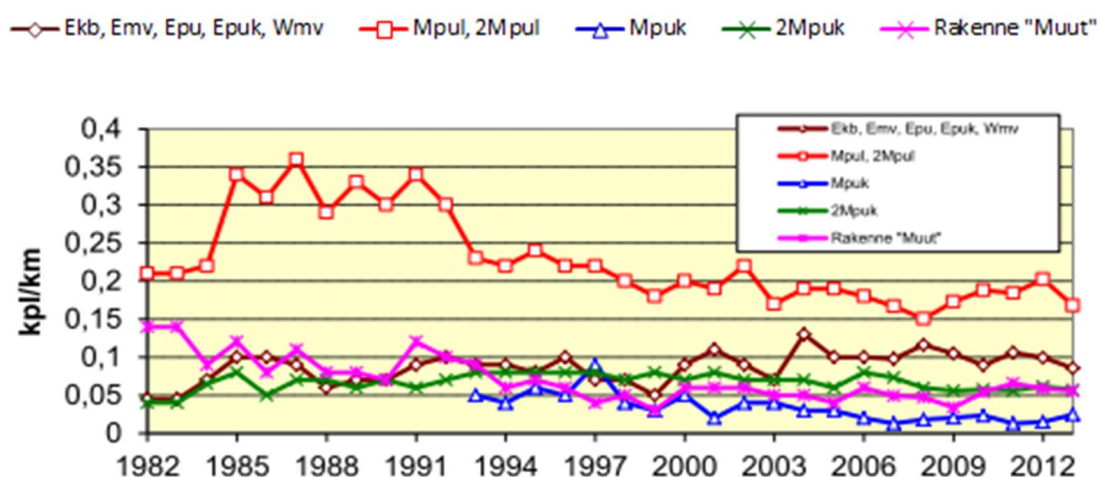
Kuvio 18: Jyväskylän Energian verkostovaurioiden normaalijakauma

Kuviosta 17 on kasvun lisäksi havaittavissa selkeä vaihteluvälin pienentyminen viimeisen 5 vuoden aikana. Tämä johtuu muun muassa aiempaa säännöllisemmästä kaivotarkastustoiminnasta, jonka avulla vauriota usein havaitaan. Vaihteluvälin pie-

nentyminen ja vauriomäärän kasvu näkyvät myös selvästi vaurioiden normaalijakaumassa, kuvio 18. Vuosien 2004–2013 normaalijakauma on selvästi vuoden 2000–2013 normaalijakaumaa jyrkempi, koska sen keskihajonta on pienempi.

Energiateollisuuden tilastoihin verrattuna Jyväskylän kaukolämpöverkossa on vähän vaurioita. Vuonna 2013 Jyväskylässä havaittiin 0,05 vauriota johtokilometriä kohden, Energiateollisuuden jäsenyhtiöiden keskiarvon ollessa 0,07 kpl/km. Jyväskylän Energian tunnusluku on vertailulukua 29 % pienempi, siitä huolimatta että Jyväskylässä tapahtui kyseisenä vuonna ennätysmäärä vaurioita. (Kaukolämmön vauriostatot 2013, 2014, taulukko 1.)

Jyväskylän Energian verkossa eniten vaurioita on sattunut Mpul- johtotyypille. Sen osuus kaikista 20 vuoden aikana tapahtuneista vaurioista on jopa 38 %. Tämä osuus on hyvin merkittävä, sillä Mpul- johdon osuus kokonaisjohtopituudesta melko pieni. Myös Energiateollisuuden keräämässä datassa, kuvio 19, Mpul- johtotyyppi (punainen viiva) erottuu vikaherkkydellään.



Kuvio 19: Kaukolämpöjohtojen vikaantuvuus 1982–2013 (Kaukolämmön vauriostatot 2013, 2014, kuva 1)

Taulukosta 3 nähdään, että vuonna 2013 Jyväskylän Energialla havaittiin eniten vaurioita kaivossa (11 kpl). Toiseksi eniten vaurioita löytyi betonikanavista (4 kpl) ja kolmanneksi eniten oli Mpul- johdoissa (3 kpl). Nämä tilastot poikkeavat sekä JE:n nor-

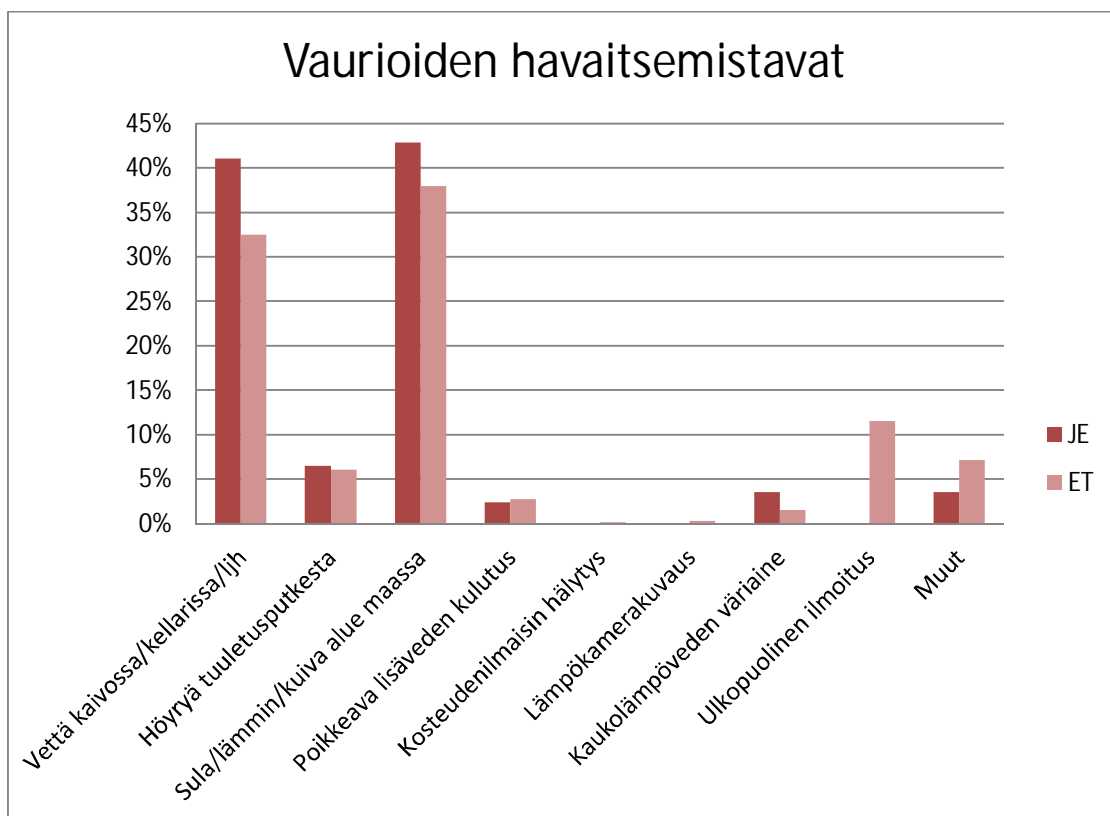
maalivuoden tilastoista että Energiateollisuuden tilastoista. (Kaukolämmön vauriotilastot 2013, 2014, taulukko 1.)

Taulukko 3: JE:n ja ET:n vaurioituneet johto-osat 2013

Vaurioitunut johto-osa 2013		Osuus kaikista vauriosta		
		JE	ET	JE/ET
Mpuk	%	10,00	9,00	111 %
2Mpuk	%	0,00	43,00	0 %
Mpul, 2Mpul	%	15,00	20,00	75 %
Ekb, Emv, Epu, Epuk, Wwm	%	20,00	11,00	182 %
Taipuisat johdot	%	0,00	0,00	
Vaurio kaivossa	%	55,00	12,00	458 %
Muut rakenteet	%	0,00	5,00	0 %

Vauriotilastoissa on vaurioituneen osan lisäksi seurattu tarkasti vaurioiden syitä ja havaitsemistapaa. Jyväskylän Energian vauriotilastoissa yleisin syy vauriolla on ollut epätiivis suojakuoriliitos. Muita merkittäviä vaurion aiheuttajia ovat olleet hitsaus- ja asennusvirheet sekä ulkoiset tekijät, kuten ulkopuolinen vesi. Energiateollisuuden tilastot ovat samansuuntaisia, sillä vuonna 2013 epätiivis suojakuoriliitos oli yleisin vauriosyy. Toiseksi eniten vauriota aiheuttivat ulkoiset tekijät ja kolmanneksi eniten muut syyt. (Kaukolämmön vauriotilastot 2013, 2014, taulukko 5.)

2000- luvun aikana Jyväskylän Energialla on havaittu verkostovaurioita eniten maassa olevan sulan/lämpimän/kuivan alueen avulla, kuvio 20. Muita tehokkaita havaitsemistapoja ovat olleet kaivotarkastukset ja höyryävät tuuletusputket. Energiateollisuuden vuoden 2013 vauriotilastojen mukaan yleisin vaurioiden havaitsemistapa oli sula/lämmin/kuiva alue maassa. Seuraavaksi eniten vaurioita löydettiin kaivossa/kellarissa/lämmönjakohuoneessa olevan veden avulla ja ulkopuolisen ilmoituksen perusteella. (Kaukolämmön vauriotilastot 2013, 2014, taulukko 6.)



Kuvio 20: JE:n ja ET:n vaurioiden havaitsemistavat 2013

Energiateollisuuden tilastoista ilmenee, että Jyväskylän Energia uusi kaukolämpöjohtoja yhtä vauriota kohden reilusti enemmän kuin keskiverto kaukolämpöyhtiö. Vuonna 2013 Energiateollisuuden vauriota kohden uusitun johtopituuden keskiarvo oli 17,5 m, kun taas Jyväskylässä uusittiin peräti 47 m vauriota kohden. (Kaukolämmön vauriotilastot 2013, 2014, taulukko 1.). Tämä johtuu Jyväskylän Energian uudesta tavasta tehdä perusparannuksia johtojen vauriokorjauksien yhteydessä. Jyväskylässä on siirrytty tähän tyyliin pari vuotta sitten, jotta huonoista johto-osuuksista ja johtotyypeistä päästäisiin eroon. Vertailuyhtiöiden alhainen luku johtuu siitä, että osa kaukolämpöyhtiöistä ei näe kannattavaksi perusparantaa verkkoa vaurion yhteydessä, vaan ne korjaavat viat aina paikallisesti (Kaukolämmön käsikirja 2006, 348). Myös JE:lla oli aiemmin tapana toimia näin.

Vauriotilastojen perusteella Jyväskylän Energian kaukolämpöverkko on hyvässä kunnossa, sillä verkossa on selvästi keskimääräistä vähemmän vaurioita kilometriä kohden. JE:lla kaukolämpöjohtotyyppien vikaantuvuus ja vauriosyyt noudattavat Energiateollisuuden tilastoja. Pientä poikkeamaa Energiateollisuuden tilastoihin löytyy

vaurioiden havaitsemistavoista. JE:lla vauriota on havaittu keskimääräistä enemmän kaivossa olevan veden avulla. Tämä selittyy JE:n aktiivisella kaivotarkastustoiminnalla. Toisaalta JE:lla ei havaittu yhtään vikaa ulkopuolisten ilmoitusten perusteella. Tässä voi olla kyse tilastointitapojen eroavaisuuksista yhtiöiden välillä. Vaurioutilastoissa yksi iso ero JE:n ja keskimääräisen kaukolämpöyhtiön väliltä löytyy vauriota kohden uudesta johtopituudesta. Tämä selittyy JE:n tavasta tehdä perusparannuksia johtojen vauriokorjauksien yhteydessä.

8.1.3 Keskeytystilastot

Energiateollisuus on kerännyt ja tilastoinut kaukolämmön toimitusvarmuutta asiakkaille kuvaavia käyttökeskeytystietoja vuodesta 2007 alkaen. Jäsenyrityksiltä kerätään vuosittain tiedot kunkin yksittäisen käyttökeskeytyksen pituudesta, syystä, luonteesta, ajankohdasta sekä keskeytyksen vaikutusalueen asiakasmäärästä ja liittymistehosta. Keskeytyksen luonteella tarkoitetaan sitä onko keskeytys suunnittelematon vai suunniteltu eli asiakkaalle ennakkoon ilmoitettu. Ajankohdalla jaetaan keskeytykset lämmityskaudella 1.10. – 30.4. ja sen ulkopuolella tapahtuneisiin. Näiden tietojen perusteella Energiateollisuus laskee seuraavat tunnusluvut keskeytyksen luonteen, ajankohdan ja syyn mukaan jaoteltuina.

- keskeytysten lukumäärä, kpl
- keskeytysten lukumäärä keskimäärin yritystä kohti, kpl
- keskeytysten pituus keskimäärin, h
- keskeytysten asiakastunnit vuodessa, h
- keskimääräinen keskeytysaika / asiakas, h
- keskimääräinen tehovajaus, h
- keskeytysten pituusjakauma. (Kaukolämmön keskeytystilastot 2013, 2014, 1.)

Tunnuslukuista vertailukelpoisia Jyväskylän Energian keskeytystilastoihin ovat keskeytysten lukumäärä keskimäärin yritystä kohti (kpl), keskeytysten pituus keskimäärin (h) ja keskimääräinen keskeytysaika / asiakas (h). Taulukossa 4 on vertailu kyseisiä tunnuslukuja JE:n ja Energiateollisuuden suurimman liittymisteholuokan (yli 200 MW)

välillä. Vuonna 2013 vastauksia tässä luokassa oli 19 kappaletta. Taulukossa 4 on korostettu vihreällä värillä solut, joissa JE:n tunnusluku on yli 50 % pienempi kuin vertailuarvo. Punaisella värillä korostetuissa soluissa JE:n tunnusluku on yli 50 % suurempi kuin vertailuarvo. (Kaukolämmön keskeytystilastot 2013, 2014, 13.)

Taulukko 4: JE:n ja ET:n keskeytystilastot 2013

ET:n keskeytystilastot yritysten liittymisteho > 200 MW vastauksia 19 kpl	Keskeytysten lukumäärä, kpl			Keskeytysten pituus keskimäärin, h			Keskimääräinen keskeytysaika / asiakas, h		
	JE	ET	JE/ET	JE	ET	JE/ET	JE	ET	JE/ET
Verkon vaurioiden tai vauriokorjausten johdosta	13,0	37,0	35 %	8,0	5,2	154 %	0,43	0,80	54 %
Verkon perusparannustöiden johdosta	18,0	21,3	85 %	8,7	7,7	113 %	0,37	0,74	50 %
Verkon muutostyön johdosta	0,0	11,9	0 %	0,0	5,6	0 %	0,00	0,15	0 %
Uudisrakennustyön johdosta	6,0	8,5	71 %	5,7	3,9	145 %	0,15	0,09	171 %
Sähkökatkoksen johdosta	1,0	0,2	500 %	36,0	9,4	383 %	0,31	0,02	1563 %
Muun syyn johdosta	3,0	3,1	97 %	12,0	5,6	214 %	0,19	0,04	481 %
Suunnitellut, kaikki	39,0	72,1	54 %	8,4	6,1	137 %	1,14	1,67	68 %
Suunnittelemattomat, kaikki	2,0	10,4	19 %	19,5	4,1	476 %	0,31	0,17	184 %
Lämmityskaudella, kaikki	25,0	47,2	53 %	9,0	5,4	167 %	0,62	0,80	78 %
Lämmityskauden ulkopuolella, kaikki	16,0	35,3	45 %	8,8	6,4	138 %	0,83	1,04	80 %
Kaikki yhteensä	41,0	82,5	50 %	8,9	5,8	154 %	1,46	1,84	79 %

Taulukosta 4 havaitaan, että vuonna 2013 Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa tapahtui vähän keskeytyksiä. Kyseisenä vuonna JE:lla tapahtui keskeytyksiä yhteensä 41 kappaletta, kun taas vertailuryhmän keskiarvo oli 82,5 kappaletta. JE:n luku on hyvä, sillä se on yli 50 % pienempi kuin vertailulukku. Verkon kunnon arvioiminen keskeytysten lukumäärien perusteella on kuitenkin haastavaa, sillä suurimmat kaukolämpöyhtiöt nostavat vertailuryhmän keskiarvoa suuresti. Parempi tunnusluku keskeytysmäärien vertailuun voisi olla keskeytysten lukumäärä johtokilometriä kohden (kpl/km), jolloin yrityksen kokoluokka ei vaikuttaisi arvoon.

Keskeytyksien keskimääräistä pituutta tarkasteltaessa taulukosta 4 nähdään, että Jyväskylän Energialla keskeytykset ovat vertailuyhtiötä selvästi pitempiä. Vuonna 2013 JE:n keskeytykset olivat keskimäärin 54 % pidempiä kuin vertailuyhtiöillä. Erityisesti suunnittemattomat keskeytykset veivät JE:lta huomattavasti enemmän aikaa kuin vertailuyhtiöillä keskimäärin. Suunnittemattomien keskeytysten pitkä keskeytysaika selittyy sillä, että vuonna 2013 suunnittemattomia keskeytyksiä oli vain 2 kappaletta, joten sähkökatkosta johtunut poikkeuksellisen pitkä keskeytys näkyi vahvasti tunnusluvussa. Taulukosta 4 on nähtävissä myös, että suunnitellut keskeytykset ovat JE:lla keskimääräistä pidempiä. Tämä luku kertoo siitä, että JE:lla voisi olla kehitettävää keskeytysten suunnittelussa ja toteuttamisessa.

Taulukosta 4 nähdään, että Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon keskimääräinen keskeytysaika asiakasta kohden oli hieman vertailuyhtiötä paremmalla tasolla vuonna 2013. JE:lla suunniteltujen keskeytysten, erityisesti perusparannustöistä johtuvien, keskeytysaika asiakasta kohden oli vertailuyhtiötä lyhyempi. Toisaalta sähkökatkosta ja muista syistä johtuvat suunnittemattomat keskeytykset aiheuttivat asiakkaalle keskimääräistä pidemmän keskeytyksen.

8.2 Benchmarking

Benchmarking on jäsennelty ja analyttinen jatkuva prosessi yrityksen toiminnan tason mittaamiseen. Benchmarkingissa yrityksen toiminnan tasoa verrataan maailmanlaajuisesti parhaisiin käytäntöihin ja sijoitetaan sen perusteella asemiin. (Anton & Gustin 2000, 3.)

Jyväskylän Energia teetti vuonna 2013 konsulttiyhtiö Pöyryllä Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark-työn. Benchmark-työssä vertailtiin 6 kaukolämpöyhtiön johtamista, organisaatorakennetta, tukitoimintoja, teknistä ja toiminnallista tilaa sekä taloudellista tehokkuutta. Työ toteutettiin keräämällä tietoja kyselylomakkeen ja osallistujayritysten henkilöhaastattelujen avulla. Kyselylomakkeen ja haastattelujen

pohjalta yrityksille laadittiin omat luottamukselliset raportit, joiden tulokset käytiin läpi yrityskohtaisissa työpajoissa. Tämän jälkeen viimeisteltiin yrityskohtainen benchmark- raportti. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 3.)

Benchmark- työssä verkon kuntoa arvioitiin verkostohäviöiden (%), lisäveden kulutuksen (m^3/m^3_{verkko}), keskeytysten (kpl/km) ja korjausvelan (%) perusteella. Näitä kuntoarvoja verrattiin toisiin osallistujayrityksiin ja Energiateollisuuden suositusarvoihin, taulukko 5. Taulukon MIN- ja MAX- kohdat kertovat osallistujayritysten suurimman ja pienimmän arvon. Sijoitus kertoo Jyväskylän Energian kuntoarvon sijoituksen yritysten välisessä vertailussa, siten että numero 1 on paras ja 6 huonoin. Sijoitumista on kuvattu myös prosentein, jolloin parhaiten sijoittunut arvostetaan 100 %:lla ja muut 0- 100 % väliltä riippuen siitä kuinka lähellä ollaan parhaiten sijoittuneen yrityksen käytäntöjä. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 16.)

Taulukko 5: Kaukolämpöverkon tekniset mittarit (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 18.)

Toiminnan tehokkuuden indikaattori	Energiateollisuuden suositusarvot	MIN	MAX	JE	Sijoitus	Sijoitus %
Verkostohäviöt (%)	8,8 %	6,7 %	12,7 %	8,5 %	3	79 %
Lisäveden kulutus (m^3/m^3_{verkko})	0,93	0,37	2,85	0,37	1	100 %
Keskeytykset (kpl/km)	< 0,08 Erinomainen	0,007	0,10	0,03	2	23 %
Korjausvelka (%)	100 %	25 %	173 %	85 %	5	49 %

Pöyryn benchmark- raportin mukaan Jyväskylän Energian kaukolämpöverkko on hyvässä kunnossa. Kaikkia verkon teknisiä tunnuslukuja vertailtaessa JE:n verkko on vertailujoukon toiseksi paras. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 17.)

Tunnuslukuvertailussa Jyväskylän Energian verkostohäviöt olivat joukon kolmanneksi pienimmät. Pöyry luonnehtii JE:n verkostohäviöiden tunnuslukua erittäin hyväksi ja kehottaa yhtiötä vastaisuudessaakin pyrkimään mahdollisimman suureen lämmönmyyntitiheyteen sekä pitämään verkoston kunto hyvänä verkostohäviöiden minimoimiseksi. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 19.)

Lisävetä Jyväskylän Energian verkossa kului vertailuyhtiöistä kaikista vähiten ja kulutus oli selvästi alle Energiateollisuuden suositusarvon. Lisäveden kulutuksen tunnusluku oli jopa niin erinomainen, että Pöyry suositteli luvun tarkastuttamista. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 19.)

Suunnittelemattomia keskeytyksiä verkoston pituutta kohden oli Jyväskylän Energian verkossa hyvin vähän. Tunnusluku oli vertailujoukon toiseksi paras ja selvästi Energiateollisuuden suositusarvoa parempi. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 20.)

Korjausvelan välttämiseksi verkoston osalta suoritettujen poistojen tulisi olla linjassa suoritettujen investointien kanssa. Teollisuuden suositusarvon mukaan poistot voisivat olla maksimissaan noin 100 % vuotuisesta verkostoinvestoinnista. Jyväskylässä suhde on 85 % eli kohtuullisella tasolla. Jyväskylän Energian korjausvelka tunnusluku oli vertailuyhtiöiden toiseksi huonoin. Tästä huolimatta Pöyry pitää suoritettujen kokonaisinvestointien määrää riittävänä, kun oletetaan että investoinneissa on myös korvausinvestointeja. (Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark, 2014, 20.)

8.3 Kuntohavainnot

Jyväskylän Energian kaukolämpöjohdoista kerätään kuntotietoja betonikaivojen tarkastuksien yhteydessä. Kaivojen tarkastusväli vaihtelee 1-3 vuoden välillä riippuen kaivoluokasta. Heinäkuussa 2014 kaukolämpöputkien kunto oli havaittu huonoksi 171 kaivossa. Tämä vastaa noin 10 % betonikaivoista ja 6 % kaikista kaivoista. Osalle huonokuntoisista kohteista tehdään vauriokartoitukset, jossa tarkennetaan kohteen kuntoa muun muassa valokuvien avulla (Hakonen 2014).

9 Kaukolämpöverkon korjausvelka ja korjausvastuu

9.1 Perusparannustarpeen laskentamallit

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli määrittää kaukolämpöverkon perusparannustarve. Perusparannustarpeella tarkoitetaan perusparannustoiminnan euromääräistä suuruutta, jolla pystytään varmistamaan kaukolämpöverkon hyvä kunto myös tulevaisuudessa sekä hallitsemaan korjausvelkaa ja -vastuuta. Tässä työssä kaukolämpöverkon perusparannustarpeen määrittely on rajattu kaukolämpöjohtoihin, sillä ne muodostavat suurimman verkon omaisuuserän ja niiden dokumentointi on ollut kattavinta. Vuosittainen perusparannustarve on määritelty korjausvelan ja korjausvastuun laskennan avulla.

Kaukolämpöjohtojen korjausvelan laskemisessa voidaan soveltaa kaikkia kolmea Rantasen kehittämää korjausvelan laskentaperiaatetta. Mittaustuloksiin perustuva malli soveltuu parhaiten yksittäisten johto-osuuksien laskentaan. Kaukolämpöjohtojen kuntoa voidaan mitata esimerkiksi lämpökamerakuvauksella. Korjausvelan hybridimallia voidaan hyödyntää tietyn alueen kaukolämpöjohtojen korjausvelan laskennassa. Laajojen johto-osuuksien korjausvelan määrittämiseen hybridimalli ei kuitenkaan sovi, koska verkon kuntoon vaikuttavia tekijöitä on niin paljon, että johto-osuuksien jakaminen homogeenisiin ryhmiin on hyvin työlästä. Teoreettisessa laskentamallissa ryhmäjakoja ei tarvitse tehdä vaan kaukolämpöjohtoja käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Tästä syystä teoreettinen laskentamalli on Rantasen malleista käyttökelpoisin kaukolämpöjohtojen korjausvelan laskentaan.

Teoreettisen mallin avulla saatu prosentuaalinen korjausvelka kuvaa hyvin verkon yleistilaa, mutta sen pohjalta on vaikea arvioida todellista perusparannustarvetta. Perusparannustarpeen arvioimisen haasteet johtuvat siitä, että teoreettisessa mallissa johdolle kertyy laskennallista korjausvelkaa, vaikka sillä on teknistä käyttöikää vielä jäljellä. Tämä ajatus sopii huonosti kaukolämpöliiketoimintaan, koska kaukolämpöjohtoja ei ole taloudellisesti järkevää uusia ennen alkavaa vikaantumista. Lisäksi kau-

kolämpöverkon perusparannustöissä on tapana korvata perusparannettava johto kiinnivaahdotetuilla johdoilla, jolloin johdon kuntotaso nousee uutta vastaavaksi. Tällöin perusparannustarpeen todellista suuruutta tulee kuvata korjausvastuun eikä korjausvelan avulla. Tämän vuoksi kehitettiin toinen kaukolämpöjohtojen korjausvastuun laskentamalli. Myös toinen laskentatapa perustuu teoreettiseen malliin, mutta korjausvastuu muodostuu siinä eri tavoin. Toista laskentamallia oli mukana kehittämässä JE:n verkostoinsinööri Simo Simpura. Laskentamallit esitellään seuraavissa osioissa.

9.1.1 Laskentamalli 1

Ensimmäisessä kaukolämpöjohtojen korjausvelan laskentamallissa määriteltiin ensin kohteelle asetettu optimikuntotaso, kohteen uudishinta ja kohteen nykyinen kuntotaso. Optimikuntotasoksi arvioitiin 60 % (Simpura 2014). Kohteen uudishintoina on käytetty Energiateollisuuden johtorakennustilastoista saatuja keskimääräisiä hintoja. Johtorakennustilastoissa on ilmoitettu jokaisen johto dimension rakennuskustannukset johtometriä kohden (€/m). Kohteen nykyinen kuntotaso on määritelty kaukolämpöjohdon iän perusteella. Kaukolämpöjohtojen tekniseksi käyttöiäksi on asetettu 50 vuotta, teollisuudessa yleisesti käytössä olevan oletuksen mukaan. Laskennassa johdon kuntotaso huononee suoraan verrannollisesti johdon ikään nähden siten, että teknisen käyttöiän lopussa sen kuntotaso on 0 %.

Optimikuntotason, kohteen uudishinnan ja nykyisen kuntotason määrittämisen jälkeen rakennettiin korjausvelka ja korjausvastuu -Excel laskentataulukko. Laskentaa varten Jyväskylän Energian sijaintipalvelulta saatiin kaikki kaukolämpöjohtotiedot Excel-muodossa. Tämän jälkeen johtopituudet jäsenneltiin taulukkoon putkidimensioiden ja johdon rakennusvuosien mukaan. Taulukossa 6 on esitetty osa jäsennellystä taulukosta.

Taulukko 6: Johtopituudet dimension ja rakennusvuoden mukaan

Johtometriä	DN20	DN25	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
1960	0		41	110	176	412	116
1961			29	3	88	101	725
1962		44	27	130	319	188	241

Jäsentelyn jälkeen laskentataulukkoon syötettiin kaava, joka laskee jokaiselle vuodelle johtojen jälleenhankinta-arvon (JHA). JHA:lla kuvataan kuinka paljon olemassa olevan omaisuuserän uudisrakentaminen maksaisi. Se lasketaan kertomalla johtopituudet uudishinnoilla. JHA laskemisen jälkeen jokaiselle vuodelle laskettiin johtojen nykykäyttöarvot (NKA). NKA:lla kuvataan omaisuuserän nykyistä arvoa. Kaavassa 2 on esitetty NKA:n laskentakaava.

Kaava 2: Nykykäyttöarvon laskenta (Keski-ian huomiointi sähköverkon nykykäyttöarvon laskennassa. 2011, 6)

$$NKA_{it} = \left(1 - \frac{\text{keski-ikä}_{it}}{\text{pitoaika}_i}\right) \times JHA_{it} \quad (1)$$

missä

NKA_{it} = verkkokomponentin i kaikkien komponenttien nykykäyttöarvo vuonna t vuoden t rahanarvossa

JHA_{it} = verkkokomponentin i kaikkien komponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo vuonna t vuoden t rahanarvossa

$pitoaika_i$ = verkkokomponentin i pitoaika. Pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka verkkokomponentti todellisuudessa on toiminnallisessa käytössä ennen sen uusimista (teknistaloudellinen pitoaika)

keski-ikä_{it} = Verkkokomponentin i määrätiedolla painotettu ikätieto vuoden t alussa. Keski-ikä ei voi olla suurempi kuin pitoaika, koska yksittäisen verkkokomponentin kohdalla ikä ei voi ylittää pitoaikaa keski-ikä tiedon laskennassa.

Seuraavaksi laskettiin kaikkien rakennettujen kaukolämpöjohtojen JHA (YHT) ja NKA (YHT) summaamalla vuosikohtaiset JHA ja NKA arvot yhteen. Tämän jälkeen NKA (YHT) jaettiin JHA:lla (YHT), jolloin saatiin selville niiden prosentuaalinen suhde. Lopuksi laskettiin kaukolämpöjohtojen korjausvelka prosenttiyksikköinä vähentämällä NKA:n (YHT) ja JHA:n (YHT) prosentuaalinen suhde (64 %) optimikuntotasosta (60 %).

Euromääräinen korjausvelka laskettiin kertomalla JHA (YHT) optimikuntotasolla ja vähentämällä siitä NKA (YHT). Korjausvastuun suuruus saatiin yksinkertaisella JHA:n ja NKA:n vähennyslaskulla.

Laskemalla saadut prosentuaaliset ja euromääräiset korjausvelat kuvaavat laskentahetken eli vuoden 2015 tilannetta. Tulevaisuuden korjausvelan laskentaa varten on pyrittävä ennustamaan tulevia uudisinvestointeja eli uudisrakentamista ja perusparannusta. Laskennassa on oletettu uudisrakentamisen olevan vuodesta 2015 eteenpäin 9000 johtometriä vuodessa. Luku on arvioitu viimeisen 20 vuoden aikaisten uudisinvestointien perusteella ja se on jaettu toteutuneiden suhteiden mukaan eri dimensiolle. Vuosittaisen uudisrakentamisen lisäksi kaksi suunnitteilla olevaa siirtolinjahanketta on lisätty vuosien 2017 ja 2018 uudisrakentamiseen. Perusparannustoiminnan vuosittainen laajuus on määritelty vanhimman käytössä olevan kaukolämpöjohto ikäluokan johtopituuden mukaan, eli vuoden 2015 perusparannukset vastaavat 1960 ikäluokan johtopituuksia ja dimensioita. Perusparannettavat johdot on ajateltu poistuvan käytöstä, joten niillä ei ole enää JHA:a tai NKA:a. Näiden uudisinvestointien ennustusten avulla on laskettu korjausvelan kehittymistä vuodelle 2025 saakka.

9.1.2 Laskentamalli 2

Toisessa laskentamallissa tuli ensiksi määrittää kohteen nykyinen kuntotaso ja kohteen uudishinta. Optimikuntotasoa ei määritelty, sillä toisessa mallissa korjausvelan ajateltiin muodostuvan vasta johdon teknisen käyttöiän loputtua. Kohteen uudishintana käytettiin samoja Energiategollisuuden yksikköhintoja kuin ensimmäisessä laskentamallissa.

Toisessa laskentamallissa määriteltiin kohteen nykyisen kuntotason kaukolämpöjohdon iän ja johtorakenteen perusteella. Tässä mallissa johdon nykyinen kuntotaso oli aina 100 %:a, jos johdolla oli teknistä käyttöikää jäljellä. Teknisen käyttöiän jälkeen johdon nykyinen kuntotaso putosi 0 %:iin. Tällaisella kuntotasojaolla saadaan kuvattua paremmin todellista perusparannustarvetta, sillä kaukolämpöjohtoja ei ole taloudellisesti järkevää uusia ennen käyttöiän loppumista. Jokaiselle johtorakenteelle

arvioitiin tekniset käyttöiät vauriostilastojen pohjalta. Alla on lueteltu tekniset käyttöiät eri johtotyypeille.

- 50 a: Mpul, Pua, Amv
- 60 a: Emv, Hvmv, Pkb, ilma- ja siltajohdot
- 80 a: 2Mpuk, Mpuk, Jop

Teknisten käyttöiäiden määrittämisen jälkeen jäseneltiin vuosien 1960- 1975 johtopituudet putkidimension ja johtotyypin mukaan laskentataulukkoon, taulukko 7. Seuraavaksi laskettiin taulukkoon 7 jokaisen vuoden johto-osuuksille uudisrakentamisen hinnan eli korjausvastuun johtotyypeittäin. Tämän jälkeen syötettiin laskentataulukkoon kaava, joka laskee johdoille vuoden, jonka jälkeen tekninen käyttöikä loppuu eli vuoden, jolloin johto alkaa kasvattaa korjausvastuuta.

Taulukko 7: Johtotiedot dimension ja johtotyypin mukaan

1961						
Johtopituus m	DN40	DN50	DN65	DN80	Käyttöikä loppuu	Korjausvastuu €
Mpul				40	2011	8 080
Asbesti					2011	0
Emv, Hvmv, Pkb	21	3	88	57	2021	900 363
Mpuk, 2Mpuk, Jop					2041	0
Muut rakenteet	9			4	2021	2 883

Vuosikohtaisten johto-osuuksien laskemisen jälkeen laskentataulukkoon rakennettiin kaava, joka laskee yhteen johto-osuuksien uudishinnat, joiden käyttöikä loppuu samana vuonna. Esimerkiksi vuoden 1964 Emv-johtojen käyttöikä loppuu samana vuonna kuin 1974 rakennetuilla Mpul-johdoilla, koska niillä on eripituiset tekniset käyttöiät. Tämän jälkeen rakennettiin yhteenlaskun avulla taulukko, joka laskee vuosikohtaisen korjausvastuun vuosille 2015–2025, taulukko 8. Taulukkoon 8 lisättiin aiempien vuosien muodostama korjausvastuun summa (YHT) sekä korjausvastuun keskiarvo (KA), sillä olettamuksella, että peruseränrakennuksia ei tehtäisi ollenkaan.

Taulukko 8: Korjausvastuun laskentamalli 2

Vuosi	Korjausvastuu €	Korjausvastuu (KA)	Korjausvastuu (YHT)
2015	x xxx €	xx xxx €	xxx xxx €
2016	x xxx €	xx xxx €	xxx xxx €
2017	x xxx €	xx xxx €	xxx xxx €

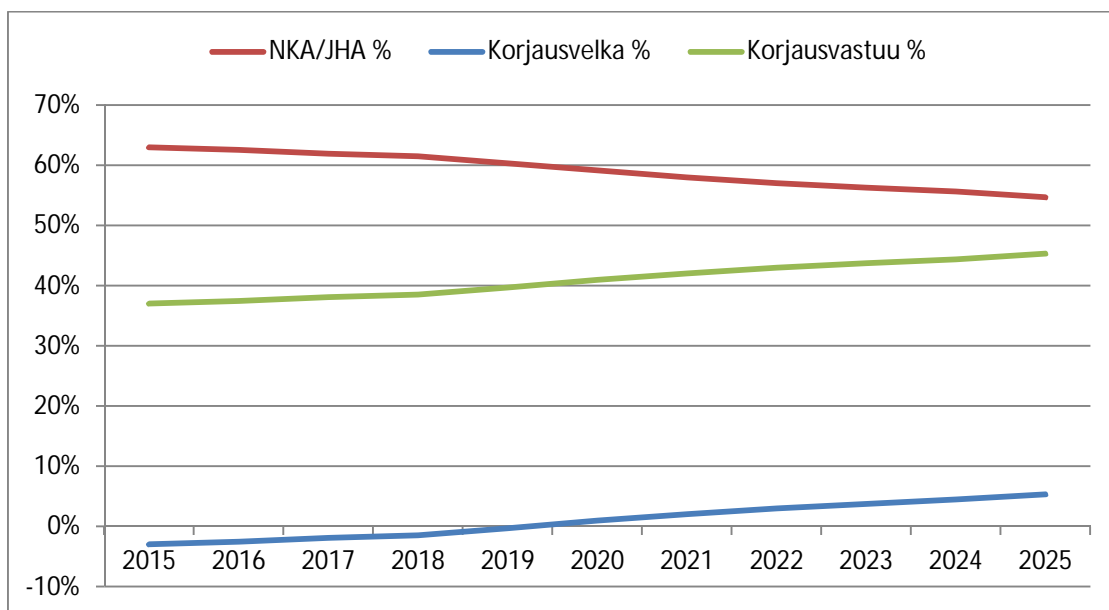
9.2 Laskennan tulokset

9.2.1 Laskentamalli 1

Taulukossa 9 on esitetty kaukolämpöjohtojen nykykäyttöarvon prosentuaalinen suhde jälleenhankinta arvoon sekä korjausvelan ja korjausvastuun prosentuaalinen suuruus ensimmäisellä laskentamallilla optimikuntotason ollessa 60 %. Kuviossa 21 on esitetty taulukon 9 tulokset kuvaajina.

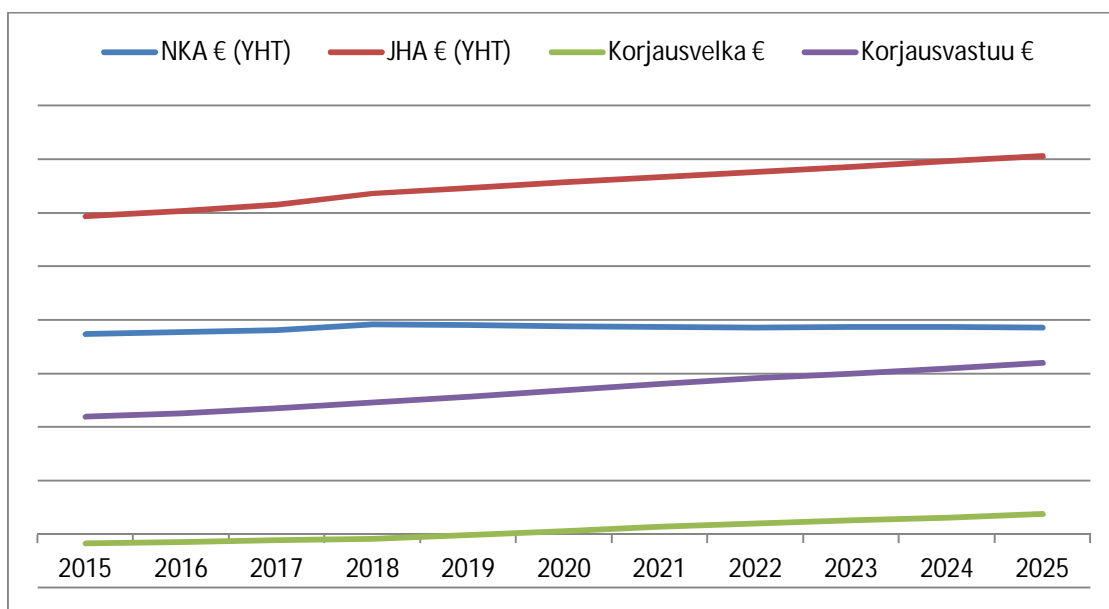
Taulukko 9: Prosentuaaliset tulokset laskentamalli 1

Vuosi	NKA/JHA %	Korjausvelka %	Korjausvastuu %
2015	63 %	-3 %	37 %
2016	63 %	-3 %	37 %
2017	62 %	-2 %	38 %
2018	61 %	-1 %	39 %
2019	60 %	0 %	40 %
2020	59 %	1 %	41 %
2021	58 %	2 %	42 %
2022	57 %	3 %	43 %
2023	56 %	4 %	44 %
2024	56 %	4 %	44 %
2025	55 %	5 %	45 %



Kuvio 21: Prosentuaaliset tulokset laskentamalli 1

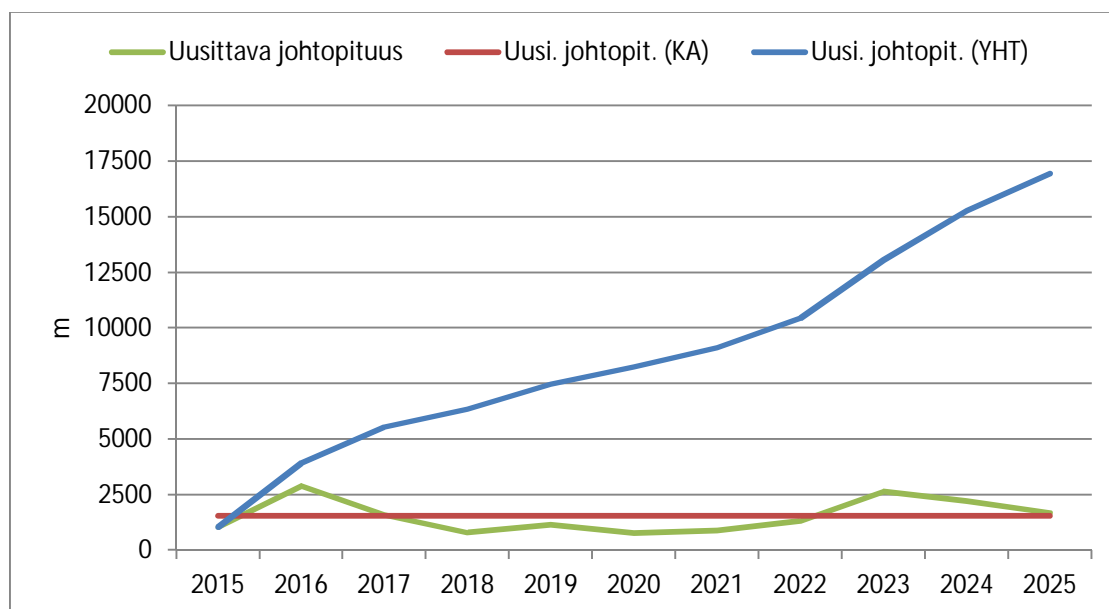
Korjausvelan ja korjausvastuun suuruutta euroissa ei julkaista tässä opinnäytetyössä toimeksiantajan toiveesta. Kuviossa 22 on kuitenkin esitelty NKA:n, JHA:n, korjausvelan ja korjausvastuun kehitys euroissa ilman lukuarvoja.



Kuvio 22: Euromääräiset tulokset laskentamalli 1

Ensimmäisessä laskentamallissa oletettiin, että vuosittain uusitaan vanhin käytössä oleva johtokäluokka. Kuviossa 23 on esitetty vuosien 2015–2025 aikana uusittava johtopituus. Kuviossa 23 punainen kuvaaja esittää vuosikohtaisen uusittavan johtopi-

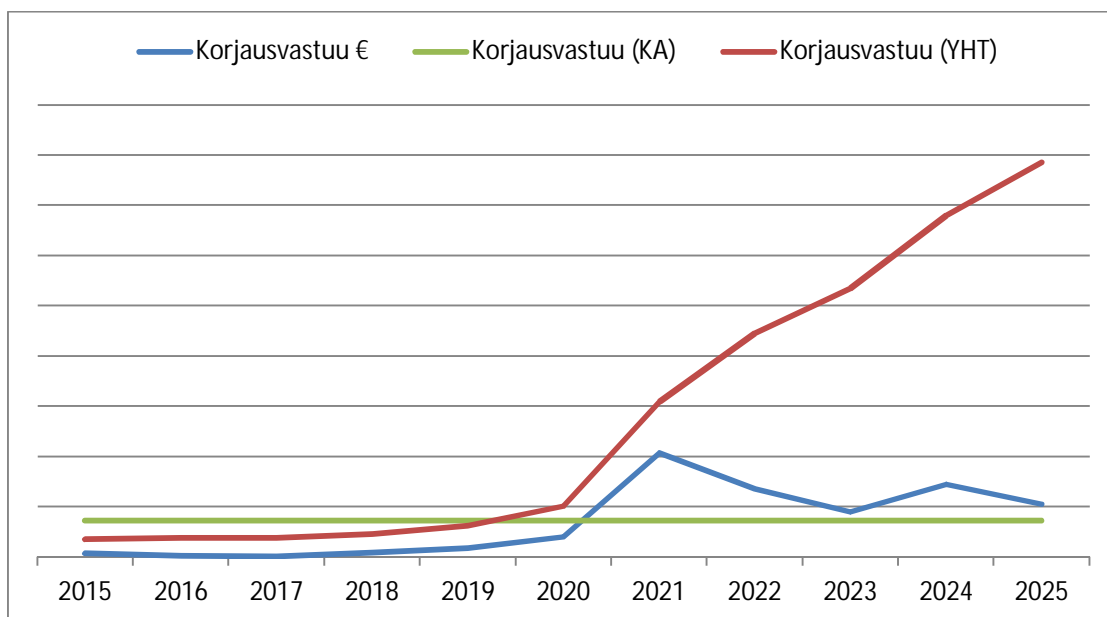
tuuden, sininen kuvaaja vuosien 2015–2025 keskimääräisen uusittavan johtopituuden ja vihreä kuvaaja vuosien 2015–2025 aikana uusittavien johtojen kokonaispituuden.



Kuvio 23: Uusittavat johtopituudet laskentamalli 1

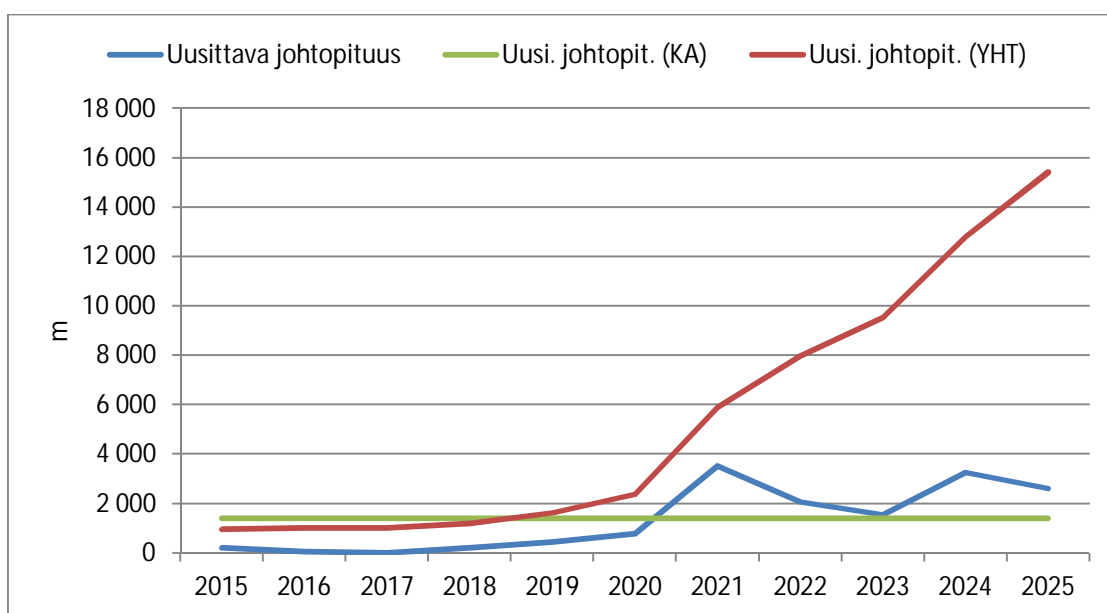
9.2.2 Laskentamalli 2

Toisessa laskentamallissa saatua korjausvastuun suuruutta euroissa ei julkaista tässä opinnäytetyössä toimeksiantajan toiveesta. Kuviossa 24 on kuitenkin esitetty korjausvastuun kehitys euroissa ilman lukuarvoja. Kuviossa 24 sininen kuvaaja esittää vuosikohtaisen korjausvastuun, vihreä kuvaaja vuosien 2015–2025 keskimääräisen korjausvastuun ja punainen kuvaaja vuosien 2015–2025 aikana kertyvän korjausvastuun kokonaismäärän.



Kuvio 24: Korjausvastuu euroissa laskentamalli 2

Toisessa laskentamallissa oletettiin, että vuosittain uusitaan ne johto-osuudet joiden tekninen käyttöikä loppuu. Vuosien 2015–2025 uusittava johtopituus on esitetty kuviossa 25. Kuviossa sininen kuvaaja esittää vuosikohtaisen uusittavan johtopituuden, vihreä kuvaaja vuosien 2015–2025 keskimääräisen uusittavan johtopituuden ja punainen kuvaaja vuosien 2015–2025 aikana uusittavien johtojen kokonaispituuden.



Kuvio 25: Uusittavat johtopituudet laskentamalli 2

9.2.3 Tulosten läpikäynti ja analysointi

Ensimmäisen laskentamallin mukaan kaukolämpöjohdoilla ei ole vielä yhtään korjausvelkaa, mutta sitä alkaa syntyä tasaisesti vuodesta 2020 eteenpäin. Laskentamallin mukaan vuonna 2025 kaukolämpöjohdoilla on jo 5 %:a korjausvelkaa. Ensimmäisessä laskentamallissa kaukolämpöjohtojen korjausvastuu vuonna 2015 on 37 %. Prosentuaalinen korjausvastuu kehittyy ensimmäisessä laskentamallissa samaa tahtia prosentuaalisen korjausvelan kanssa. Vuonna 2025 kaukolämpöjohtojen korjausvastuu on kasvanut 45 %:in.

Korjausvelan ja -vastuun jatkuva kasvaminen tarkoittaa sitä, että vanhimman käytössä olevan johtoikäluokan uusiminen ei riitä vuosittaiseksi perusparannukseksi. Jatkuva kasvu selittyy sillä, että kaukolämpöjohtojen rakentaminen on ollut nousujohteista 1960-luvulta 1980-luvulle. Tästä syystä uusittava johtopituus tuli määrittää takaperin laskennalla.

Takaperin laskennassa etsittiin vuosittain uusittava johtopituutta, jolla korjausvelan syntyminen saataisiin estettyä. Uudisrakentamisen oletettiin olevan edelleen 9000 johtometriä vuodessa. Takaperin laskennan tuloksena saatiin, että vuoteen 2025 asti on uusittava keskimäärin 3700 johtometriä vuodessa korjausvelan ehkäisemiseksi. Luku on yli kaksinkertainen verrattuna vanhimman johtoikäluokan uusimisen keskiarvoon (1542 m/a).

Toisessa laskentamallissa kaukolämpöjohdoille oli kertynyt korjausvastuuta vuodesta 2010 lähtien. Kertynyt korjausvastuu oli suurusluokaltaan satoja tuhansia euroja, mutta kehitys melko hidasta. Toisen laskentamallin korjausvastuun hallitsemista varten olisi vuoteen 2025 asti uusittava keskimäärin 1402 johtometriä vuodessa.

Toisen laskentamallin uusittava johtopituus on hyvin alhainen verrattuna ensimmäisen laskentamallin takaperin laskennassa saatuun lukuun. Suuri ero johtuu kahdesta tekijästä. Ensinäkin ensimmäisessä laskentamallissa kaikkien johtotyyppien tekninen käyttöikä oli 50 vuotta, mutta toisessa mallissa johtotyyppien käyttöikä vaihteli 50–

80 vuoden välillä. Toinen merkittävä tekijä on se, että toisessa laskentamallissa korjausvastuuta kertyy vasta teknisen käyttöiän loputtua. Tästä syystä 1980-luvun alun suuret rakennusmäärät eivät näy toisen mallin korjausvastuussa ja uusittavassa johtopituudessa.

Laskentamallien avulla saadut tulokset poikkeavat selvästi toisistaan, joten niiden pohjalta suoraan on haasteellista määrittää tarkkaa perusparannustarvetta. Lisäksi molemmat mallit pohjautuvat teoreettiseen malliin, jossa kohteen kunto on riippuvainen sen iästä. Tämä lisää entisestään laskennan epätarkkuutta, sillä putkirakenteille on mahdotonta arvioida tarkkaa käyttöikä. On kuitenkin hyvä muistaa, että käytetyt laskentamallit on kehitetty eri tarkoituksiin. Ensimmäisellä mallilla haluttiin hallita koko johtoverkon arvorakennetta. Ensimmäisen laskentamallin korjausvelan vuosittaisella seuraamisella nähdään, kuinka verkon arvo kehittyy ja sen pohjalta voidaan arvioida onko perusparannustoimet riittäviä. Ensimmäisen mallin korjausvelan pohjalta laskettu perusparannustarve ei ole kuitenkaan tarkka. Toinen malli sen sijaan on kehitetty vuosittaisen perusparannustoiminnan suunnittelua varten. Laskentamallin avulla saatu uusittava johtopituus määräytyy tarkasteltavan ajanjakson perusteella, mutta se ei huomioi lähivuosina uusittavia johtoja. Tässä työssä tarkastelu ajanjaksoksi on valittu vuodet 2015–2025, Jyväskylän Energian pitkäntähtäimensuunnitelman perusteella.

10 Kriittisyysanalyysi kaukolämpöverkolle

10.1 Kriittisyysanalyysimalli kaukolämpöjohdoille

PSK 6800 standardin kriittisyysanalyysimalli on kehitetty teollisuuden tarpeisiin ja se on käyttökelpoinen työkalu laitos-, linja- ja prosessitasolla. Verkkoliiketoimintaan standardin kriittisyysanalyysimallia ei voi suoraan käyttää, vaan sitä on hieman muokattava.

Verkkoliiketoiminnassa haasteita asettavat ennen kaikkea komponenttien suuri määrä ja kunnonvalvonnan vaikeus. Esimerkiksi kaukolämpöverkossa on satoja kilometrejä putkia maan alla ja tuhansia venttiileitä kaivoissa ympäri verkkoa. Tästä syystä standardin taulukkolaskentaohjelmalla ei voi tehdä kriittisyysanalyysiä koko verkolle, vaan tarkastelujoukko on rajattava. Tässä työssä tarkastelujoukoksi on rajattu huonokuntoiseksi havaitut kaukolämpöjohdot.

PSK 6800 kriittisyysanalyysimallin muuttujia pystytään hyödyntämään suurelta osin myös verkkojen kriittisyysanalyysissä. Kaukolämpöverkolle voidaan arvioida turvallisuusvaikutukset, tuotannon menetyskustannukset, korjauskustannukset sekä vikaantumisen todennäköisyys. Tässä opinnäytetyössä kehitetyssä kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysimallissa turvallisuusvaikutus muodostuu kaukolämpöjohdon sijainnista. Tuotannon menetyskustannukset taas arvioidaan vaurion aiheuttaman lämpökatkoalueen liittymien kaukolämpötehosta. Kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysissä vaurion korjauskustannukset muodostuvat varaosien saatavuuden ja maarakennuskustannusten summasta. Taulukossa 10 on esitetty vian vaikutusten tekijöiden painoarvot, kertoimet ja valintakriteerit. Tekijän kriittisyysarvo (K-arvo) saadaan kertomalla painoarvo valintakriteerin kertoimella.

Taulukko 10: Kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysi vian vaikutukset tekijät

Vian vaikutukset				
Tekijä	Painoarvo	Kerroin	Valintakriteeri	K-arvo
Myynnin menetys	25	0	Tilausteho alle 100 kW	0
		1	Tilausteho alle 500 kW	25
		2	Tilausteho alle 1 MW tai erityiskohteet*	50
		3	Tilausteho yli 1 MW tai kriittiset kohteet**	75
Maarakennuskustannus	5	0	Ei muita	0
		1	Venttiiliremontti	5
		2	Vesi-, sähkö- tai katusaneeraus	10
		3	Vesi-, sähkö- ja katusaneeraus	15
Turvallisuus	10	0	Ei katualueella	0
		1	Katualueella vähäinen liikenne	10
		2	Katualueella suuri liikenne määrä	20
		3	Kävelykatu / sillat ja ilmalinjat	30
Varaosat	10	0	Oma varasto (DN 20–100)	0
		1	Tukusta (DN 125–250)	10
		2	Tilausosa < viikko (DN 300–500)	20
		3	Tilausosa > viikko (DN 600-)	30
Painotus	50	%	max k-arvo	150

Taulukon 10 kertoimista on huomioitavaa, että maarakennuskustannuksen kertoimet ovat korkeammat vesi-, sähkö- tai katusaneerauskohteissa, vaikka todellisuudessa näissä yhteishankekohteissa maarakennuskustannuksen yksikköhinta on alhaisempi. Korkea kerroin johtuu juuri siitä, että näitä mahdollisia yhteishankekohteita halutaan nostaa kriittisyyslistalla. Myynnin menetys tekijässä erityiskohteiksi on luokiteltu päiväkodit, koulut, hoitokodit, kampaamot sekä ravintolat ja kriittisiksi kohteiksi sairaalat, suurteollisuus, valtion sekä puolustusvoimien rakennukset.

Vikaantumisen todennäköisyys on määritelty PSK 6800 standardissa vikaantumisvälin (MTBT) perusteella. Kaukolämpöjohdoille on vaikea määrittää vikaantumisvälejä, sillä putkirakenteilla ei ole tarkkoja käyttöiä. Myöskään vauriodatan perusteella ei pystytä määrittämään vikaantumisväliä, sillä suurin osa johdoista on edelleen alkupe räisiä. Näistä syistä vikaantumisväliä ei käytetty kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysissä, vaan vikaantumisen todennäköisyydelle kehitettiin kaavat vauriodatan perusteella. Kehitettyssä kriittisyysanalyysissä vikaantumisen todennäköisyys muodostuu

kaukolämpöjohtotyyppin, johdon rakennusvuoden, kaivotyyppin ja alueen aikaisempien vaurion summasta. Taulukossa 11 on listattu vikaantumisen todennäköisyyden tekijöiden painoarvot, kertoimet ja valintakriteerit. Tekijän kriittisyysarvo (K-arvo) lasetaan kertomalla painoarvo valintakriteerin kertoimella.

Taulukko 11: Kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysin vikaantumisen todennäköisyyden tekijät

Vikaantumisen todennäköisyys				
Tekijä	Painoarvo	Kerroin	Valintakriteeri	K-arvo
Putkityyppi	25	0	MPUK/2MPUK/JOP	0
		2	Betoni	50
		2	Asbesti	50
		3	MPUL	75
Rakennusvuosi	5	0	1990-	0
		1	1980–1989	5
		2	1970–1979	10
		3	1960–1969	15
Kaivoluokka	10	0	3-luokka (perus)	0
		1	2-luokka (pinnankorkeus mittaus)	10
		2	4-luokka (pumppukaivot)	20
		3	1-luokka (katastrofikaivot)	30
Aiemmat vauriot (200 m säde)	10	0	Ei aikaisempia vaurioita	0
		1	Yksi vaurio	10
		2	Alle 5 vauriota	20
		3	Yli 5 vauriota	30
Painotus	50	%	max k-arvo	150

Vian vaikutusten ja vikaantumisen todennäköisyyden painoarvot on määritelty yhdessä Jyväskylän Energian käyttöinsinööri Simo Hakosen ja verkostoinsinööri Jani Raudan kanssa. Painoarvot on jaettu vian vaikutusten ja vikaantumisen todennäköisyyden kesken tasan, niin että molemmat osa-alueet voivat saada maksimissaan kriittisyysarvon 150. Tällä tavoin voidaan vertailla puhtaasti lukuarvojen perusteella, onko tarkasteltavan kohteen vian vaikutukset vai vikaantumisen todennäköisyys merkittävämpi osa-alue.

Kohteen lopullinen kriittisyysarvo saadaan kertomalla vian vaikutusten ja vikaantumisen todennäköisyyden kriittisyysarvot keskenään. Näin ollen maksimi kriittisyysarvo saadaan alla olevalla laskutoimituksella:

$$150 * 150 = 22500$$

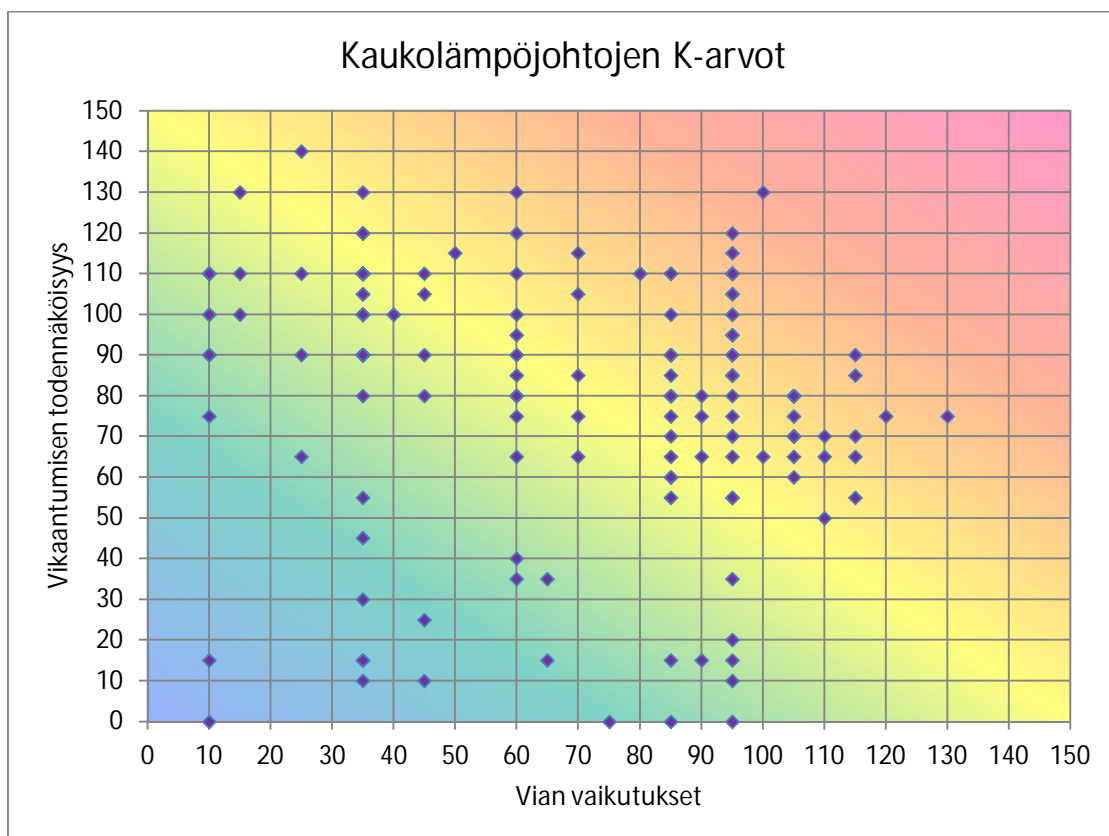
Kriittisyysanalyysissä on oleellista määrittää kriittisyydelle raja-arvo eli arvo, jonka jälkeen kohde on kriittinen. Kaukolämpöjohtojen kriittisyysanalyysimallissa määriteltiin kriittisyyden raja-arvon jakamalla kriittisyyden osa-alueiden maksimi kriittisyysarvot kahdella ja kerrotaan keskenään. Tällöin raja-arvoksi saatiin

$$\left(\frac{150}{2}\right) * \left(\frac{150}{2}\right) = 5625$$

Kriittisyysarvon laskennan jälkeen kriittiset kohteet jaettiin perusparannusalueisiin ja sen pohjalta muodostettiin perusparannuskohdelista. Aluejaossa kriittiset kohteet numeroitiin juoksevin numeron siten, että kohteen vian aiheuttaman lämpökatkon alueella olevat muut huonokuntoiset kohteet saavat saman numeron. Tällä tavoin saatiin perusparannettavia kokonaisuuksia, jotka kannattaa uusia samalla kerralla.

10.2 Kriittisyyslaskenta kaukolämpöjohdoille

Kaivotarkastuksen yhteydessä huonokuntoiseksi havaituista kaukolämpöjohdoista 44 % oli kriittisiä. Kuviossa 26 on esitetty kaikkien tarkasteltujen kohteiden kriittisyysarvot.



Kuvio 26: Kaukolämpöjohtojen kriittisyysarvot

Kuviosta 26 nähdään, että suurin osa tarkasteluryhmästä sijoittuu keltaiselle alueelle eli niiden kriittisyys on keskimääräistä tasoa. Sinisellä alueella olevia - kriittisyysdel-tään alhaisia – kohteita on noin parikymmentä. Selkeästi punaisella alueella olevia eli vahvasti kriittisiä kohteita on noin kymmenkunta. Johtoverkon omaisuudenhallinnan kannalta on järkevää kohdentaa kunnonvalvontaa näille punaisen alueen kohteille ja tehdä niille perusparannussuunnitelmat. Keltaisen ja sinisen alueen kohteiden kuntoa on syytä tarkkailla ja laatia perusparannussuunnitelmat vain huonokuntoisimmille kohteille.

Kriittisyystarkastelun jälkeen kriittiset kohteet jaettiin perusparannusalueisiin niin, että kohteen vian aiheuttaman lämpökatkon alueella olevat muut huonokuntoiset kohteet saavat saman numeron. Tällä tavoin perusparannusalueita syntyi yhteensä 49 kappaletta. Taulukossa 12 on esitetty kriittisten kohteiden perusparannusalueet sekä niiden kaivojen lukumäärä ja kriittisyysarvot.

Taulukko 12: Perusparannusalueet

Alue	Kaivojen lukumäärä	Suurin yksittäinen K-arvo	K-arvot yhteensä	
1	4	9975	36750	
2	4	7875	27975	
3	3	9500	26500	
4	3	10450	25400	
5	3	8625	24875	
6	3	8400	23100	
7	2	11400	19950	
8	3	6375	18725	
9	3	6800	16750	
10	3	8250	16700	
11	2	8000	16000	
12	2	9500	15875	
13	2	7600	15200	
14	2	7700	14350	
15	5	6650	14225	
16	2	7650	13950	
17	2	7200	13800	
18	2	8075	13175	
19	2	10350	12250	
20	2	7225	12025	
21	1	12000	12000	
22	1	10925	10925	
23	3	6800	10825	
24	1	9500	9500	
25	1	9500	9500	
26	1	9025	9025	
27	1	9025	9025	
28	1	8550	8550	
29	1	8550	8550	
30	2	8400	8400	
31	1	8400	8400	
32	1	8400	8400	
33	2	7350	8300	
34	1	8050	8050	
35	1	8050	8050	
36	2	6825	7825	
37	1	7650	7650	
38	1	7650	7650	
39	1	7500	7500	
40	1	7475	7475	
41	1	7350	7350	
42	1	7125	7125	
43	1	7125	7125	
44	1	6325	6325	
45	1	6000	6000	
46	1	5950	5950	
47	1	5850	5850	
48	1	5750	5750	
49	1	5700	5700	

Taulukosta 12 erottuu selvästi kriittisyysarvoltaan 6 suurinta perusparannusalueetta. Nämä alueet nousevat esille syystä, että näillä alueilla on hyvin kriittisiä yksittäisiä kohteita ja ne ovat perusparannusalueeltaan melko laajoja. Taulukosta nähdään, että suurin osa perusparannusalueista on vain yhden tai kahden kaivon laajuisia, mutta nämä kriittisyysarvoltaan suurimmat alueet ovat kolmen tai neljän kaivon laajuisia.

11 Perusparannusstrategia 2015–2025

11.1 Johdanto

Jyväskylän Energialla perusparannustoiminta on aiemmin perustunut pääasiassa lyhyentähtäyksen suunnitteluun. JE:lla on ollut tapana suunnitella perusparannuksia vuosi kerrallaan ja perusparannusbudjetti on perustunut pitkälti aiempien vuosien tasoon. Perusparannukset on kohdennettu tarkastuskierroksilla havaittuihin huonokuntoisiin kohteisiin, joilla on suuri vikaherkkyys tai kriittisyys.

Jyväskylän Energialla on ollut olemassa myös pitkätähtäimen perusparannussuunnitelmia muun muassa verkon suljettavuuden ja kriittisten syöttölinjojen parantamiseksi. Näitä suunnitelmia ei ole kuitenkaan toteutettu kovin systemaattisesti, vaan perusparantaminen on perustunut käytössä olevaan kunnossapitobudjettiin. Tulevaisuudessa JE:lla halutaan hallita verkon perusparannustoimintaa paremmin. Tätä varten kehitin pitkätähtäimen perusparannusstrategian vuosille 2015–2025. Strategiaassa määritetään kaukolämpöjohtojen pitkätähtäimen perusparannustarve, perusparannusmenetelmät ja listataan perusparannuskohteet. (Hakonen. 2014)

11.2 Perusparannustarve

Todellinen vuotuinen perusparannustarve riippuu muun muassa infrastruktuurihankkeista, kaavamuutoksista sekä kaukolämpöjohtojen kuntohavainnoista ja vaurioista (Kaukolämmön käsikirja 2006, 356). Tässä strategiassa kaukolämpöjohtojen pitkän-

tähtäimen perusparannustarvetta arvioitiin verkon nykyisen kunnan sekä korjausvelan ja korjausvastuun avulla.

Verkon nykyinen kuntotaso määriteltiin Energiateollisuuden tunnuslukujen ja tilastojen, Pöyryn benchmark- raportin sekä kuntohavaintojen perusteella. Näiden mitta-reiden mukaan Jyväskylän Energian kaukolämpöverkko on hyvässä kunnossa. Erityisesti lisävedenkulutus on selvästi alhaisempaa kuin samankokoisilla kaukolämpöyhtiöillä keskimäärin. Myös verkon käyttö- ja kunnossapitokustannukset johtopituutta kohden ovat alhaiset ja verkossa tapahtuu vähän vaurioita johtokilometriä kohden. Toisaalta JE:n verkkoa on uusittu huomattavasti keskiarvoa enemmän ja verkon perusparannuskustannukset ovat korkeammat. Tämä kertoo yhtiön aktiivisesta perusparannustoiminnasta. JE:n kaukolämpöverkon keskimääräinen keskeytysaika asiakasta kohden oli samalla tasolla Energiateollisuuden vertailuyhtiöiden kanssa.

Benchmark- raportin kaikkia verkon teknisiä tunnuslukuja vertailtaessa JE:n verkko on vertailujoukon toiseksi paras. Tarkastuskierroksilla on havaittu huonokuntoisia johtoja noin 10 %:ssa betonikaivoja. Huonokuntoisten kohteiden määrää voidaan pitää kohtuullisena.

Korjausvelan ja korjausvastuun laskentojen perusteella kaukolämpöjohtoja on uusittava vuoteen 2025 saakka vähintään 1402 johtometriä vuodessa. Tulevaisuudessa laskennallinen perusparannustarve tulee kasvamaan, kun 1980-luvun johtojen käyttöikä loppuu. Tästä antaa myös viitteitä ensimmäisen laskentamallin jatkuvasti kasvava korjausvelka. Ensimmäisen laskentamallin mukaan korjausvelan ehkäisemiseksi olisi vuosittain uusittava huimat 3700 johtometriä. Tätä lukua ei voida pitää uusittavan johtopituuden alarajana, sillä johtojen ennenaikainen uusiminen ei ole taloudellisesti perusteltua.

Laskentamallien mukaan Jyväskylän Energian kaukolämpöjohtojen perusparannustarve vuosille 2015–2025 on 1402–3700 johtometriä vuosittain. Verkon nykyisten kuntotietojen perusteella verkko on kuitenkin hyvässä kunnossa ja perusparannustoiminta on laajuudeltaan keskimääräistä selvästi suurempaa. Näiden kuntotietojen

perusteella laskentamallien perusparannustarpeen ylärajaa voidaan pitää turhan korkeana.

Laskentamallien ja nykyisten kuntotietojen avulla vuosien 2015–2025 perusparannustarpeeksi arvioitiin 1400–2400 m/a ja vuosittaiseksi perusparannusbudjetiksi 360 000–620 000 €. Vuonna 2013 uusittiin 1450 johtometriä, joka on hyvin linjassa perusparannustarpeeseen nähden. Myös arvioitu perusparannusbudjetti vastaa hyvin toteutuneita perusparannuskustannuksia.

11.3 Perusparantamisen laajuus ja perusparannusmenetelmät

Kaukolämpöjohtojen perusparantamisen laajuus tulee perustua aina kokemusperäiseen tietoon. Perusparannustyön yksikkökustannusten näkökulmasta suuret perusparannustyöt ovat kustannustehokkaimpia. Todellisuudessa kuitenkin työkohteen koon minimointi ja perusparannusinvestointien viivyttäminen johtaa kokonaistaloudellisesti edullisimpaan ratkaisuun. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 357, 359.). Tästä syystä kaukolämpöjohtojen ensisijaisena perusparannustoimena tulee olla vian paikallinen korjaaminen. Laajemmat perusparannustoimet ovat perusteltuja, jos johdon kunto on havaittu huonoksi myös viereisissä kaivoissa tai johtotyypillä on suuri vaurioherkkyys. Lisäksi muun rakentamisen yhteydessä on aina harkittava laajempia perusparannustoimia, sillä näissä hankkeissa on mahdollista säästä maarakennuskuluissa.

Kaukolämpöjohtojen perusparannusmenetelmä on aina valittava tapauskohtaisesti. Menetelmän valintaan vaikuttaa perusparannettavan johdon tyyppi, kunto, perusparannuksen laajuus sekä alueen muu rakentaminen. Kiinnivaahdotettujen johtojen paikallinen korjaus kannattaa tehdä vaihtamalla pätkä vaurioitunutta johtoa uuteen. Betonikanavien paikallinen perusparantaminen on usein järkevintä tehdä uusimalla vaurioitunut johto samalla rakenteella. Toinen vaihtoehto on asentaa kiinnivaahdotetut johdot betonikanavan sisään liikkuviksi rakenteiksi. Tämä korjaustapa on kuitenkin selvästi kalliimpi toteuttaa, joten se tulee kysymykseen vain hankalissa raken-

nusolosuhteissa. Vapaasti liikkuvia muovisuojakuorirakenteita ei tule korjata paikallisesti ollenkaan kahdesta syystä. Ensimmäinen vapaasti liikkuvia muovisuojakuorirakenteita ei kannata korjata samalla johtorakenteelle sen suuren vaurioherkkyyden takia. Toiseksi niitä ei voida korjata kiinnivaahdotetuilla johdoilla, koska kiinnivaahdotetuissa johdoissa ei ole erillistä vuotovesiputkea. Myöskään asbestisementtisuojojaputkijohtoja ei ole kannattavaa korjata paikallisesti, sillä asbestieristeiden purkaminen ja käsittely on luvanvaraista toimintaa. (Kaukolämpöverkon perusparannustoiminnan yhtenäistäminen 2008, 4–14.)

Kaukolämpöjohtojen perusparannukset kohdistuvat usein kaivoissa oleviin johtoihin, koska niiden kunto tunnetaan parhaiten. Kaivoissa tehtävien johtojen perusparannuksien yhteydessä on järkevää korjata ja huoltaa myös kaivon muita rakenteita. Alla on listattu kaivon perusparannuksissa tarvittaessa tehtäviä toimenpiteitä:

- kaivon puhdistus
- betonirakenteiden tiivistäminen
- kansiston vaihto tai tiivistäminen
- putkien uusiminen, hionta, maalaaminen ja eristäminen
- venttiileiden huolto tai uusiminen
- rautarakenteiden huolto tai uusiminen
- viemärin puhdistus.

Perusparannuskohteissa, joissa kaikki betonikaivosta lähtevät johdot ovat kiinnivaahdotettuja, on perusteltua poistaa betonikaivo tai korvata se maaventtiilikaivolla. Näin päästään eroon mahdollisesta riskikohdasta, sekä helpotetaan verkon kunnossapitoa.

Laajempien perusparannusten yhteydessä uusitaan johdot usein kaivoväliltä tai koko kadulta. Perusparannustöiden koko kannattaa taloudellisista syistä minimoida, mutta työkohteen läheisyyteen ei tule jättää verkonosia joiden arvioitu käyttöikä on alle 5 vuotta. Toisaalta samalla alueella useana vuonna tehtävät perusparannustyöt ja tois-

tuvat käyttökeskeytykset heikentävät kaukolämmön imagoa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 357, 359.). Tästä syystä vaurioherkkien johtojen perusparannustöitä voidaan laajentaa koko kadun laajuiseksi, vaikka johdon kunto olisi vielä hyvä. Laajojen perusparannuskohteiden perusparannusmenetelmät tulee valita aina tapauskohtaisesti.

11.4 Perusparannuskohteet

Vuosien 2015–2025 strategiassa perusparannuskohteiden valinta perustuu johtojen kuntotietoihin sekä kriittisyyslaskentaan. Strategiassa perusparannuslistalle poimitaan ensin johdot, joiden kunto on havaittu tarkastuskierroksilla huonoksi. Tämän jälkeen poimituille kohteille tehdään kriittisyyslaskenta. Kriittisyyslaskennan perusteella listalle jää kohteet, joiden kriittisyysarvo on raja-arvoa suurempi. Näistä kaikista perusparannuslistan kohteista tehdään suunnitelmat ja ne toteutetaan Jyväskylän Energian parhaaksi katsomalla ajankohdalla. Perusparannustöiden toteutusajankohta riippuu ennen kaikkea johdon kuntotilasta ja muusta rakentamisesta alueella. Perusparannuslista on esitetty kappaleen 10.2 taulukossa 12.

12 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajalle laskenta- ja analysointityökalut verkon perusparannuksien suunnittelua varten. Toisena tavoitteena oli määrittää kaukolämpöverkon perusparannustarve ja luoda perusparannuskohdelista. Lopuksi tavoitteiden pohjalta kehitettiin toimeksiantajalle perusparannusstrategia vuosille 2015–2025.

Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantajalle syntyi korjausvelan ja -vastuun Excel-laskentatyökalu, jossa on kaksi laskentamallia. Ensimmäinen laskentamalli perustuu Kuntaliiton kehittämään teoreettiseen malliin. Teoreettisessa mallissa korjausvelka ja -vastuuta syntyy tasaista tahtia johdon ikääntyessä. Ensimmäisen laskentamallin avulla voidaan hallita koko johtoverkon arvorakennetta, mutta sen pohjalta ei voida määrittää perusparannustarvetta tarkasti. Toinen laskentamalli on kehitetty vuosit-

taisen perusparannustarpeen määrittelyä varten. Myös toisessa mallissa korjausvastuu on riippuvainen johdon iästä, mutta siinä korjausvastuuta syntyy vasta johdon teknisen käyttöiän loputtua. Toinen työn tuloksena syntynyt Excel-työkalu oli kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysimalli. Kriittisyysanalyysityökalu pohjautuu suomalaisen PSK 6800 standardiin, jossa kohteen kriittisyys muodostuu vian vaikutusten ja vikaantumisen todennäköisyyden tulosta. Kriittisyysanalyysimallin vian vaikutukset ja vikaantumisen todennäköisyys koostuvat eri tekijöistä, joille voidaan määrittää painoarvoja. Kehitettyssä kaukolämpöverkon kriittisyysanalyysimallissa vian vaikutusten merkittävin tekijä oli lämpökatkoalueen teho ja vikaantumisen todennäköisyyden merkittävin tekijä oli johtotyyppi.

Opinnäytetyössä kaukolämpöverkon perusparannustarvetta arvioitiin verkon nykyisen kunnan sekä korjausvelan ja -vastuun avulla. Verkon nykyinen kuntotaso määriteltiin Energiateollisuuden tilastojen, Pöyryn benchmarkingin ja kuntohavaintojen perusteella. Näiden mittareiden mukaan Jyväskylän Energian kaukolämpöverkko on hyvässä kunnossa. Lisäksi tilastoista ilmenee, että JE:llä tehdään verkon perusparannuksia keskimääräistä enemmän. Ensimmäisen laskentamallin mukaan olisi kaukolämpöjohtoja uusittava vuosittain 3700 johtometriä, korjausvelan syntymisen ehkäisemiseksi. Tätä lukua ei voida kuitenkaan pitää uusittavan johtopituuden alarajana, sillä ensimmäisessä mallissa johdolle kertyy laskennallista korjausvelkaa, vaikka sillä on teknistä käyttöikä vielä jäljellä. Toisen laskentamallin mukaan kaukolämpöjohtoja on uusittava vuoteen 2025 saakka vähintään 1402 johtometriä vuodessa. Tulevaisuudessa laskennallinen perusparannustarve tulee kasvamaan, kun 1980-luvun johtojen käyttöikä loppuu. Näiden tietojen pohjalta uusittavaksi johtopituudeksi saatiin 1400–2400 johtometriä/a ja perusparannustarpeen euromääräiseksi suuruudeksi 360 000-620 000 €/a.

Opinnäytetyössä perusparannuslistakohteet valittiin johtojen kuntotietojen ja kriittisyyslaskennan avulla. Perusparannuslistalle poimittiin ensin johdot, joiden kunto on havaittu tarkastuskierroksilla huonoksi. Tämän jälkeen poimituille kohteille tehtiin kriittisyyslaskenta. Kriittisyyslaskennan perusteella listalle jäi kohteet, joiden kriitti-

syysarvo oli raja-arvoa suurempi. Opinnäytetyön tuloksena syntyneellä perusparannuslistalla on 88 kohdetta (betonikaivoa), joista muodostui 49 perusparannustyökohtetta. Perusparannustyökohteiden laajuus vaihteli 1-5 kaivon välillä.

Työn tavoitteiden pohjalta syntyneessä perusparannusstrategiassa kehoitettiin laatimaan suunnitelmat kaikista perusparannuslistankohteista ja toteuttamaan ne Jyväskylän Energian parhaaksi katsomalla ajankohdalla. Perusparannustöiden toteutusajankohta riippuu ennen kaikkea johdon kuntotilasta ja muusta rakentamisesta alueella. Perusparannusstrategiassa todettiin myös, että vikojen paikallinen korjaaminen on taloudellisesti kannattavinta useimmissa kohteissa. Laajempia perusparannuksia suositeltiin tehtävän muun rakentamisen yhteydessä sekä vaurioherkän johtotyypin vikaantuessa.

Työssä onnistuin mielestäni hyvin kaukolämpöjohtojen kriittisyysanalyysimallin kehittämisessä ja perusparannuskohdelistan luomisessa. Erityisen tyytyväinen olen siihen, että onnistuin löytämään kriittisyysanalyysimallin vian vaikutuksille ja vikaantumisen todennäköisyydelle tekijät, joilla on tilastollisia vaikutuksia. Tämän ansiosta kriittisyysanalyysimallin tuloksia voidaan pitää melko luotettavina. Lisäksi olen tyytyväinen kriittisyysanalyysimallin säädettävään rakenteeseen, jossa laskentaa voidaan tarpeen vaatiessa helposti hienosäätää muuttamalla tekijöiden painoarvoja tai valintakriteerien kertoimia. Huonokuntoisista ja kriittisistä kohteista muodostunut perusparannuskohdelista on mielestäni erittäin hyödyllinen Jyväskylän Energialle. Laatimalla ennakkoon suunnitelmat perusparannuslistankohteista, JE pystyy hallitsemaan tulevaa perusparannustoimintaa entistä paremmin.

Haastavinta opinnäytetyössä oli kaukolämpöjohtojen perusparannustarpeen laskeminen. Haasteita aiheutti valmiiden laskentamallien puuttuminen ja laskennan epätarkkuus. Epätarkkuus johtui siitä, että johtojen käyttöikä on vaikea ennustaa. Erietyisesti ensimmäinen laskentamalli vaatii lisäkehittämistä, jotta siitä saataisiin käytökelpoinen työkalu perusparannustarpeen laskentaan.

Opinnäytteen tuloksia voidaan hyödyntää monella tavalla kaukolämpöverkon pitkän-tähtäimen suunnittelussa. Perusparannustarpeen avulla voidaan hallita perusparannuskuluja ja perusparantamisen laajuutta. Kriittisyyslaskennan avulla saadaan tunnistettua verkon kriittiset kohteet, joiden kunto on huono. Sen avulla ei kuitenkaan voida vielä aikatauluttaa perusparannustöitä, sillä nykyisten kuntoluokkien (hyvä ja huono) avulla ei voida luokitella kohteen kuntoa riittävän tarkasti. Jatkossa huonokuntoiset kohteet olisi hyvä jakaa kahteen eri luokkaan, esimerkiksi alkaviin syöpymiin ja syöpymiin.

Tulevaisuudessa kaukolämpöjohtojen kriittisyyslaskenta olisi hyvä tehdä TrimbleNis verkkotietojärjestelmässä, jotta voitaisiin laskea koko verkko. Tällöin laskenta pysyisi myös paremmin ajan tasalla, sillä johtojen muuttuneita ominaisuus- tai kuntotietoja ei tarvitsisi erikseen päivittää Excel laskentataulukkoon. Toinen jatkokehittämissuositus olisi laajentaa perusparannusstrategia koskemaan myös muita verkon komponentteja, kuten venttiileitä. Näin pystyttäisiin hallitsemaan entistä paremmin perusparannuskustannuksia. Tämä voi kuitenkin olla haastavaa, sillä venttiileiden dokumentointi on ollut huonommalla tasolla kuin kaukolämpöjohtojen.

Lähteet

ArcGis paikkatietojärjestelmä. 2014. Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon paikkatietojärjestelmä.

Anton, J. & Gustin, D. 2000. Call center benchmarking : how good is "good enough". West Lafayette: Purdue University Press. Viitattu 12.3.2015. <https://janet.finna.fi/Call-center-benchmarking-how-good-is-good-enough>

Energiavuosi 2013 – Kaukolämpö. 2014. PowerPoint- esitys vuoden 2013 kaukolämmön tilastoista Energiateollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 5.1.2015. <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-kaukolampo>

Energiavuosi 2014 – Kaukolämpö. 2015. PowerPoint- esitys vuoden 2014 kaukolämmön tilastoista Energiateollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 4.3.2015. <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2014-kaukolampo>

Hakonen, S. 2014. Jyväskylän Energian lämpö- ja jäähdytysverkkojen käyttöinsinöörin haastattelu 11.11.2014.

JE-yhtiöt. Yritysesittely Jyväskylän Energian verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiot>

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uud. p. Helsinki: KP-Media.

Kaukolämpöliiketoiminnan benchmark. 2014. Pöyryn tekemä benchmark raportti Jyväskylän Energia kaukolämpöliiketoiminnasta.

Kaukolämmön keskeytystilastot 2013. 2014. Energiateollisuuden julkaisema tilasto.

Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiateollisuus. Helsinki: Kirjapaino Libris.

Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013. 2014. Energiateollisuuden julkaisema tilasto.

Kaukolämpöverkon perusparannustoiminnan yhtenäistäminen. 2008. Energiateollisuuden suositus KK4/2008.

Kaukolämmön vaurioutilastot 2013. 2014. Energiateollisuuden julkaisema tilasto.

Keski-ikä huomiointi sähköverkon nykykäyttöarvon laskennassa. 2011. Energiamarkkinavirasto, Emv. Perustelumuistio. Helsinki. [https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_11_EMV_Perustelumuistio_2_\(versio_3\)-2011.pdf/18914458-d0c8-4955-9ed4-1bb72ba832e6](https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Lahde_11_EMV_Perustelumuistio_2_(versio_3)-2011.pdf/18914458-d0c8-4955-9ed4-1bb72ba832e6)

Kesälä, A. & Koivula, H. 2012. Korjausvelka. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknistaloudellinen tiedekunta, Tuotantotalouden laitos. Viitattu 13.10.2014. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201205245591>

Lämmöntuotanto. Jyväskylän Energian lämmöntuotantorakenne yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/lampo/lammon-tuotanto>

Lämpötuotteet. Jyväskylän Energian lämpötuotteet yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/lampo/lampotuotteet>

Mikä kaukolämmössä maksaa? – Laatu ja korkeat verot. 2015. Tiedote Energiateollisuuden verkkosivuilla 11.2.2015. Viitattu 4.3.2015. <http://energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/mika-kaukolammossa-maksaa-laatu-ja-korkeat-verot>

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. p. Helsinki: PSK standardisointiyhdistys. Viitattu 10.3.2015. <https://janet.finna.fi/> PSK Standardit

PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK standardisointiyhdistys. Viitattu 10.3.2015. <https://janet.finna.fi/> PSK Standardit

PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. p. Helsinki: PSK standardisointiyhdistys. Viitattu 10.3.2015. <https://janet.finna.fi/> PSK Standardit

Pynnönen, S. 2008. Kaukolämpöverkon kunnossapito-ohjelma 2009–2020. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Talotekniikka.

Rantanen, J. 2014. Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittäminen. Loppuraportti. Helsinki: Suomen Kuntaliitto. Viitattu 13.10.2014. http://shop.kunnat.net/product_details.php?p=3023

SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2. p. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS. Viitattu 10.3.2015. <https://janet.finna.fi/> SFS Online

Simpura, S. 2014. Jyväskylän Energian lämpö- ja jäähdytysverkkojen verkostoinnin haastattelu 11.11.2014.

Strategia. Jyväskylän Energian strategia yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiöt/strategia>

Sähkötuotteet. Jyväskylän Energian sähkötuotteet yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/sahko/sahkotuotteet>

Toiminnot. Jyväskylän Energian Intranet "Einari". Viitattu 1.10.2014.

Tytäryhtiöt. Jyväskylän Energian tytäryhtiöt yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiot/tytar-ja-osakkuusyhtiot>

Vehmaskoski, T., Kananen, J., Okko, S., Vesterinen, J. & Nojonen, T. 2011. Rakennetun omaisuuden tila 2011. Helsinki: Nykypaino. Viitattu 13.10.2014. http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.roti.fi%2Fdocument.php%3FDOC_ID%3D329%26SEC%3D9b24711d32b37ce16e4b1cbbdbda27f1%26SID%3D1&ei=8pv-VKS6EsGqywPbtICQAw&usg=AFQjCNFcXipZCuJ5OMUzSzFBkYgMwKuy8Q

Vesihuolto. Jyväskylän Energian vesihuoltoesittely yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 1.10.2014. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/vesi>

Liitteet

Liite 1: Energiateollisuuden kaukolämpötilasto 2013. 2014. Jyväskylän Energian raportoimat kaukolämpötilastot.

Liite 2: Energiateollisuuden käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013. 2014. Jyväskylän Energian raportoimat käyttötaloudelliset tunnusluvut.