



Kaukolämpökaivojen kunnossapidon suunnittelu

Jalmari Tähtinen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TÄHTINEN, JALMARI
Kaukolämpökaivojen kunnossapidon suunnittelu

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Huhtikuu 2023

Tampereen Sähkölaitos Oy tarvitsi kaukolämpökaivojen kunnossapitosuunnitelmaan päivitystä ja realistisuutta. Töiden suunnittelijoilla oli käytössä Excel työkalu, joka piti saada ajan tasalle ja selkeämmäksi, jotta tulevaisuuden kunnossapitoa pystyttäisiin suunnittelemaan pidemmälle. Kunnossapitotietojen merkitseminen ja säilyttäminen on hyvin tärkeää, kun halutaan ennustaa seuraavan vuoden kunnossapitotöitä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota vuosien 2019–2022 kaukolämpökaivojen kunnossapitotiedot ja tehdä sen pohjalta kunnossapitosuunnitelman päivitys ja vikatiheyden määrittäminen kaukolämpökaivoille vuoteen 2050 asti. Tarkoituksena oli saada töiden suunnittelijoille toimiva työkalu, jota pystyy muokkaamaan kunnossapitotietojen muuttuessa.

Tutkimuksessa käytettiin hyväksi kunnossapitodataa, joka pohjautettiin standardeihin. Kunnossapitodata pitää sisällään kaukolämpökaivojen viat, tarkastukset, korjaukset ja niiden pohjalta kaivon kunnon. Kaukolämpökaivojen tarkastus- ja korjauskohteet oli jaettu standardien mukaan omiin kriittisyysluokkiin, joista pystyi arvioimaan kohteen kriittisyyden kokonaisuudessa.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin työkalu, joka pitää sisällään kunnossapitosuunnitelman ja vikatiheysennusteen vuoteen 2050 asti. Työssä huomattiin, että edellinen ennuste oli liian positiivinen ja siksi epärealistinen. Lisäksi kaikkia kunnossapitotietoja ei ollut merkitty kunnossapitojärjestelmään, mikä osoittautui kehittämis ehdotukseksi tulevaan kunnossapitoon. Työssä ehdotetaan, että jatkossa jokainen tarkastus, korjaus ja vika merkitään järjestelmään valokuvalla havainnollistettuna. Näin saadaan varmuus kaukolämpökaivon kunnosta, vaikka tehdystä työstä olisi kulunut jo aikaa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

AUTHOR TÄHTINEN, JALMARI:
Maintenance Planning for District Heating Wells

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 5 pages
April 2021

Tampereen Sähkölaitos Oy needed an update and realism in the maintenance plan for the district heating wells. The work designers had an Excel tool in use, which had to be updated to be able to plan the future construction work further. Marking and storing maintenance information is very important when predicting the next year's maintenance work. The goal of the thesis was to compile the maintenance data of district heating wells for the years 2019–2022, update the maintenance plan and determine the frequency of failures for district heating wells up to year 2050. The purpose was to have a functional tool for work designers that can be modified when the maintenance information changes.

Data for this study was gathered from standards-based maintenance data. Maintenance data included faults, inspections, repairs of district heating wells and the condition of the well. According to the standards, the inspection and repair targets of the district heating wells were divided into their own criticality categories.

As a result of the thesis work, a tool was created that includes a maintenance plan and failure frequency forecast until the year 2050. In the work, it was noticed that the previous forecast was too positive and therefore not realistic. In addition, not all maintenance information was recorded in the maintenance system. This observation was formulated into one of the development proposals for future maintenance. In the work, it is proposed that in the future every inspection, repair and fault be recorded in the system with a photo. This way we can be sure of the condition of the district heating well, even if some time has passed since the work was done.

Key words: hvac, district heating, maintenance

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS OY	7
3	KAUKOLÄMPÖVERKKO.....	9
4	KUNNOSSAPITO	12
	4.1 Kunnossapitolajit.....	13
	4.2 Ehkäisevä kunnossapito	14
	4.3 Korjaava kunnossapito.....	15
	4.4 Jaksotettu kunnossapito	15
	4.5 Kuntoon perustuva kunnossapito	16
5	KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELU	18
	5.1 Laitteiston ja järjestelmän kriittisyys.....	19
	5.2 Kunnossapitosuunnitelma.....	22
	5.3 Kunnossapitotöiden ennustaminen.....	23
6	KAUKOLÄMPÖKAIVOJEN KUNNOSSAPITO	24
	6.1 Kunnossapitosuunnitelma kaukolämpökaivoille	34
7	POHDINTA	37
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	39
	Liite 1. Kunnossapitosuunnitelma	39
	Liite 2. Kaukolämpökaivojen vikaantumistiheys ja ennuste	41

ERITYISSANASTO

Vikatiheys	Vikaantumista tietyllä aikavälillä
Kriittisyysluokka	Komponentin ominaisuuden kriittisyystaso
Kriittisyysindeksi	Laskettu kriittisyys komponentille
Parametri	Laitteen tai komponentin tekninen tieto
Elinjaksotulos	Elinjaksotuotoista vähennetty elinjakso kustannus
Työhuippu	Korkein työllistävä hetki

1 JOHDANTO

Tampereen Sähkölaitos Oy tarvitsi kaukolämpökaivojen kunnossapitosuunnitelmaan päivitystä ja kaukolämpökaivojen vikatiheysennusteelle realistisuutta, joka edistäisi töiden suunnittelua. Opinnäytetyössä tehdään Excel-työkalu Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämmön työsuunnittelijoille, johon kerätään kunnossapitotietoja. Työkalulla töiden suunnittelijat voivat arvioida kunnossapitokohteiden kriittisyyttä ja niiden toteutusjärjestystä. Työssä tehdään myös työkaluun ennuste tuleville vuosille kunnossapidon kehittymisestä, mikä sisältää vikaantumisprosentin ja kunnossapitosuunnitelman. Työkalu on tärkeä töiden suunnittelun kannalta, jotta kaikki kriittisimmät kohteet saadaan tehtyä oikeassa järjestyksessä. Työn tavoitteena on luoda Tampereen Sähkölaitos Oy:lle kaukolämmön kunnossapitotyökalu, jolla pystytään seuraamaan kunnossapitotöiden suuruutta ja laajuutta. Työssä kerätään kaikki kaukolämmön kunnossapitotiedot 2019–2022 väliseltä ajalta ja näiden pohjalta tehdään uusi ennuste vuoteen 2050 asti. Kerätyt kunnossapitotiedot auttavat suunnittelijoita havainnoimaan, kuinka paljon työtunteja kuluu tietynlaisiin kaukolämpökaivojen korjauksiin, tämä edesauttaa työhön varattavan realistista ajan määrää.

Ennusteessa keskitytään saamaan arvio kaukolämpökaivojen kunnossapidosta ja saamaan uusi vikatiheys kaivojen korjaamiselle. Kaivot ovat jaettu neljään kriittisyysluokkaan, joissa kriittisyysluokka 1 on kriittisin ja kriittisyysluokka 4 on ei-kriittisin. Kaukolämpökaivolla tarkoitetaan erilaisia kaivoja Tampereen kaukolämpöverkolla. Kaivoja ovat venttiilikaivot, venttiielementtikaivot, ilmauskaivot, tyhjennyskaivot ja materiaalinmuutos kaivot. Kaukolämpöventtiilit sijoitetaan aina kaukolämpökaivoon, koska ne ovat sijoitettu ympäri kaupunkia kaukolämpöverkon alueelle. Koska kaukolämpöverkkoa on Tampereella noin 600 kilometriä, on kaukolämpökaivoja myös erittäin paljon (Tampereen Sähkölaitos Oy).

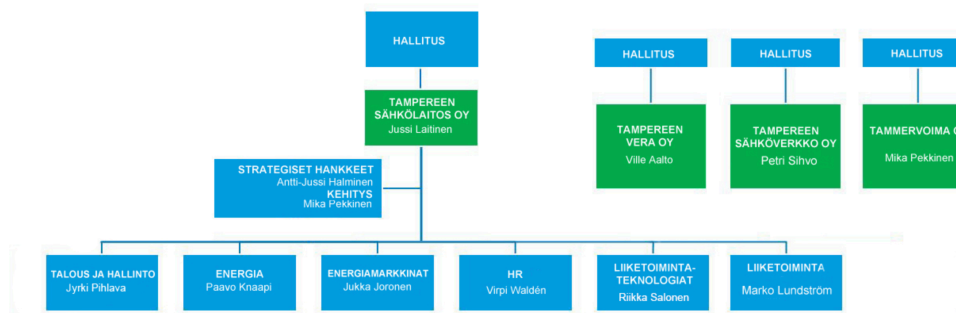
Excel-työkalua on tehty vuonna 2016, jolloin ennuste tehtiin vuoteen 2030 asti. Laskentatavat ja kriittisyysluokat perustuvat PSK-6800 standardiin. Työssä keskeisimmät lähdekirjallisuudet ovat PSK-6800 standardi, PSK-6201 ja kunnossapito käsikirjat. Työ täydentää lähteitä konkreettisella kunnossapidolla, koska laskennassa käytetään esimerkiksi PSK-6800 standardin laskentatapoja.

2 TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS OY

Tampereen Sähkölaitos Oy on Tampereen kaupungin 100 prosenttia omistama osakeyhtiö. Tampereen Sähkölaitos Oy liikevaihto vuonna 2021 oli noin 255 miljoonaa euroa. Verrattuna vuoteen 2019 kasvua tapahtui noin 24,5 prosenttia, kasvua aiheutti mm kylmä talvi, joka nosti lämmitysvolyymia 17 prosenttia ja pörsisähkön myyntiä 10 prosenttia. Henkilöstöä tilikauden aikana oli keskimäärin 397. (Tampereen Sähkölaitos Oy 31.12.2021)

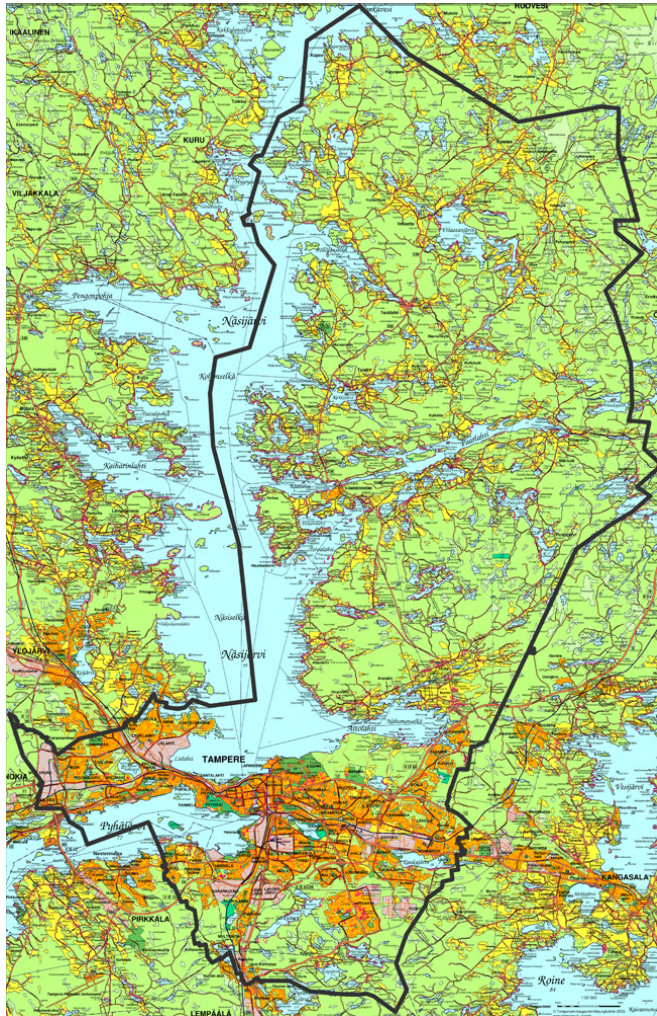
Tampereen sähkölaitos Oy toimittaa kaukolämpöä, kaukojäähdytystä, sähköä, ja maakaasua yksityisasiakkaille ja yritysasiakkaille. Sähkölaitos on ollut toiminnassa vuodesta 1888. Kuvassa näkyy Tampereen Sähkölaitoksen yhtiöt (KUVA 1). Emoyhtiöön kuuluu talous ja hallinto, energia, energiamarkkinat, HR, liiketoiminta teknologiat ja liiketoiminta.

Tampereen Sähkölaitos -yhtiöt



KUVA 1. Tampereen sähkölaitoksen yhtiöt (Tampereen Sähkölaitos Oy)

Tampereen Sähköverkko Oy vastaa sähköverkon kunnossapidosta, rakennuttamisesta, suunnittelusta ja käytöstä, se toimii jakeluverkon haltijana pääosin Tampereen alueella. Sähköverkko toimittaa sähköliittymiä eli käyttöpaikkoja mihin sähköenergia siirretään jakeluverkkoa käyttäen. Sähköverkko Oy hoitaa asiakkaidensähköenergian mittaukset ja toimittavat myös mittarilukemat eri sähkönmyyjille (Tampereen Sähköverkko Oy). Kuvassa näkyy sähköverkon hallinnoima alue (KUVA 2.).



KUVA 2. Tampereen Sähköverkko Oy:n hallinnoima alue (Tampereen Sähköverkko Oy).

Tampereen Vera Oy varmistaa, että joka paikassa on yhteiskunnalle ja yrityksille virtaa ja valoa, jotka tukevat yhteistä elinympäristöä ja elämän tarpeita. Veran tehtäviin kuuluu toteuttaa sähköverkot, ulkovalaistukset ja liikennetkaisuut. Vera myös tarjoaa kaikkialle Suomea asiantuntija- ja lisäpalveluita julkisyhteisöille ja lisäksi energia-, teollisuus- ja rakennusyhteisöille.

Tammervoima Oy on hyötyvoimalaitos, joka on voittoa tavoittelematon. Voimalaitoksella tuotetaan lämpöä kaukolämpöverkkoon polttamalla roskaa, jonka avulla voidaan kaukolämmön hintaa vakauttaa ja jätteenkäsittelymaksujen nousupaineita tasata (Tammervoima Oy).

3 KAUKOLÄMPÖVERKKO

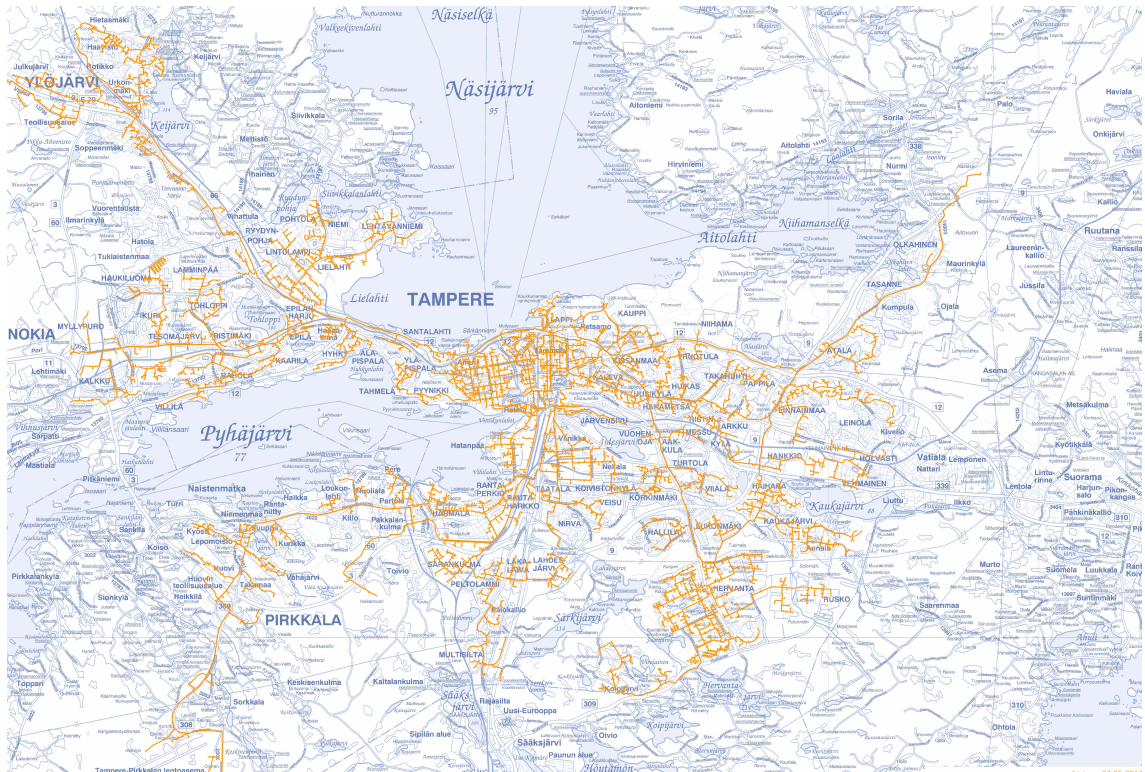
Kaukolämmön lämpöenergiaa tuotetaan tuotantolaitoksilla ja se jaetaan kaukolämpöverkon avulla kuumana vetenä asiakkaille. Rakennukseen tulevassa menoputkessa kulkee lämpötilaltaan 65–115 °C kuumavesi. Kuumavesi kiertää rakennuksessa olevan lämmönsiirtimen kautta ja luovuttaa lämpöä asiakkaalle, näin kaukolämpövesi jäähtyy. Rakennuksesta poistuvan paluuputken lämpötilat vaihtelevat yleensä 40 °C ja 60 °C välillä. Lämpötilat vaihtelevat sään mukaan, joten lämpötilan vaihteluväliä selittää sen riippuvuus ulkolämpötilasta. Kaukolämpövedestä poistetaan mekaaniset epäpuhtaudet ja happi. Tämä tehdään, jotta putkien sisäpuolet eivät joudu korroosion armoille. Vesi myös värjätään vihreäksi, jotta mahdolliset vuodot kaukolämpöverkossa on mahdollista havaita ja erottaa esimerkiksi sadevedestä. (Energiateollisuus).

Nykyään kaukolämpöverkkojen rakentamisessa käytetään kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtoja, joissa on teräksisen virtausputken ja muovisen suojaputken välissä uretaanieristys. Kuvassa (3) on esimerkki nykyisin käytetystä kaukolämpöputkesta. Kaukolämmön jakojohdoista on yksittäisin eli 2Mpuk ja sellaisia kokonaisuuksia, jossa yhdessä elementissä menee menoputki ja paluuputki, sitä kutsutaan Mpuk:ksi. Tällaisten putkien käyttöikä on jopa 100 vuotta. Mpuk sopii käytettäväksi pienissä ja keskisuurissa lämpöjohdoissa kokoon 200 mm olevaan virtausputkeen asti. 2Mpuk sopii pieniin, keskisuriin ja isoihin lämpöjohtoihin. Mpuk:ia käytetään yleensä tilanpuutteen vuoksi. Virtausputkien halkaisijat voivat vaihdella 20 mm:stä jopa 1000 mm asti. (Energiateollisuus).



KUVA 3. Kaukolämpöjohtojen rakennusvaihe 2Mpuk. (Kuva: Jalmari Tähtinen 2022)

Tampereen kaukolämpöverkko on Tampereen, Pirkkalan ja Ylöjärven alueella ja sen laajuus on noin 600 kilometriä. Lämpöverkossa kiinni olevia asiakkaita on reilu 5500 kappaletta. Tampereen alueella rakennetaan ja kunnostetaan vuosittain lisää kaukolämpöverkkoa eri puolilla toiminta-alueita. Toiminta-alue on kuvattu kuvassa (4), josta näkyy kaukolämpöverkko Tampereen ympäristössä. Kuva (4) on vuodelta 2017, joten se on suuntaa antava.



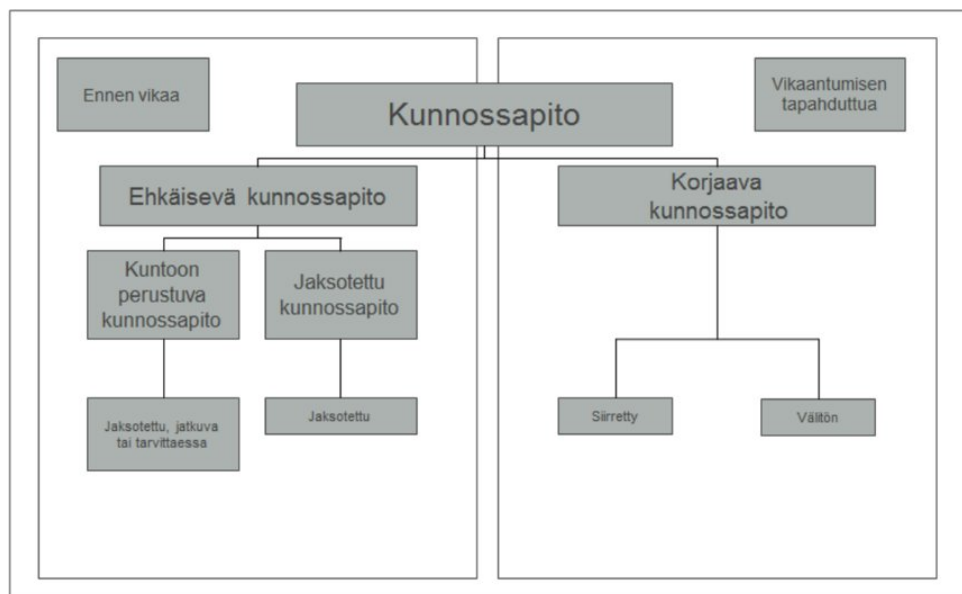
KUVA 4. Tampereen kaukolämpöverkko kartalla. (Tampereen Sähkölaitos Oy).

Kiinteistöillä, jotka ovat verkon läheisyydessä on mahdollisuus liittyä kaukolämmön käyttäjiksi. Kaukolämpö lämmitysmuotona Tampereella on kaikenkokoisten kiinteistöjen luotettava lämmitysratkaisu. Kaukolämpö on palvelumuotoinen lämmitystapa, johon energiayhtiö sitoutuu kiinteistön koko elinkaaren ajaksi. Kaukolämpö voidaan myös soveltaa muiden lämmitysmuotojen kanssa kuten, maalämmön ja poistoilmapumppujen kanssa. (Tampereen Sähkölaitos Oy).

4 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on laaja ja monitasoinen käsite. Sen tavoitteena on suorittaa tuotteiden tai asioiden turvallinen ylläpito tai tuotteiden valmistus. Hyvällä kunnossapidolla varmistetaan, että haluttu tuote tai asia on laadun ja kustannusten suhteen turvallista tuottaa ja ylläpitää. Yleisessä kunnossapidossa varmistetaan korjaaminen ja huoltaminen, jotta laitteiden tai asioiden toimintakyky säilyy. Mahdolliset viat on pystyttävä korjaamaan minimiviiveellä, jotta tuotanto ja ylläpito säilyy. Myös seuranta ja ennakointi on perusedellytys toimintojen varmistamiseksi. (Edu03)

Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkkojen kunnossapito on jaettu ehkäisevään kunnossapitoon ja korjaavaan kunnossapitoon (KUVA 5).

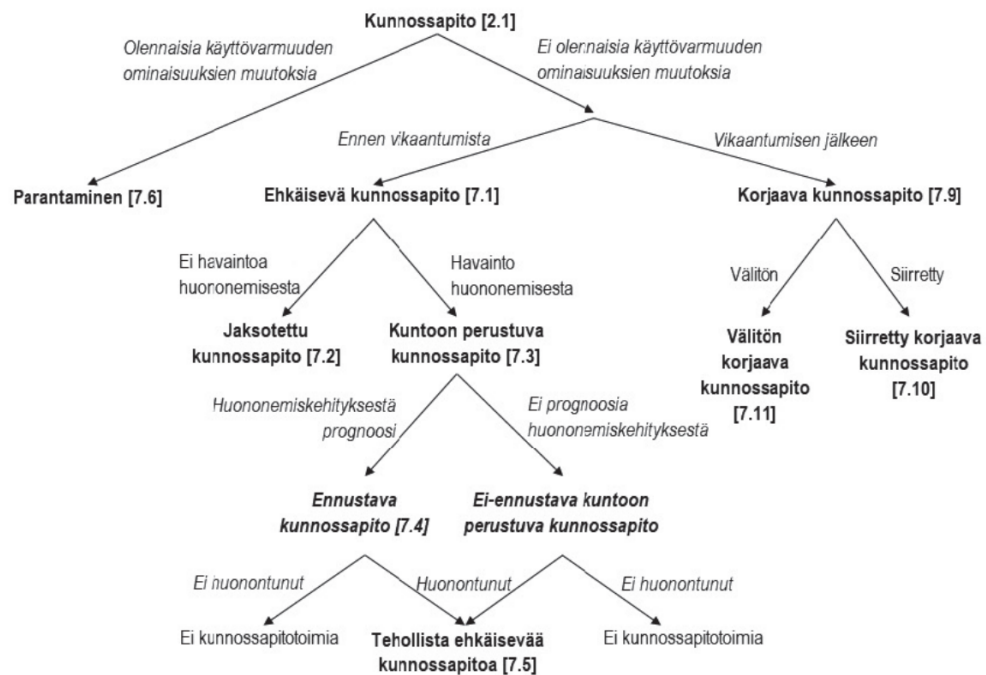


KUVA 5. Kunnossapidon jako. (Mikkonen 2009, 98)

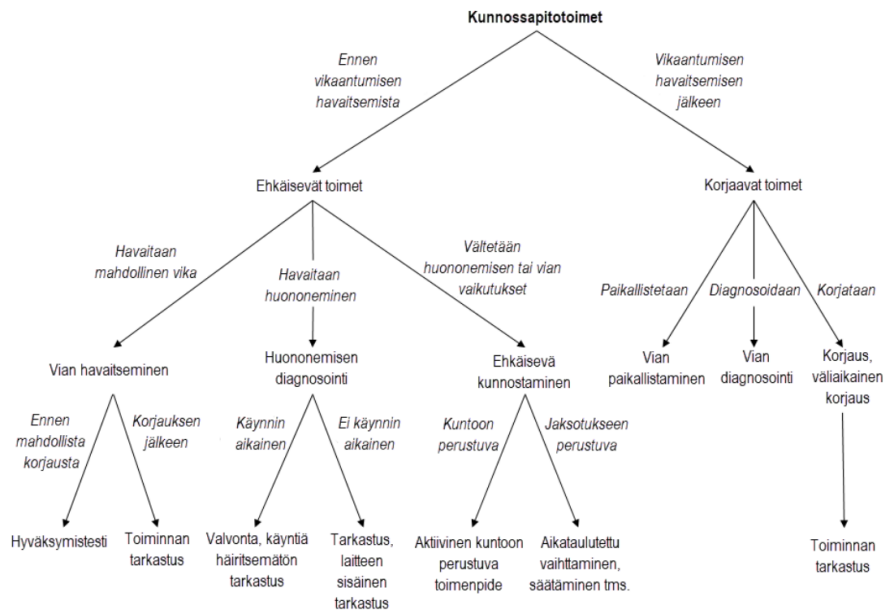
Taloudellisesti kunnossapidon merkitys on lisääntynyt nykyään huomattavasti ja sen myötä tarvittava osaaminen on kasvussa. Ennen kilpailutettiin tuotantokoneistoja ja sen avulla saatiin taloudellista etua, mutta jatkossa on varmasti nähtävissä se, että tuotantokoneistot ovat samantapaisia ja sen myötä erityisesti kunnossapidon kilpailutus kasvaa. Myös ympäristöystävällinen tulevaisuus on jo tätä päivää, se pitää huomioida, jotta kunnossapidolla saadaan vanhempiinkin laitteisiin parempia hyötysuhteita ja parempaa käytettävyyttä (Mikkonen 2009, 28).

4.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapito pitää sisällään erilaisia kunnossapitolajeja, kuten ehkäisevä kunnossapito ja korjaava kunnossapito. (KUVA 6) havainnollistaa hyvin kunnossapidon hierarkian SFS-EN 13306:n mukaan. SFS-EN standardi havainnollistaa myös hyvin kunnossapitotoimet ehkäisevälle kunnossapidolle sekä korjaavalle kunnossapidolle. (KUVA 7) yksinkertaistaa toimien sisällön ja järjestyksen.



KUVA 6. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306 mukaan. (SFS-EN 13306 2017, 25)



KUVA 7. Kunnossapitotoimet SFS-EN 13306 mukaan. (SFS-EN 13306, 26)

4.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevällä kunnossapidolla seurataan tuotteen tai asian kaikkia oleellisia tietoja, kuten suorituskykyä tai parametreja. Ehkäisevän kunnossapidon tavoitteena on vähentää tai jopa poistaa tuotteen tai asian toimintakyvyn heikkeneminen tai sen vikaantumisen todennäköisyyttä. Se on myös aina säännöllistä ja se tehdään ennen asian vikaantumista, myöskin se on jatkuvaa tai aikataulutettua kunnossapitoa. Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyy jaksotettu kunnossapito, kunnonvalvonta, kuntoon perustuva kunnossapito ja ennustava kunnossapito. Kun ehkäisevä kunnossapito on tehty, voidaan sen datan pohjalta aikatauluttaa ja suunnitella erilaisia kunnossapidon tehtäviä tulevaisuudessa. Ehkäisevän kunnossapidon tapoja ovat esimerkiksi (Järviö 2012, 50):

- Tuotteen tai asian tarkastaminen
- Kuntoon perustuva kunnossapito
- Kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaaminen
- Määräysten mukaisuuden toteaminen
- Testaaminen tai toimintakunnon toteaminen
- Käynnissä olon valvonta
- Vikaantumistietojen analysointi

4.3 Korjaava kunnossapito

Korjaavalla kunnossapidolla korjataan tai palautetaan käyttökuntoon todettu vikaantunut komponentti tai asia. Korjaavaa kunnossapito voi olla suunnittelematon häiriökorjaus tai suunniteltu komponentin kunnostus. Näiden korjauksien suoritusajoilla pystytään laskea asian tai komponentin elinaika. Häiriökorjaukseen kuuluu välitön ja siirretty korjaus, mutta ovat osa korjaavaa kunnossapitoa (Järviö 2012, 51). Korjaavan kunnossapidon tapoja ovat esimerkiksi (Järviö 2012, 51):

- Tuotteen tai asian vian määrittäminen
- Vian tunnistaminen
- Vian paikallistaminen
- Korjaus tai väliaikainen korjaus
- Toimintakunnon palauttaminen

Välitön suunnittelematon korjaus on korjaavan kunnossapidon toimenpide, se tehdään yleensä heti kun vika tai muu poikkeama on havaittu. Tämä tehdään, jotta pystytään palauttamaan laitteen toimintakunto tai rajoittaa vian aiheuttamat seuraukset siten, että ne ovat hyväksyttävällä tasolla. Välitön korjaustarve on sellainen, jota ei pystytä valmistella, jolloin ne ovat yllätyksellisiä ja saattavat sisältää usein erilaisia viiveitä suorittajalle. Nämä korjaustarpeet voivat yleensä ilmetä välittömästi tai hieman viiveellä, kun poikkeama tai -oirehavainto on tehty (PSK 6201, 27).

4.4 Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu huolto on jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka kuuluu ehkäisevään kunnossapitoon. Jaksotettu huolto pitää sisällään kohteen tarkastamisen, säädön, rasvauksen, puhdistuksen tai minkä tahansa vastaavan toimenpiteen. Jaksotettu huolto tehdään aina määräväleihin aikataulutetusti. Huollolla tavoitteena on ylläpitää kohteen tai asian käyttöominaisuuksia ja palauttaa heikentynyt toi-

mintakyky jo ennen minkään vian syntymistä ja estää vaurion syntyminen. Suunnitellut aikataulut huolloille määräytyvät käyttöajan tai -määrän mukaan, kuitenkin niin että, otetaan huomioon kohteen käytön rasittavuuden. Huolto ja ehkäisevä kunnossapito pitää sisällään osittain päällekkäisiä tehtäviä, sen takia jaksotettu kunnossapito kuuluu myös ehkäisevään kunnossapitoon (Järviö 2012, 50). Jaksotettuun huoltoon kuuluu esimerkiksi (Järviö 2012, 50):

- Toimintaedellytysten vaaliminen
- Puhdistus
- Voitelu
- Huoltaminen ja huolto
- Kalibrointi
- Kuluvien osien vaihtaminen
- Toimintakyvyn palauttaminen

Voiteluhuolto on osa jaksotettua kunnossapitoa, koska sillä ylläpidetään kohteen voitelu ja laatu halutulla tasolla. Se on jatkuvaa, suunniteltujen väliajoin tai tietyn käyttömäärän jälkeen tehtävä toimenpide (PSK 6021, 32).

4.5 Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito pitää sisällään ehkäisevää kunnossapitoa, missä havainnoidaan asian suorituskykyä ja muita parametreja. Näiden havaintojen pohjalta aletaan toimia. Suorituskyvyn ja muiden parametrien seuranta voi olla aikataulutettua, suunniteltua ja jatkuvaa, se ei kuitenkaan pois sulje toimintaa tarvittaessa. Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu yleensä kunnonvalvontaan, tarkastuksiin ja parametrien seuraamiseen, kuitenkin kuntoon perustuvassa kunnossapidossa on sisällä kaikki muut asiaan liittyvät kunnossapitotoiminnot, kuten esimerkiksi (Mikkonen 2009, 100):

- Kunnossapidon vaatimukset
- Kunnossapidon ohjaus
- Kunnossapidon suunnittelu
- Resurssien hallinta ja kehittäminen
- Kunnossapidon prosessien ja toimintojen rakentaminen
- Kunnossapidon tulokset
- Kunnon valvonta, kuntotutkimukset, suurkorjaukset, Investoinnit
- Kunnossapidon toteutus, työsuunnittelu ja toimenpiteet

PSK 6201 mukaan kuntoon perustuva kunnossapito on kohteen määräajoin tai jatkuvaa havainnointia ja havainnoinnin perusteella tehtäviä toimenpiteitä. Sillä pystytään vähentämään vikaantumisen seurauksia havainnoimalla vikoja tai oireita ja reagoimaan niihin ennen kuin laite tai asia vikaantuu toimintakyvyttömäksi. Näistä tiedoista saadaan myös tieto vian aiheuttajasta, mikä auttaa tulevaisuudessa reagoimaan aikaisemmin oireeseen. (PSK 6201, 31.)

5 KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELU

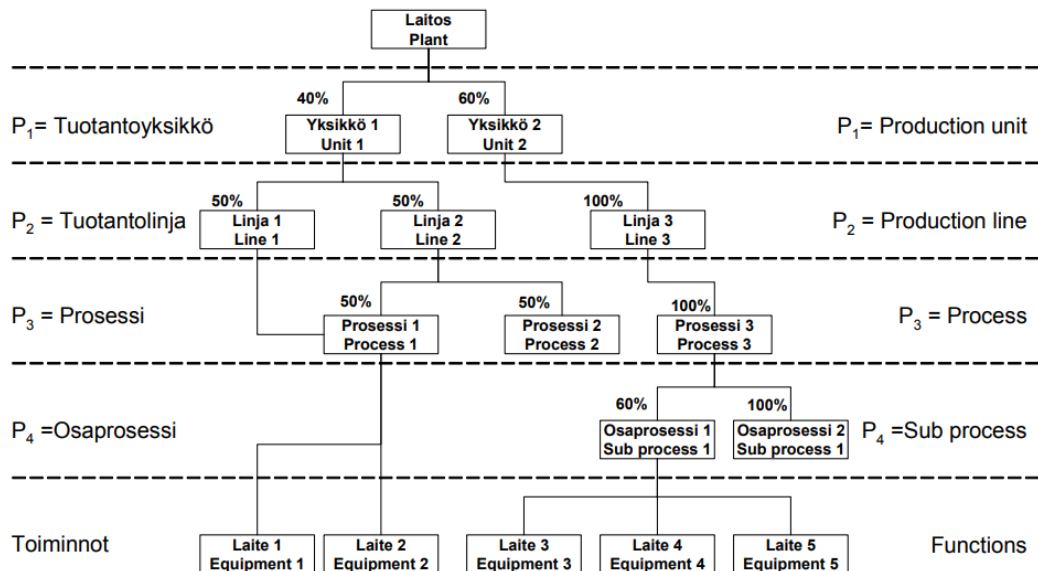
Kunnossapidon suunnittelu on jatkuvaa työtä ja sen merkitys korostuu investointien yhteydessä, jolloin kunnossapito tapa ja kustannustaso usein määräytyvät. Kunnossapidon suunnittelu rakennetaan laitteiston ominaisuuksien ja tuotanto-toiminnan luonteen, sekä toimintaympäristön perusteella. Suunnittelun tavoitteena on saada mahdollisimman luotettava käytettävyys laitteistolle ja pyrkiä mahdollisimman hyvään elinjaksotulokseen. Näihin tavoitteisiin pyritään kolmella käytettävyyteen vaikuttavalla osatekijällä: toimintavarmuus, kunnossapidettävyyden, kunnossapitovarmuus oikea aikaisilla suunnittelutoimenpiteillä, jotka perustuvat luotettaviin lähtötietoihin. (PSK 6201, 44.)

Yksi tärkeä osa kunnossapidon suunnittelua on kunnossapitostrategia. Kunnossapitostrategiassa pyritään saavuttamaan kunnossapidon tavoitteet liikejohdollisten keinojen avulla. Henkilöstöresurssit, kunnossapidon tilat ja välineet, kunnossapidon yleissuunnitelma, kunnossapidon materiaalitoinnot ja laitteiston tekninen tiedon hallinta määräytyy kunnossapitostrategian kautta. (PSK 6201, 44).

Kunnossapidon suunnittelu pitää monia asioita sisällään kuten: yleissuunnitelman, tehtäväanalyysin, kunnossapitopaikan, kunnossapidon toimituspaikan, kunnossapitovaatimukset ja kunnossapitoennusteen. Käyttöympäristön mukaisesti tukitoimintoja ja kunnossapitoa varten tehdään yleissuunnitelma. Kohteen vaatimat resurssit määritellään kunnossapitosuunnitelman mukaan yleissuunnitelmassa. Kunnossapitoanalyysissä tunnistetaan kunnossapitotehtävät järjestelmälle tai laitteelle, sekä niiden koulutustarve ja resurssit pystytään arvioimaan. Kunnossapitopaikka voi olla esimerkiksi kunnossapidettava korjaamo tai laitteen sijaintipaikka, joka on suunniteltu kunnossapitopaikka. Kunnossapidettävälle kohteelle toimitetaan määrättyjä kunnossapidon tasoja kunnossapidon toimituspaikasta, joka on organisaation sisäinen. Kunnossapitovaatimukset määritellään kattavasti laitteiston tai järjestelmän vaadituista laadullisista ja määrällisistä ominaisuuksista. Nämä seikat on otettava huomioon todennettavassa käytössä ja suunnittelussa. Kunnossapidettävyydenennuste on arvio kunnossapidettävyysominaisuuksista, joka perustuu hetkiseen kunnossapitotietoon tai kunnossapidettävyydenanalyysiin (PSK 6201, 44).

5.1 Laitteiston ja järjestelmän kriittisyys

Kriittisyyden tarkasteluun käytetään ensisijaisesti tuotannon menetyksen painoarvon määrittämistä. Menetelmää voidaan käyttää myös käyttöhyödykeprosessien tarkasteluun. P1-P4 ovat painoarvokertoimia, joilla kuvataan prosessitekni-
 ten toimintojen keskinäistä riippuvuutta. Painoarvokertoimien avulla pystytään laskemaan tuotannon menetyksen painoarvo W_p . Kriittisin laite saa painoarvon 100%, kuvassa (8) havainnollistetaan prosessihierarkian vaikutus painoarvoker-
 toimiin P1-P4. (PSK 6800, 5).



KUVA 8. Vaikutuskertoimet tuotannossa. (PSK 6800, 5)

Tuotantoyksikön painoarvokerroin P1 kuvaa sen suhteellista osuutta koko laitok-
 sen tuotoksesta. Yksikköjen kertoimien summa on kuitenkin 100 %. Painoarvo-
 kerroin P2 on tuotantolinjan kerroin, joka on suhteellinen osuus koko tuotantoyk-
 sikön tuotoksesta. P3 on prosessin painoarvokerroin, jos niitä on useampia voi
 niitä kytkeä sarjaan tai rinnan. Jos prosessit kytketään sarjaan, on niiden paino-
 arvokerroimet samat. P4 on osaprosessin painoarvokerroin, sen painoarvo riip-
 puu siitä, onko sen lähtövirran välttämättömyys palveleville kohteille. Myös osa-
 prosesseja voi kytkeä sarjaan tai rinnan samalla tavalla, kuin normaaleja proses-
 seja. Kaikilla näillä painoarvokerroimilla saadaan laskettua kaavasta (1) W_p , eli
 tuotannon menetyksen painoarvokerroin. (PSK 6800, 6).

$$W_p = P_4 * P_3 * P_2 * P_1 \quad (1)$$

jossa W_p on tuotannon menetyksen painoarvokerroin, P_4 on osaprosessin painoarvokerroin, P_3 on prosessin painoarvokerroin, P_2 tuotantolinjan painoarvokerroin ja P_1 on tuotantoyksikön painoarvokerroin.

Tuotannonvaikutusten laskennan jälkeen, voidaan määrittää taulukon (1) mukaan laitteiden kriittisyysindeksi K. (PSK 6800,7). Laitteen kriittisyysindeksi lasketaan kaavan (2) mukaan.

$$K = p * (W_s * M_s + W_e * M_e + W_p * M_p + W_q * M_q + W_r * M_r) \quad (2)$$

jossa K on laitteen kriittisyysindeksi, p on vikaantumisväli, W_s on painoarvo turvallisuusriskeille, M_s on M kerroin, tämä koskee jokaista M arvoa kaavassa (2), W_e painoarvo ympäristöriskeille, W_p painoarvo tuotannon menetykselle, W_q painoarvo laatukustannukselle, W_r painoarvo korjaus- tai seurauskustannuksista.

TAULUKKO 1. Laitetason kriittisyyden tekijät. (PSK 6800, 7)

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	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	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava 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
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	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)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi >24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	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)	
		$M_q = 3$	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)	
Korjaus- tai seurauskustannukset	Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	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)	

Kriittisyyteen sisältyy myös poikkeamia, vikoja ja vikatiloja. Poikkeama voi olla kohteen huonontunut suorituskykytila, vika, osittainen vika, häiriö tai oire. Myös ilman suorituskyvyn muutosta, poikkeamia voi olla normaalista poikkeavat mitausarvot. Poikkeama viittaa myös yleisesti palvelun tai laadun muutokseen verrattuna vaatimuksiin. Vikatila tai vika on tila, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa. Kuitenkin pois lukien ehkäisevän kunnossapidon, jonkin muun suunnitellun toimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteesta johtuvan toimintakyvyttömyyden. (PSK 6201, 21).

5.2 Kunnossapitosuunnitelma

Kunnossapitoa tehtäessä tarvitaan kunnossapitosuunnitelma, se on jäsennelly ja dokumentoitu työtehtävien joukko, sisältäen aikataulun, resurssit, toimenpiteet sekä menetelmäkuvaukset. Laitteen tai laitteiston hankinnan yhteydessä tehdään kunnossapitosuunnitelma ja kun tarve vaatii, sitä päivitetään. Kunnossapitosuunnitelma voi myös sisältää huoltosuunnitelman ja korjaussuunnitelman lisäksi, esimerkiksi laitteiden elinjaksosuunnitelmat ja parannussuunnitelmat. Epäsuorasti kunnossapitoon liittyviä asioita, kuten laitteiden lakisääteiset tarkistukset, takuuajat ja ohjelmien päivitykset voivat olla myös osana kunnossapitosuunnitelmaa. Korjaussuunnitelma sisältää tiedot tarvittavista resursseista, tarpeelliset dokumentit, sekä ohjeet kohteen korjausta varten. Se sisältää myös tietoa esimerkiksi, turvallisuuteen liittyvistä vaatimuksista, työkaluista, kohteesta, työn suorittamisesta, tarvittavasta osaamisesta, telineistä, nostolaitteista ja varaosista. Huoltosuunnitelma sisältää kohteen tai laitteen suunnitellun kunnossapidon toimenpiteitä elinkaaren eri vaiheissa, sitä päivitetään tarvittaessa vastaamaan kohteen vaatimuksia. Se voi sisältää tietoa esimerkiksi, jaksotuksesta, suunnitellun kunnossapidon toimenpiteistä, kohteesta, toteutukseen tarvittavista henkilö-, väline- ja varaosaresursseista, sekä toimenpiteen vaatimasta ajasta. (PSK 6201, 21).

Tiedossa olevien kunnossapitotehtävien toteutuksen suunnittelua kutsutaan kunnossapidon työnsuunnitteluksi. Se toteutetaan kunnossapitotehtävien kustannuksia ja tuotannon kannattavuutta optimoiden. Työnsuunnittelu on tärkeää ja sen merkitys korostuu erityisesti työhuipuissa, kuten tuotantoseisokkien aikana tehtävissä töissä. Työsuunnittelun suunnitteluvaiheessa työtilauksen työ vaiheistetaan. Työvaiheelle selvitetään tuotannon kannalta sopivin aika työn toteutukseen ja työvaiheille määritellään läpimenoajat ja työvoimatarpeet. Kaikki työvaiheeseen tarvittavat asiat kuten esimerkiksi, materiaalit, työvälineet ja laitteiden sekä työvoiman saatavuus varmistetaan omien resurssien tarkastelulla, tarjouspyynnöillä ja varastovarauksilla. Kaikki asetusten ja lakien edellyttämät ilmoitukset ja viranomaistarkastukset pitää järjestää. Tarvittaessa työlle voidaan laskea kustannusarvio, sekä tuottaa työ- ja turvallisuusohjeet, työluvut, sekä tarvittavat muut asiakirjat. (PSK 6201, 24).

5.3 Kunnossapitotöiden ennustaminen

Kunnossapitotöiden ennustamiseen on työkalu RCM (Reliability Centered Maintenance), se on luotettavuuskeskeinen kunnossapidon työkalu, jonka avulla pystytään suunnittelemaan ehkäisevää kunnossapitoa. Jotta työkalu toimii parhaiten käyttäjälleen, on tärkeää tuntea laitteet ja prosessit siten, että jokaiselle laitteelle tai komponentille voidaan valita oikea kunnossapitostrategia. (Järviö 2012, 161).

RCM:n päämäärät ovat (Järviö 2012, 163):

- Priorisoida prosessien laitteet ja kunnossapito sellaisiin laitteisiin, mitkä sitä tarvitsee. Peruspriorisointi kriteerit ovat laatu, ympäristövaatimukset ja kustannukset.
- Selvittää laitteen vikaantumismekanismit ja luoda kulmakivet kunnossapitomenetelmien käytölle.
- Asettaa kunnossapidolle turva- ja rajalaitteet, jotka ovat prosessissa passiivisia.
- Laaditaan valmiit toimintaohjeet vikaantumisen ilmettyä sellaisille laitteille, johon ei ole järkeviä ehkäisevän kunnossapidon menetelmää.
- Käyttöhenkilökunta koulutetaan seuraamaan kriittisten laitteiden komponenttien toimintaa.
- Luoda rahkeet analysoida laitteiden luotettavuutta, prosessin toimivuutta ja kunnossapidon kustannuksia.

RCM-menetelmässä kunnossapidon suunnittelu aloitetaan tutkimalla mitkä prosessit tarvitsevat eniten kunnossapitoa. Prosessin määrittämisen ja kunnossapidon tärkeysjärjestyksen jälkeen tutkitaan millaisia laitteita ja koneita prosessi pitää sisällään. Tämän jälkeen selvitetään millä tavoin eri koneet ja laitteet voivat vikaantua ja millä seurauksilla. Sitten kun edellä mainitut asiat on tehty, tutkitaan mitä kunnossapidon keinoja on ja onko niitä järkevää käyttää, ettei tehdä turhaa kunnossapitoa. Kun nämä kaikki tiedot on kerätty yhteen, voidaan tietojen perusteella kirjoittaa kunnossapito-ohjelma uudestaan tuotantolaitokselle. (Järviö 2012, 161).

6 KAUKOLÄMPÖKAIVOJEN KUNNOSSAPITO

Tampereen sähkölaitoksen kaukolämmön kunnossapitostrategia pitää sisällään ehkäisevää kunnossapitoa ja korjaavaa kunnossapitoa. Ehkäisevässä kunnossapidossa on hyödynnetty jaksotettua kunnossapitoa. Kohteet kaukolämpöverkolla on jaettu neljään eri kriittisyysluokkaan, jotka on esitetty taulukossa (2). Kriittisyydet on laskettu kohteille standardin PSK6800 mukaan. Taulukko (2) on luotu kaukolämpökaivojen kunnossapidon jakoa varten ja yksinkertaistamaan kaivojen kriittisyydet. Kohteet on jaettu neljään kriittisyyteen taulukon (1) mukaan ja kriittisyydet on laskettu auki taulukossa (3). Opinnäytetyössä kaikki seuraava data kuten taulukoiden ja kuvaajien tiedot on tuotu manuaalisesti Trimble järjestelmästä Excelliin ja sen pohjalta rakennettu työkalua.

TAULUKKO 2. Kriittisyysluokat kaukolämpöverkolla

Kriittisyys	Tarkastusväli
1 Vialliset kohteet	Ovko-26vko
2 Siirtojohtojen kaivot >DN300	1a
3 jakojohdojen kaivot + muut kaivot	3a
4 venttiilielementit (ei siirtojohdot)	4a

1 kriittisyys on taulukossa (2) kriittisin, nämä ovat viallisia kohteita, jotka ovat pääosin pumpattavia kaukolämpökaivoja, joissa on ollut ulkopuolista vettä. Tällaiset kaivot on tarkoitus kiertää kaksi kertaa vuodessa, tai jos kaivo antaa hälytyksen kasvaneesta veden pinnasta kaivossa. Loput kriittisyydet, (2–4) on tarkoitus hoitaa säännöllisillä kunnossapitokierroksilla, tarkastusvälit esitetään taulukossa (2). Säännöllisillä kunnossapitokierroksilla varmistetaan kaivojen toimivuus. Toimivuus on tärkeä tieto, kun samalle alueelle tehdään esimerkiksi lämpökatko ja kaukolämpöverkon sulkeminen tapahtuu tietystä kaukolämpökaivosta, tällöin on tärkeää tietää, että kaivo on käyttökunnossa, jotta lämpökatko ei leviä suuremmaksi alueeksi. Jos kaivosta ei ole kunnossapitotietoja ja sille kaivolle tulee lämpökatkossa käyttöä, se työllistää kaukolämpöasentajia, koska heidän on käytävä varmistamassa jo etukäteen kaukolämpökaivon toimivuus. Pahimmassa tapauksessa vaikka tehtävä korjaustyö olisi pieni, mutta haluttu kaivo ei ole toiminnassa,

kasvaa lämpökatkon vaikutusalue turhaan liian suureksi ja tällöin enemmän asiakkaita ovat ilman lämpöenergiaa. Tämä voi myös aiheuttaa tuotannollisia ja taloudellisia menetyksiä. Tämän takia kaikille kaivoille ja kaivon osille on laskettu kriittisyysindeksit, jotta tarkastuskierrokset tehdään oikeilla aikaväleillä. Kriittisyysindeksi on laskettu taulukkoon (3) kaavalla (2) taulukon (1) mukaan, tästä huomataan, miten peruskohteet jakautuvat neljään kriittisyysluokkaan. Kaivot on jaettu taulukossa (3) viiteen eri kategoriaan, koska kaikkien kategorioiden sisällä olevat kaivot ovat verrattain samantyyppisiä kaivoja, jolloin niillä on sama kriittisyys. Laskentaan on otettu mukaan muut kaivot, jotta saadaan realistiset kriittisyydet muille kaivotyypeille. Muiden kaivojen kunnossapito kuitenkin pystytään sisällyttämään venttiilielementtien kunnossapitoon. Siksi taulukkoon (2) on otettu vain neljä kategoriaa yksinkertaistamaan kunnossapitosyklejä.

TAULUKKO 3. Neljään kriittisyysluokkaan jaetut kohteet ja niiden painoarvot

	Vikaväli	Turvallisuus	Ympäristö	Tuotannon menetys	Lopputuotteen laatukustannus	Korjauskustannus	Kriittisyysindeksi
Painoarvot W->		30	20	100	30	20	K
Vialliset kohteet	4	8	2	3	2	3	2800
Siirtojohtojen kaivot	2	8	2	4	4	4	1760
Jakojohtojen kaivot	2	4	2	2	2	3	960
Venttiilielementit	1	2	2	1	1	2	270
muut kaivot	1	2	2	1	1	1	250

Jokaiselle kaivon komponentille lasketaan myös kriittisyysindeksi, jotta kauko-
lämpökaivoihin tulleet viat pystytään priorisoimaan. Priorisoimalla kohteiden korjaukset, korjaustyöt tulee tehtyä oikeassa järjestyksessä ja näin pyritään pitämään kaivot toimintakuntoisina mahdollisimman pitkään, ennen kuin koko kaivo on saneerauksen tarpeessa. Kaivon osille on laskettu standardin PSK6800 mukaan kriittisyysindeksit. Komponentit jaetaan viiteentoista eri kategoriaan ja näillä kategorioilla on vielä sisällään omat tarkennukset. Kansistolla on todella korkea kriittisyysindeksi, koska se vaikuttaa turvallisuuteen. Kansistot ovat pääsääntöisesti teillä tai kulkuväylillä, joten on niiden oltava kunnossa, jotta ei synny tapa-

turmia tai onnettomuuksia. Kaivoon johtavilla tikkailla on myös korkea kriittisyysindeksi, koska tikkaiden kunto vaikuttaa työntekijöiden turvallisuuteen. Kaiivot saattavat olla osin todella syviä, joten tikkaiden on oltava kunnossa, kun kaivoon laskeudutaan tekemään töitä. Nämä viisitoista kohtaa on esitetty taulukossa (4) ja kriittisyysindeksit näille kohteille on laskettu kaavalla (2) taulukon (1) mukaan. Tätä taulukkoa tarvitaan, jotta pystytään havainnollistamaan komponenttien kriittisyyttä.

TAULUKKO 4. Kriittisyysindeksit kaivon komponenteille.

	Vikaväli	Turvallisuus	Ympäristö	Tuotannon menetys	Lopputuotteen laatukustannus	Korjauskustannus	Kriittisyysindeksi
Painoarvot W->		30	20	100	30	20	K
Eristys	2	0	0	0	2	1	160
Ilmanpoisto	1	8	2	2	2	2	580
Kaivo	3	4	2	2	2	2	1380
Kansisto	2	16	4	0	0	1	1160
Ohitus	1	8	2	2	2	2	580
Rautarakenteet	1	4	2	0	1	3	250
Tikkaat	2	16	0	0	0	2	1040
Tuuletusputki	1	8	0	0	0	1	260
Tyhjennys	1	8	2	2	2	2	580
Venttiili	1	8	0	3	3	3	690
Viemäröinti	2	2	0	0	1	1	220
Virtausputki	1	8	2	3	0	1	600
Välíkansi	4	0	1	1	1	1	680
Kaivon sijainti	2	2	0	1	3	2	580
Betonirakenteet	1	4	2	0	2	3	280

Taulukossa (4) komponenteilla tarkoitetaan seuraavaa:

- Eristys: virtausputken eristys kaukolämpökaivossa
- Ilmanpoisto: virtausputkesta lähtevä ilmausputki ja sen venttiili
- Kaivo: kaukolämpökaivon yleiskunto
- Kansisto: kaivon metallinen kansi
- Ohitus: virtausputken pääventtiilien ohitusputki ja venttiilin kunto
- Rautarakenteen: betonikaivon raudoitukset
- Tikkaat: kaukolämpökaivoon johtavat nousutikkaat
- Tuuletusputki: kaivon tuuletusta varten oleva maanpäälle tuleva putki
- Tyhjennys: virtausputken tyhjennysputki ja sen venttiilin kunto
- Venttiili: virtausputken pääventtiili
- Viemäröinti: kaivon ulkopuolista vettä varten oleva viemäriputki
- Virtausputki: kaukolämmön virtausputken kunto
- Välíkansi: metallikannen jälkeen oleva muovisen kannen kunto
- Kaivon sijainti: kaivon sijainti verrattuna Trimble malliin
- Betonirakenteet: kaivon betonirakenteiden kunto

Taulukkoa 4 tarkennetaan vielä erikseen selvemmäksi taulukossa (5). Taulukoon (5) haettiin vuodelta 2022 kaivojen viat. Taulukossa (5) pystytään jatkossa pitämään kuluvan vuoden vikatilanne. Kuten huomataan kaksi yleisintä vikaa, on kaivon ulkopuolinen vesi ja kaivon sijainnin epävarmuus. Ulkopuolinen vesi johdetaan yksinkertaisesti sateesta ja/tai rikkinäisestä kaivon välíkannesta, joka tiivistää kaivon renkaan. Kuitenkin ulkopuolinen vesi kaivossa on helppo korjata, koska kaivo tarvitsee vain pumpata tyhjäksi ja laittaa tarvittaessa uusi välíkansi kaivon metallisen kannen alle. Kaivojen vikasijaintimerkinnät tulevat yleisemmin keväällä, kun on aurattu lunta ja kaivon kansi ei ole ollut näkyvässä, jolloin se peittyi hiekan alle. Toinen syy sijainnin epävarmuudelle on, jos kaivon sijainti on pientareella ja sen päälle on alkanut kasvaa ruohikkoa tai heinää. Kolmas syy kaivon sijainnin epävarmuudelle on, jos kaivo on poistettu käytöstä, mutta sitä ei ole merkattu kunnossapitotietoihin. Kaivon sijainnin korjaus tehdään etsimällä kaivo metallinpaljastimella ja varmistamalla mitä kaivolle on tehty, näin voidaan päivittää kaivon sijainti tai poistaa se järjestelmästä, jotta jatkossa kaivojen sijainnit ovat ajan tasalla. Taulukossa (5) selviää, kuinka paljon vikoja on ollut kuluvana vuonna, tilanne on vuodelta 2022.

TAULUKKO 5. Kaukolämpökaivojen vikojen määrä vuonna 2022.

Prior 1	kpl
Kaivossa ulkopuolista vettä	76
Ilmanpoisto syöpynyt tai vuotaa	22
Ohitus syöpynyt tai vuotaa	4
Tyhjennys syöpynyt tai vuotaa	26
Venttiili vuotaa kaivoon	5
Virtausputki vuotaa	2
Venttilissä käyttölaitevika	48
kansiston asemointi korjattava	3
Kansisto rikki + välikansi	47
Betonirakenne rikki tai korjattava	4
Venttiili vuotaa läpi	11
YHT:	184
Prior 2	kpl
Ilmanpoisto juuttunut	10
Virtausputki syöpynyt	18
Eristys märkä	4
Betonirakenteessa lieviä halkeamia	4
Tyhjennys juuttunut	3
Kaivossa hiekkaa	12
Ohitus juuttunut	2
YHT:	53
Prior 3	kpl
Kaivoa ei löydy	79
Kaivon sijainti tarkistettava	13
Viemäröinti tukossa	22
Tikkaat rikki	4
Rautarakenteet syöpyneet	11
Kansisto vaihdettava	14
kansisto korotettava	9
YHT:	152
Prior 4	kpl
Tuuletusputki tukossa tai vinossa	11
Eristys puuttuu	52
YHT:	63
KAIKKI YHTEENSÄ	440
Tilanne 2022	

Otsikot taulukossa (5) ja (6) on nimetty sanalla Prior, jotta se on havainnollistavampaa mitkä tehtävät ovat tehtävälisalla ensimmäisenä, vaikka se tarkoittaa samaa kuin kriittisyysluokka 1. Prior 1 tarkoittaa, että on tehtävänä, kakista kriittisin eli kiireellisin ja sisältyy näin kriittisyysluokka 1. Prior 2 on taas toiseksi kriittisin ja niin eteenpäin, yhteensä siis neljä kriittisyysluokkaa. Taulukosta (6) selviää korjatut viat vuonna 2019–2022, korjatut viat ovat huomattu ennen toteutus vuotta ja sen jälkeen merkattu tehdyiksi, kun ne ovat tehty. Taulukosta (6) ilmenee että korjattujen vikojen määrä on kasvanut huomattavasti. Datan keruussa huomattiin, että kuitenkin näin ei ole, koska jostain syystä korjattuja kohteita ei ole merkitty Trimble järjestelmään. Tulevaisuudessa, kun kaikki kunnossapitotiedot merkitään Trimble järjestelmään, korjattujen vikojen määrä ensin vakiintuu ja tavoitteena on vähentää vikoja. Taulukossa (6) vuoden 2022 korjatut viat ovat kaikista vuosista realistisin, koska tietojen merkkauksesta on noudatettu. Prior 1 vioista eniten on korjattu ilmanpoiston syöpymiä vuonna 2022. Kaivoihin voi myös kasaantua vikoja, eli yhdessä kaivossa on useampi vika kuin yksi. Tämä täytyy huomioida töiden suunnittelussa, jotta vikaisimmat kaivot saadaan korjattua ensin. Kun vikoja on useampia sen, kriittisyys nousee ja se nousee myös prioriteetti listalla korkeammalle.

TAULUKKO 6. Korjatut viat 2019–2022

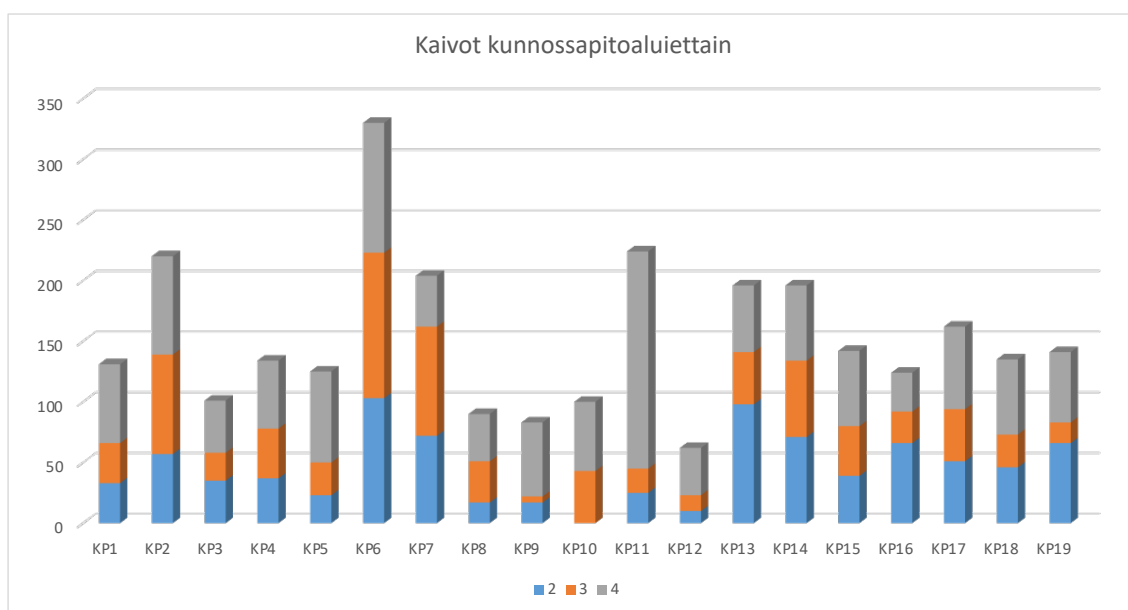
	2019	2020	2021	2022
Prior 1	kpl	kpl	kpl	kpl
Ilmanpoisto syöpynyt tai vuotaa	1	7	6	14
Ohitus syöpynyt tai vuotaa	0	1	0	1
Tyhjennys syöpynyt tai vuotaa	1	13	11	10
Venttiili vuotaa kaivoon	0	0	0	0
Virtausputki vuotaa	0	1	0	0
Kansisto rikki	0	1	0	2
YHT:	2	23	17	27
Prior 2				
Ilmanpoisto juuttunut	0	4	5	8
Venttilissä käyttölaitevika	0	9	15	14
Virtausputki syöpynyt	0	8	4	5
kansiston asemointi korjattava	0	1	3	14
Eristys märkä	0	0	1	2
YHT:	0	22	28	43
Prior 3				
Kaivoa ei löydy	2	21	28	68
Kaivon sijainti tarkistettava	0	4	6	6
Viemärointi tukossa	0	0	1	3
Tikkaat rikki	0	0	4	3
Rautarakenteet syöpyneet	0	5	2	3
Kansisto vaihdettava	0	1	4	9
kansisto korotettava	0	0	6	8
YHT:	2	31	51	100
Prior 4				
Tuuletusputki tukossa tai vinossa	0	5	0	1
Eristys puuttuu	0	22	10	12
YHT:	0	27	10	13
Kaikki yhteensä:	4	103	106	183

Kaukolämpöverkko Tampereella jaetaan yhdeksääntoista eri kunnossapitoalueeseen, KP1 on kunnossapitoalue 1 ja niin edelleen. Tämä jaottelu on tehty eri kaupunginosille ja se helpottaa hahmottamaan verkon kokonaisuutta pienemmissä osissa. Taulukko (7) ja kuvio (1) helpottaa vikojen ja vikatilojen määrittämistä tietyillä alueilla. Taulukossa (7) on esitetty kriittisyysluokittain kunnossapitoalueiden viat vuonna 2022, taulukossa ei ole mukana kriittisyysluokkaa 1, koska ne ovat pääsääntöisesti vain pumppauksen tarpeessa olevia kaivoja.

TAULUKKO 7. Kaukolämpökaivot jaettuna kunnossapitoalueisiin.

KRIIT.LUOK. 2,3,4 Kunnossapitoalue (KP1..)	2	3	4	yht.
KP1	33	33	65	131
KP2	57	82	81	220
KP3	35	23	43	101
KP4	37	41	56	134
KP5	23	27	75	125
KP6	103	120	107	330
KP7	72	90	42	204
KP8	17	34	39	90
KP9	17	5	61	83
KP10	0	43	57	100
KP11	25	20	179	224
KP12	10	13	39	62
KP13	98	43	55	196
KP14	71	63	62	196
KP15	39	41	62	142
KP16	66	26	32	124
KP17	51	43	68	162
KP18	46	27	62	135
KP19	66	17	58	141
yht.	866	791	1243	2900

Taulukko (7) voidaan myös esittää kuvaajana (KUVIO 1) joka hahmottaa paremmin millä kunnossapitoalueilla on eniten vikatiloja. Kuviossa (1) on kriittisyydet värikoodattu siten, että sininen on kriittisyysluokka 2, oranssi on kriittisyysluokka 3 ja harmaa on kriittisyysluokka 4. Kunnossapitoalue jaot helpottavat korjaustöiden suunnittelua ja itse korjaustöitä, koska on helppo ottaa samalta alueelta samalle viikolle korjaukset. Tällöin ei tarvitse käyttää työaikaa työmaa siirtymiin koska työmaat ovat lähekkäin, ajansäästö näkyy parhaiten kaivinkoneiden siirtelyssä.



KUVIO 1. Kaukolämpökaivot kunnossapitoalueittain

Tämä kuvaaja (1) on helppolukuinen ja sitä tullaan käyttämään työkalussa havainnollistamaan mitkä kunnossapitoalueet tarvitsevat eniten kunnossapitoa ja se helpottaa myös kunnossapidon suunnittelua seuraaville vuosille, koska jaksotetun kunnossapidon merkitys näkyy aina seuraavana vuonna. Jaksotetusta kunnossapidosta tulvat vialliset kohteet siirtyvät korjaavan kunnossapidon tehtäviksi periaatteella vuonna 2022 tarkastetut vialliset kohteet korjataan vuonna 2023, näin ei synny korjausvelkaa. Kuvio (1) ja taulukko (7) on linkitetty työkalussa siten, että kun päivitetään taulukkoon kunnossapitotietoja, päivittyy tieto myös kuvaajaan.

Korjaava kunnossapito kaukolämpöverkolla pitää sisällään viat ja vuodot. Löytyneet viat ja vuodot menevät suoraan korjaavaan kunnossapitoon. Vuodossa on

keskimäärin vuotoja noin 1 kappale per viikko, jolloin keskimäärin vuodessa on vikoja 52 kappaletta. Yksi vuoto vie keskimäärin 10 tuntia koneasentajan työaikaa. Korjaavan kunnossapidon suunnitelmassa kriittisyys tason 1 kaivoja ei ole otettu huomioon, koska noin 10 % näistä kaivoista ovat korjattavia ja loput vain pumppauksen tarpeessa. Vuoto voi olla virtausputkessa putkien liitoskohdassa, hitsauksen vieressä tai pistesyöpymänä putken sisäseinämässä, kuvassa (9) on hyvä esimerkki putken pistesyöpymästä. Tällainen maanalainen vuoto havaittiin tässä tilanteessa lämpökamerakuvalla, joka on otettu viileällä säällä helikopterissa, jolloin maanpinta on lämmin vuodon takia.



KUVA 9. Pistesyöpymä virtausputkessa. (Jalmari Tähtinen 2022)

Käyttökatoja kaukolämpöverkolla on keskimäärin vuodessa 123 kappaletta ja niiden kesto on keskimäärin 6,7 h. Liitoksella tarkoitetaan, kun kaukolämpöverkosta otetaan jokin tietty osa pois lämmöstä, jotta voidaan esimerkiksi korjata kaukolämpökaivo, vaihtaa rakennukseen kaukolämpöventtiilit tai jokin muu korjaava tai uusi toimenpide, joka vaatii paineettoman lämpöverkon osan. Liitoksien tekemiseen on perusteltua käyttää omaa miehistöä eikä esimerkiksi urakoitsijaa, koska verkoston erottamiset ja täyttämiset ovat erityisosaamista vaativaa työtä. Käytännössä liitoksilla on kiinni kaksi tai kolme työryhmää riippuen suljettavien venttiilien määrästä ja vaikutusalueen koosta. Tämän takia aikaisemmin mainittu kunnossapitotietojen merkkäminen on tärkeää, jotta vaikutusalue ei kasva liian suureksi eikä sitoisi liikaa työntekijöitä.

6.1 Kunnossapitosuunnitelma kaukolämpökaivoille

Kunnossapitosuunnitelma on tehty Tampereen Sähkölaitoksella ennakoivalle kunnossapidolle. Kaivojen kriittisyysluokat ovat isossa osassa suunnitelmaa. Kriittisyysluokka 1 on tarkoitettu pumpattaville kaivoille, joten niiden tarkastus kierros on ns. koko ajan käynnissä, eli aina kun tulee pumpattava kaivo, se pumpataan pikimmiten. Muiden kriittisyysluokkien (2-4) tarkastussyklit menevät taulukon (2) mukaan, eli kriittisyysluokka 2 yhden vuoden välein, kriittisyysluokka 3 kolmen vuoden välein ja kriittisyysluokka 4 neljän vuoden välein. Tarkastussyklit ovat merkattu kunnossapitosuunnitelma työkaluun punaisella kullekin käyttöpäikälle ja vuodelle, tällöin on helppo havainnollistaa mitä Tampereen alueita on tulossa tarkastukseen seuraavana vuonna. Kaivojen määrä on muuttuva joka vuosi, koska kaukolämpöverkkoa laajennetaan ja sitä kautta tulee enemmän kaukolämpökaivojakin. Kaivojen määrä muuttuu myös negatiiviseen suuntaan, jos kaivoja poistetaan käytöstä. Työkaluun on aina merkittävä kuluvan vuoden kaivojen määrä, jotta se päivittyy seuraaville vuosille, näin pystytään seuraamaan kaivojen lukumäärän kehitystä. Työkalun pohja on tehty vuoteen 2050 asti (liite 1.), joten kaivojen lukumäärä ja arvot eivät ole vielä lopullisia, koska ne päivittyvät joka vuosi.

Vikatiheys ja vikatiheysennuste on osa kuntoon perustuvaa kunnossapito Tampereen sähkölaitoksen kaukolämpöverkolla. Vikatiheys lasketaan työkaluun jakamalla viat tarkastetuilla kaivoilla kaavalla (3)

$$V = \frac{v}{k} \quad (3)$$

jossa V on Vikatiheys, v on viat ja k on tarkastetut kaivot.

Vikatiheysennuste lasketaan kaavalla (4), edellisen vuoden toteutunut vikatiheys kerrottuna 0,99, näin vikatiheys ennuste on realistinen ja muuttuu aina, kun kuluneen vuoden toteutunut vikatiheys täytetään työkaluun.

$$V_e = V * 0,99 \quad (4)$$

jossa V_e on vikatiheysennuste, V on edellisen vuoden toteutunut vikatiheys ja 0,99 on vakio.

Taulukoissa keltaisella merkitty alue on toteutunut vika tiheys ja vihreällä merkitty alue on vikatiheyden ennuste (liite 2.). Tavoitteena on saada aina vähemmän seuraavalle vuodelle viallisia kaivoja kuin oli edellisenä vuotena, näin vikatiheys laskee. Ennusteeseen ei ole otettu huomioon poistettavia kaivoja, koska niitä poistuu vuodessa keskimäärin noin seitsemän kappaletta (Viitala. 14.12.2022). Koska kaivojen kokonaismäärä on luokkaa tuhat ei seitsemän kaivoa vaikuta ennusteeseen. Aiempi ennuste oli vuodelle 2030 ja vikatiheys oli silloin 2 %, eikä tämä ollut realistinen arvo. Nykyinen ennuste on vuodelle 2050 ja ennustettu vikatiheys vuonna 2050 on realistisempi 6,5 %. Kuitenkin 6,5 % tulee muuttumaan vuosien kuluessa realistisemmaksi, kun toteutuneet viat ja kaivojen määrä päivitetään työkaluun.

Työkalu on yksi Microsoft Excel tiedosto, joka sisältää kunnossapitosuunnitelman, kaukolämpökaivot kunnossapitoalueittain, vikatiheysennusteen, viat kuluvulta vuodelta, menneet viat ja korjatut viat. Työkalu saa kaiken datan Trimble järjestelmästä, mutta se vaatii manuaalista työtä, joka on ollut tässä opinnäytetyössä isossa roolissa. Kuitenkin nyt on helpompaa tuoda kaikki data työkaluun, koska on paikka mihin se kerätään. Taulukot keskenään on linkitetty siten, että jos esimerkiksi lisätään vika, se päivittyy vikatiheysennusteeseen ja kunnossapitosuunnitelmaan. Työkalun toiminnot on tehty helpoiksi, jotta siinä on myös varaa

muuttaa tietoja, jos niitä ilmenee. Liitteessä (1) on kunnossapitosuunnitelma. Se on pilkottu osiin liitettä varten, mutta on yhteneväinen oikeassa työkalussa. Kunnossapitosuunnitelmasta nähdään kaivojen kunnossapitoalue, kaivojen kriittisyysluokka, tarkastussykli ja kaivojen lukumäärä. Liitteessä (2) on myös pilkottu taulukko samalla tavalla, kuin kunnossapitosuunnitelmassa. Siitä nähdään toteutunut vikaantumisprosentti, sekä ennustettu vikaantumisprosentti.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe on saatu Tampereen Sähkölaitos Oy:ltä. Aihe on erittäin tärkeä, koska kunnossapito on yksi kestävän kehityksen tukipilareita. Opinnäytetyön tarkoitus oli parantaa ja osittain luoda kaukolämpökaivojen kunnossapito työkalu Tampereen Sähkölaitokselle ja tehdä vikaantumisennuste 2050 luvulle asti. Työkaluun kerättiin menneiden vuosien kaivojen kunnossapitotiedot ja niiden tietojen pohjalta on kunnossapitotyökalu rakennettu. Työkalu on kehittyvä ajan suhteen eli se päivittyy, kun siihen lisätään toteutuneet kunnossapito tiedot kuluneelta vuodelta. Tehdyn työkalun kehittämällä on positiivinen vaikutus kunnossapitotöiden suunnitteluun ja ajankäyttöön. Työkalusta tuli selkeälukuisempi, helppokäyttöisempi ja realistisempi mitä se ennen oli. Jatkossa manuaalinen tietojen tuonti Trimble järjestelmästä exceliin on helpompaa, koska kaikille on oma paikkansa työkalussa.

Haettaessa kunnossapitotietoja Tampereen Sähkölaitoksen Trimble järjestelmästä huomattiin, että kaikkia oleellisia tietoja ei ole päivitetty järjestelmään, kuten kaikkia vikoja, toteutuneita korjauksia ja poistettuja kaivoja. Koska työkalu pohjautuu näihin tietoihin, on tulevaisuudessa tärkeää, että kaikki kunnossapito tiedot lisätään järjestelmään, koska siihen on myös mahdollisuus. Jatkossa työkalu tulee olemaan realistisempi, kun kunnossapitotiedot on lisätty järjestelmään, se auttaa ennusteen parantamiseen ja sen realistisuuteen. Verrattaessa edellistä työkalua ja nykyistä versiota huomattiin, että vikojen määrä on kasvanut vuosien kuluessa, se johtuu siitä, että kunnossapitotietoja on lisätty enemmän järjestelmään kuin ennen. Jatkossa kun tehdään kaivojen tarkastuskierroksia jokaisesta tarkastettavasta kohdasta, tulisi ottaa kuva ja lisätä järjestelmään, näin saadaan vielä luotettavampi tieto kaivon kunnosta tulevaisuuden varalle.

LÄHTEET

Edu03.fi 2023. Mitä on kunnossapito. Verkkosivu. Viitattu 11.1.2023.

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_1-1_mita_on_kunnossapito.html

Energiateollisuus. 1.1.2023. Kaukolämpöverkot. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2023.

<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

Järviö, J., Lehtiö, T., 2012. Ehkäisevä kunnossapito. 5. Uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S., Mäkeläinen, R., 2009. Mitä on kunnossapito. 1. Painos. Helsinki: KP-Media Oy.

PSK 6201. 2022. Kunnossapito. Käsitteet ja Määritelmät. Helsinki. PSK Standardisointiyhdistys ry. Luettu 16.1.2023. Vaatii käyttöoikeuden. https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK6201_4p_k.pdf

PSK 6800. 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry. Luettu 2.2.2023. Vaatii käyttöoikeuden. https://psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/wp-content/uploads/psk6800_liitteinen.pdf

SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS. Luettu 16.1.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/840250.html.stx>

Tammervoima Oy. n.d. Tammervoima esite. Verkkosivu. Viitattu 1.12.2022. <https://tammervoima.fi/voimalaitos/>

Tampereen Sähkölaitos Oy 1.6.2017. Kaukolämpöverkostomme. Verkkosivu. Viitattu 5.2.2023. <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtioille/lamporatkaisut/kaukolampoverkko/>

Tampereen Sähkölaitos Oy. 1.1.2023. Lämpöratkaisut. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2023. <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtioille/lamporatkaisut/>

Tampereen Sähkölaitos Oy. 31.12.2021. Tilinpäätökset. Verkkosivu. Viitattu 25.11.2022. <https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/tilinpaatosten-tiivistelma-2021.pdf>

Tampereen Sähkölaitos Oy. n.d. Yhtiömme. Verkkosivu. Viitattu 25.11.2022. <https://www.sahkolaitos.fi/footer-sivut/meista/yhtiomme/>

Tampereen Sähköverkko Oy. n.d. Meistä. Verkkosivu. Viitattu 1.12.2022. <https://www.sahkolaitos.fi/tampereen-sahkoverkko/sahkokatkot/meista/>

Viitala, J. Kaukolämpöasentaja. 2022. Haastattelu 14.12.2022. Tampereen Sähkölaitos Oy.

LIITTEET

Liite 1. Kunnossapitosuunnitelma

1(2)

Ennakkohuolto:						
Kunnossapitoalueittain						
Kriittisyysluokka	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19
3	KP1-6	KP7-13	KP14-19	KP1-6	KP7-13	KP14-19
4	KP1-5	KP6-10	KP11-16	KP17-19	KP1-5	KP6-10
Kohteittain						
Kriittisyysluokka	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	626	626	626	626	626	569
2	746	746	746	746	746	746
3	310	173	291	310	173	291
4	214	254	329	239	214	254
Kaivoja Yht.	1896	1799	1992	1921	1759	1860

Ennakkohuolto:						
Kunnossapitoalueittain						
Kriittisyysluokka	2022	2023	2024	2025	2026	2027
2	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19
3	KP1-6	KP7-13	KP14-19	KP1-6	KP7-13	KP14-19
4	KP11-16	KP17-19	KP1-5	KP6-10	KP11-16	KP17-19
Kohteittain						
Kriittisyysluokka	2022	2023	2024	2025	2026	2027
1	196	186	177	168	160	152
2	866	866	866	866	866	866
3	326	326	326	326	326	326
4	429	429	429	429	429	429
Kaivoja Yht.	1817	1807	1798	1789	1781	1773

Ennakkohuolto:						
Kunnossapitoalueittain						
Kriittisyysluokka	2028	2029	2030	2031	2032	2033
2	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19
3	KP1-6	KP7-13	KP14-19	KP1-6	KP1-6	KP7-14
4	KP1-5	KP6-10	KP11-16	KP17-19	KP1-5	KP6-11
Kohteittain						
Kriittisyysluokka	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	144	137	130	124	117	111
2	866	866	866	866	866	866
3	326	326	326	326	326	326
4	429	429	429	429	429	429
Kaivoja Yht.	1765	1758	1751	1745	1738	1732

2(2)

Ennakkohuolto:						
Kunnossapitoalueittain						
Kriittisyysluokka	2034	2035	2036	2037	2038	2039
2	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19
3	KP14-20	KP1-6	KP7-14	KP14-20	KP1-6	KP7-14
4	KP11-17	KP17-20	KP1-6	KP6-11	KP11-17	KP17-20
Kohteittain						
Kriittisyysluokka	2034	2035	2036	2037	2038	2039
1	106	101	100	99	98	97
2	866	866	866	866	866	866
3	326	326	326	326	326	326
4	429	429	429	429	429	429
Kaivoja Yht.	1727	1722	1721	1720	1719	1718

Ennakkohuolto:						
Kunnossapitoalueittain						
Kriittisyysluokka	2040	2041	2042	2043	2044	2045
2	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19
3	KP14-20	KP1-6	KP7-14	KP14-20	KP1-6	KP7-14
4	KP1-6	KP1-5	KP6-11	KP11-17	KP17-20	KP1-6
Kohteittain						
Kriittisyysluokka	2040	2041	2042	2043	2044	2045
1	96	95	94	93	92	91
2	866	866	866	866	866	866
3	326	326	326	326	326	326
4	429	429	429	429	429	429
Kaivoja Yht.	1717	1716	1715	1714	1713	1712

Ennakkohuolto:						
Kunnossapitoalueittain						
Kriittisyysluokka	2046	2047	2048	2049	2050	
2	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	KP1-19	
3	KP14-20	KP1-6	KP1-6	KP7-14	KP14-20	
4	KP6-11	KP11-17	KP1-5	KP6-11	KP11-17	
Kohteittain						
Kriittisyysluokka	2046	2047	2048	2049	2050	
1	90	89	88	87	87	
2	866	866	866	866	866	
3	326	326	326	326	326	
4	429	429	429	429	429	
Kaivoja Yht.	1711	1710	1709	1708	1708	

Liite 2. Kaukolämpökaivojen vikaantumistiheys ja ennuste 1(3)

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2016	2017	2018	2019
	2	746	746	746	746
	3	310	173	291	310
	4	214	254	329	239
	Kaivoja Yht.	1896	1799	1992	1921
KORJAUSVUOSI					
Vikatiheys ennuste	%				
Vikatiheys Toteutunut	%	22 %	22 %	22 %	22 %
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	164	164	164	164
	3	68	38	64	68
Viallisia kaivoja	4	47	56	72	53
	Yht.	353	332	375	358

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2020	2021	2022	2023
	2	746	746	866	866
	3	173	291	326	326
	4	214	254	429	429
	Kaivoja Yht.	1759	1860	1817	1807
KORJAUSVUOSI					
Vikatiheys ennuste	%				8 %
Vikatiheys Toteutunut	%	22 %	20 %	9 %	
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	164	149	43	74
	3	38	58	100	28
Viallisia kaivoja	4	47	51	13	36
	Yht.	322	258	156	138

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2024	2025	2026	2027
	2	866	866	866	866
	3	326	326	326	326
	4	429	429	429	429
	Kaivoja Yht.	1798	1789	1781	1773
KORJAUSVUOSI					
Vikatiheys ennuste	%	8,4 %	8,3 %	8,2 %	8,2 %
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	73	72	71	71
	3	27	27	27	27
Viallisia kaivoja	4	36	36	35	35
	Yht.	136	135	134	132

2(3)

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2028	2029	2030	2031
	2	866	866	866	866
	3	326	326	326	326
	4	429	429	429	429
	Kaivoja Yht.	1765	1758	1751	1745
KORJAUSVUOSI		2029	2030	2031	2032
Vikatiheys ennuste	%	8,1 %	8,0 %	7,9 %	7,8 %
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	70	69	69	68
	3	26	26	26	26
Viallisia kaivoja	4	35	34	34	34
	Yht.	131	130	128	127

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2032	2033	2034	2035
	2	866	866	866	866
	3	326	326	326	326
	4	429	429	429	429
	Kaivoja Yht.	1738	1732	1727	1722
KORJAUSVUOSI		2033	2034	2035	2036
Vikatiheys ennuste	%	7,8 %	7,7 %	7,6 %	7,5 %
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	67	67	66	65
	3	25	25	25	25
Viallisia kaivoja	4	33	33	33	32
	Yht.	126	125	123	122

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2036	2037	2038	2039
	2	866	866	866	866
	3	326	326	326	326
	4	429	429	429	429
	Kaivoja Yht.	1721	1720	1719	1718
KORJAUSVUOSI		2037	2038	2039	2040
Vikatiheys ennuste	%	7,5 %	7,4 %	7,3 %	7,2 %
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	65	64	63	63
	3	24	24	24	24
Viallisia kaivoja	4	32	32	31	31
	Yht.	121	120	118	117

3(3)

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2040	2041	2042	2043
	2	866	866	866	866
	3	326	326	326	326
	4	429	429	429	429
	Kaivoja Yht.	1717	1716	1715	1714
KORJAUSVUOSI		2041	2042	2043	2044
Vikatiheys ennuste	%	7,2 %	7,1 %	7,0 %	7,0 %
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	62	61	61	60
	3	23	23	23	23
Viallisia kaivoja	4	31	30	30	30
	Yht.	116	115	114	113

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2044	2045	2046	2047
	2	866	866	866	866
	3	326	326	326	326
	4	429	429	429	429
	Kaivoja Yht.	1713	1712	1711	1710
KORJAUSVUOSI		2045	2046	2047	2048
Vikatiheys ennuste	%	6,9 %	6,8 %	6,7 %	6,7 %
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	60	59	58	58
	3	22	22	22	22
Viallisia kaivoja	4	30	29	29	29
	Yht.	112	110	109	108

KUNTOON PERUSTUVA KUNNOSSAPITO					
Ennakkohuollon tarkastuskohteet		2048	2049	2050	
	2	866	866	866	
	3	326	326	326	
	4	429	429	429	
	Kaivoja Yht.	1709	1708	1708	
KORJAUSVUOSI		2049	2050	2051	
Vikatiheys ennuste	%	6,6 %	6,5 %	6,5 %	
Vikatiheys Toteutunut	%				
Ennakkohuollosta tulevat viat	2	57	57	56	
	3	22	21	21	
Viallisia kaivoja	4	28	28	28	
	Yht.	107	106	105	