



Otto Kiema

# Energiaseurantaverkon yhteys- häiriöt TCP/IP-lähiverkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

29.3.2023

# Tiivistelmä

Tekijä: Otto Kiema  
Otsikko: Energiaseurantaverkon yhteyshäiriöt TCP/IP-lähiverkossa  
Sivumäärä: 46 sivua  
Aika: 29.3.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka  
Ohjaajat: Esimies Samppa Lallukka  
Lehtori Raisa Kallio

---

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää ja tutkia energiaseurantaverkon yhteysvikoja ja häiriöitä TCP/IP-lähiverkossa. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) kanssa. Työ toteutettiin pääsääntöisesti Viikinmäen jätevedenpuhdistamon toimitiloissa. Opinnäytetyössä keskitytään kunnossapidon kannalta tärkeisiin asiayhteyksiin ja tuodaan tärkeät asiat esille helposti ymmärrettävällä tavalla tulevaisuuden kunnossapitoa varten.

Energiaseurantaverkko on avainasemassa energiatehokkuuden saavuttamisessa sekä tärkeä osa jätevedenpuhdistamon toimintaa. Energiaseurantaverkon avulla pystytään seuraamaan ja analysoimaan energian kulutusta, toteuttamaan kulutusta parantavia toimenpiteitä sekä seuraamaan toimenpiteiden vaikutusta reaaliajassa.

Opinnäytetyö käsittelee tiivistetysti TCP/IP-protokollaan perustuvaa energiaseurantalaitteiden muodostamaa lähiverkkoa (LAN) osana Valmet DNA -automaatiojärjestelmää. Energiaseurantaverkko koostuu Siemens PAC -verkkoanalysointilaitteista, kytkimistä ja muuntimista. Lähiverkon runkona käytetään kuitukaapelointia ja parikaapelia.

Vianetsintä aloitettiin energiaseurantaverkon kartoittamisella, missä selvitettiin laitteiden määrä, sijainti ja puutteet. Energiaseurantaverkon laitteita tutkittiin powerconfig-konfiguraatiotyökalulla ja tietoliikenneverkkoa testattiin Windowsin komentorivin ja verkkotesterin avulla. Työkaluilla saatiin päivitettyä laitteet ja selvitettyä verkon puutteet. Opinnäytetyön lopussa annetaan energiaseurantaverkon parantamiseen johtavia ehdotuksia toimintavarmuuden varmistamiseksi.

Ongelmaksi osoittautui verkon laitteiden puutteellinen toiminta ja Valmet-automaatiojärjestelmän rajapinta. Viikinmäen energiaseurantaverkkoon vaikuttavat ongelmat saatiin tunnistettua ja korjattua laitevaihoilla ja automaatiojärjestelmän ohjelmamuutoksilla. Metsäpirtin toimipisteen laitteet saatiin palautettua laitevaihoilla verkkoon, mutta testien yhteydessä havaittua IP-osoitteen ristiriitaa ei saatu korjattua. Kehitysehdotuksiksi nousi IP-osoite ristiriidan korjaus, tietoliikenneverkon kahdentaminen sekä tietoliikenneverkon yksinkertaistaminen ylimääräisten laitteiden irrottamisella.

Avainsanat: HSY, TCP/IP, LAN, PAC

## Abstract

Author: Otto Kiema  
Title: Power Monitoring Network Interferences in TCP/IP Local Area Network  
Number of Pages: 46 pages  
Date: 29 March 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and automation engineering  
Professional Major: Automation engineering  
Supervisors: Samppa Lallukka, Manager  
Raisa Kallio, Senior Lecturer

---

The main purpose of this thesis work was to investigate and study interferences and malfunctions of power monitoring network. The work was carried out in collaboration with HSY whose responsibilities include waste management. The work was executed at premises of Viikinmäki wastewater treatment plant. Thesis provides knowledge about TCP/IP protocol and corresponding network devices and focuses on the important subjects from the perspective of maintenance.

Power metering devices are part of a closed local area network which uses TCP/IP as its protocol for communication. Power monitoring network is in key position to accomplish energy efficiency and has important part in process and energy consumption analysis. Power monitoring network enables efficient implementation of improvements and real time tracking of power consumption. Without power monitoring network, it could not be possible to effectively monitor energy consumption, nor the effects of made improvements.

Initial part of the thesis addresses TCP/IP protocols and its devices. Network operates under distributed control system Valmet DNA. Power monitoring device network consists mainly of Siemens PAC power meters, switches, and converters. Core of local area network revolves around fiber optic. Twisted pair cabling is used for devices.

Troubleshooting started by studying properties, parameters of the field devices and investigation of network layout and topology. Powerconfig configuration tool was used to update and monitor PAC power meters. Command prompt and network tester were used to troubleshoot the network. Communication issues were found to be caused by malfunctioning devices and in Valmet DCS interface. Latter part of the thesis proposes improvements to ensure operational reliability in the future.

Viikinmäki power monitoring network issues were resolved by replacing malfunctioning devices and by changing parameters in corresponding automation programs. Issues at Metsäpirtti were repaired with replacement devices but IP-address conflict was found during the troubleshooting. Suggested improvements for issues are repairing IP-address conflict, duplication of the network and removal of excess devices.

Keywords: HSY, TCP/IP, LAN, PAC

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helsingin seudun ympäristöpalvelut	2
2.1	Energiaseurantaverkko	2
2.2	Valmet DNA -automaatiojärjestelmä	3
2.3	Valmet DNA:n integroidut sovellukset	3
2.4	Tietoliikenneverkon laitteet	4
2.4.1	Verkkokerroksen komponentit	4
2.4.2	Siirtoyhteyserroksen komponentit	5
2.4.3	Fyysisen kerroksen komponentit	6
3	Lähiverkkotekniikka	8
3.1	OSI-malli	8
3.2	OSI-mallin kerrokset	9
3.3	Ethernet	10
3.4	Token Ring	13
3.5	MAC-osoitteet	13
3.6	IP-osoitteet	14
3.7	Aliverkotus	16
4	TCP/IP-tekniikka	18
4.1	Internet Protocol	18
4.2	Transmission Control Protocol	19
4.3	Internet Control Message Protocol	20
4.4	Address Resolution Protocol	21
5	Modbus TCP -protokolla	22
6	Toteutus	25
6.1	Command Prompt	25
6.2	Powerconfig- ja PAC-laitteiden ohjelmistopäivitys	26
6.3	Ongelma ja alkukartoitus	31
6.4	Vianhaku ja puutteet	32

6.5	Vikojen korjauksien toimenpiteet	34
6.6	Energiaseurantaverkon kehittäminen	35
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	37

## Lyhenteet

HSY: Helsingin seudun ympäristöpalvelut.

IP: Internet Protocol. Internet-protokolla.

TCP: Transmission Control Protocol. Verkkoprotokolla.

ARP: Address Resolution Protocol. Osoitekokonaisprotokolla.

ICMP: Internet Control Message Protocol. Kontrolliprotokolla.

MAC: Media Access Control. Merkkijono.

TTL: Time to Live. Elinaikatieto.

ADU: Application Data Unit. Sanoma.

PDU: Protocol Data Unit. Tietokenttä.

MBAP: Modbus Application Protocol. Otsake.

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection. Lähetyskanavan kuuntelumenetelmä/törmäyksen havaitsemismenetelmä.

## 1 Johdanto

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) on Espoon, Helsingin ja Vantaan kaupunkien perussopimuksella muodostettu kuntayhtymä. HSY perustettiin vuonna 2009 tuottamaan perussopimuksen mukaisia tehtäviä ja tarjoamaan vesi- ja jätehuollon palveluja. [1.] Viikinmäen toimipiste käsittelee noin 800 000 pääkaupunkiseudun asukkaan sekä osan alueen teollisuudesta syntyneistä jätevesistä [2].

Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla energiaseurantaverkkoa käytetään energiankulutuksen seuraamiseen ja tehokkuuden parantamiseen sekä tehtyjen toimenpiteiden analysointiin. Energiaseurantaverkko sisältää Siemens PAC -verkkoanalysointilaitteita, kytkimiä ja muuntimia. Siemens PAC -verkkoanalysointilaitteet mittaavat sähköverkon tehonkulutusta eri prosesseissa.

Energiaseurantaverkko hyödyntää TCP/IP-pinon protokollia sekä käyttää tietoliikenteen kommunikaatioon Ethernet-pohjaista Modbus TCP -sarjaliikenneprotokollaa osana Valmet DNA -automaatiojärjestelmää. Sarjaliikenneprotokollan tiedonkäsittelyssä ja siirrossa hyödynnetään rekistereitä sekä toimintokoodeja.

Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä HSY:n kanssa. Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää ja korjata energiaseurantaverkon yhteyshäiriöitä. Tavoitteena on saada energiaseurantaverkon ongelmat selvitettyä, korjattua sekä antaa kehitysehdotuksia toimintavarmuuden varmistamiseksi ja toimintaohjeita PAC-verkkoanalysointilaitteen päivittämiseen.

## 2 Helsingin seudun ympäristöpalvelut

HSY:n jätevedenpuhdistamot Viikinmäessä ja Blominmäessä vastaavat jätevesien käsittelystä pääkaupunkiseudulla [3]. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on suurimmaksi osaksi rakennettu kallioon ja otettiin käyttöön vuonna 1994. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on tällä hetkellä Pohjoismaiden suurin jätevesien käsittelyyn tarkoitettuista laitoksista. [2.]

Jätevedenpuhdistuksessa roskien, orgaanisten aineiden, typen sekä fosforin poistamiseen käytetään kemiallisia, biologisia ja mekaanisia menetelmiä. Viikinmäen puhdistamon jätevedenpuhdistus perustuu aktiivilieteprosessiin, missä fosfori poistetaan kaksivaiheisen rinnakkaissaostuksen avulla. Prosessista syntyy sivutuotteena lietettä, joka jalostetaan mullaksi ja biokaasuksi. Lopuksi puhdistettu jätevesi pumpataan tunnelia pitkin avomerelle. [3; 4.]

### 2.1 Energiaseurantaverkko

Energiaseurantaverkko on analysaattoreista koostuva väyläverkko, mikä kerää yksittäisiltä analysaattoreilta dataa prosessiautomaatioon. Energiaseurantaverkko koostuu useasta verkkoanalysaattorista. Analysaattorit on jaettu useiden prosessien sähkökeskusten välille. Energiaseurantaverkkoa ei ole ollut ennen vuotta 2013.

Energiaverkon seurannalla pystytään mittaamaan kattavasti sähkönkulutusta ja tämän avulla tunnistamaan jätevedenpuhdistamon kulutusprofiili. Kulutusprofiililla tarkoitetaan kulutuksen jakautumista laitoksen prosessien välillä. Kulutuksen lisäksi energiaseurantaverkolla voidaan todentaa energiatehokkuuteen vaikuttavien toimenpiteiden vaikutuksia.

Energiaseurantaa tarvitaan kulutuksen raportointiin ja vertailuun toisten jätevedenpuhdistamoiden kesken. Energiaseurantaverkko toimii yhtenä työkaluna paremman energiatehokkuuden saavuttamisessa. Ilman energianseurantaa ei pystyttäisi kaikkien yksittäisten energiatehokkuuteen johtavien toimenpiteiden vaikutuksia todentamaan. [5.]



## 2.2 Valmet DNA -automaatiojärjestelmä

Valmet DNA on hajautettu automaatiojärjestelmä. Automaatiojärjestelmä mahdollistaa erilaisten ohjelmistojen ja laitteiden avulla prosessien ohjauksen, monitoroinnin, analysoinnin sekä ohjelmoinnin jätevedenpuhdistamolla. HSY käyttää Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla Valmet DNA Explorer-, Engineering Function Block CAD- ja Field Device Manager -ohjelmistoja. Valmet DNA -automaatiojärjestelmä tukee yleisempiä käytössä olevia standardeja ja kenttäväyliä, joita ovat esimerkiksi Profibus, Profinet, Ethernet/IP sekä OPC DA ja UA Ethernet. [6.]

Hajautetulla automaatiojärjestelmällä sekä fyysisen kerroksen laitteiden kahdentamisella mahdollistetaan laajennus- tai modernisointiprojektit aiheuttamatta ylimääräisiä häiriöitä tai katkoksia muissa järjestelmän osissa. Valmet DNA -automaatiojärjestelmän prosessiverkko toimii 100 Mbit/s:n tietoliikennenopeudella ja tietyissä tilanteissa on tätä mahdollista saada nopeammaksi. [6.]

Valmet DNA -automaatiojärjestelmälle suositellaan rengas- ja tähtitopologiaa, mikä mahdollistaa redundanttisen verkon rakenteen. Tietoliikenne tietokoneiden ja ACN-ohjainten välillä on varmennettua. Varayhteydellä on kahdennetun väylän lisäksi omat verkkokortit sekä kytkimet. Yhteyden katketessa kytkeytyy varaverkko automaattisesti päälle samalla sytyttäen hälytyksen valvomoon. [6.]

## 2.3 Valmet DNA:n integroidut sovellukset

Valmet DNA Explorer on automaatiojärjestelmän suunnitteluun ja kunnossapitoon kehitetty ohjelmisto. Ohjelmistoa käytetään prosessien sovellusten, kenttäväylien ja väylälaitteiden monitorointiin, konfiguraatioon, huollon toimenpiteisiin sekä dokumenttien hallinnan työkaluna. DNA Explorer sisältää graafisen käyttöliittymän suunnittelutyökalun [7], jolla opinnäytetyöhön liittyvien verkkoanalysointireiden käyttöliittymä on luotu.

Valmet DNA Engineering Function Block CAD -työkalua käytetään esimerkiksi prosessien, sekvenssien ja linkitysten sovellussuunnittelussa sekä graafisten

kuvien tuottamisessa. Sovellukset tallennetaan palvelimelle yhteen yleiseen tiedostovarastoon. Testityökalulla voi monitoroida valmiita prosessikuvia, mikä on kunnossapidon kannalta hyödyllistä. Työkalu pitää sovellukset ja piirustukset päivitettyinä sekä ilmoittaa ristiriidoista sovelluksen tarkistuksen ja latauksen yhteydessä. [8.]

Valmet DNA Field Device Manager on älykkäiden kenttälaitteiden konfiguraatioon ja kunnossapitoon kehitetty työkalu. Työkalua käytetään väylälaitteiden käyttöönotossa, vianetsinnässä sekä kunnossapidon suunnittelussa. [9.] Kyseiseen sovellukseen ei syvennyttä, koska tämän opinnäytetyön toteuttamisessa kyseistä työkalua ei tarvittu.

## 2.4 Tietoliikenneverkon laitteet

Kytkimet ja reitittimet ovat keskeisessä asemassa verkon rakenteessa. Kyseisten laitteiden avulla pystytään yhdistämään laitteita verkkoon. Laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään sekä eri verkkojen välillä. Reitittimiä ja kytkimiä on saatavilla eri käyttötarkoituksiin ja niiden tehtävät osana verkkoa ovat erilaiset. [10.]

### 2.4.1 Verkkokerroksen komponentit

Reitittimet ovat osa OSI-mallin verkkokerroksen laitteistoa. Niiden tehtävä on yhdistää eri verkkoja ja kytkimien muodostamia laitteistoryhmiä yhteen. Reitittimien päätehtäviä ovat tietoliikennepakettien reitittäminen verkosta toiseen ja levitysviestiliikenteen rajoittaminen sekä suodattaminen. Reitittimet toimivat verkkojen ja tietokoneiden yhdyskäytävänä verkkoyhtiön modeemiin ja internetiin. Reititin toimii verkon lähettäjänä analysoimalla verkon sisällä liikkuvaa tietoliikennettä sekä valitsemalla tälle tietoliikenteelle parhaan mahdollisen reitin kulkea määränpäähensä. [10.]

Pystyäkseen ohjaamaan tietoliikennettä laitteiden ja verkkojen välillä reititin hyödyntää tietoliikenteessä käytettyjä tietopaketteja, jotka sisältävät esimerkiksi tiedostoja, kuvia tai viestejä. Tietoliikennepaketit koostuvat tunnistustiedosta, joka

sisältää lähettäjän tunnisteeseen, tietotyyppiin, suuruuden ja määrän mukaan IP-osoitteen. Tämän tiedon lukiessa reititin pystyy järjestämään viestin tärkeysjärjestykseen ja valitsemaan parhaimman reitin jokaiselle eri lähetykselle.

Reitittimiä pystytään konfiguroimaan eri tavoilla, esimerkiksi siten, mitkä laitteet tai tietokoneet tulevat tärkeysjärjestyksessä muiden edelle yhteyksiä muodostettaessa. Reitittimien perusominaisuuksien lisäksi on mahdollista asettaa omien turvallisuustarpeiden mukaisesti palomuuuri, virtuaalinen erillisverkko (VPN) ja/tai Internet Protocol (IP) viestintäprotokollaksi. [10; 11; 12.]

#### 2.4.2 Siirtoyhteyskerroksen komponentit

Kytkimet ja sillat ovat osa OSI-mallin siirtoyhteyskerroksen laitteistoa. Siirtoyhteysverkon laite pystyy liittämään eri tekniikoita yhteen, kuten Token Ring- ja Ethernet-verkkoja. Kytkimen ja sillan välinen periaate on sama, missä molemmat pyrkivät hallitsemaan tietoliikennettä tietoliikenneverkossa. Sillalla on prosessori ja ohjelma, jotka hoitavat tietoliikennepakettien välityksen. Kytkin ei puutu samalla tavalla tietoliikenteeseen kuin silta. Kytkin pystyy välittämään useamman tietoliikennepaketin, kun taas silta pystyy välittämään vain yhden paketin kerrallaan. Molemmat laitteet oppivat seuraamalla tietoliikenteestä sitä, minkä portin takana mikäkin Media Access Control (MAC) -osoite sijaitsee. Aluksi tietoliikennepaketti välitetään jokaisesta portista ulos, oli kyseessä sitten levitysviesti tai yksittäiselle laitteelle suunnattu viesti. Jos vastaanottajan osoite on tunnettu, välitetään viesti suoraan vastaanottajan porttiin. Siirtoyhteyskerroksen laitteiden tarkoitus on rajoittaa turhaa liikennettä verkkojen välillä. [13, s. 43–45.]

Kytkimien tehtävä on toimia verkon liikenteen ja resurssien ohjaimena yhdistämällä eri laitteet, tietokoneet ja palvelimet tietoliikenneverkkoon, esimerkiksi teollisuuslaitoksen sisällä. Kytkin mahdollistaa siihen kytkettyjen laitteiden välisen yhteyden tietoliikenneverkossa ja laitteiden sekä muiden verkkojen välisen kommunikation.

Kytkimet voidaan jakaa perusominaisuuksiltaan kahteen paikallisesti tai pilvestä hallittuun kytkimeen. Paikallisesti hallittu kytkin mahdollistaa LAN-yhteyden konfiguroinnin ja monitoroinnin sekä verkon tietoliikenteen ohjaamisen. Pilvestä hallittu kytkin yksinkertaistaa verkon käsittelyä käyttöliittymän sekä kytkimelle kohdistettujen automaattisten päivitysten avulla. Hallinnoimaton kytkin on lähinnä kotiverkoissa käytetty perusasetuksilla toimiva konfiguroimaton kytkin, jonka voi liittää suoraan paikallisverkkoon. [10; 14.]

### 2.4.3 Fyysisen kerroksen komponentit

Fyysinen kerros käsittää verkon tiedonsiirron mahdollistavat kaapelit. Kaapeleita on kahta tyyppiä: kupari- ja valokuitukaapelia. Kuparikaapeleita on esimerkiksi koaksiaalikaapeli, suojattu FTP- tai suojaamaton UTP-parikaapeli. Valokaapeleita on kolmea eri tyyppiä, joita ovat yksimuotokuitu sekä asteittais- ja askeltaitekertoiminen monimuotokuitu.

Koaksiaalikaapelissa data siirtyy kaapelin keskellä menevässä kuparijohtimessa, jonka ympärillä on muovivaippa. Muovivaipan ympärillä on häiriöiden estämiseksi suojajohdin. Parikaapelit muodostuvat yleensä neljästä parista johtimia, joita suojaava muovinen ulkokuori. Johtimet on kierretty pareittain tehokkaamman häiriösuojauksen saavuttamiseksi. Suojatussa parikaapelissa jokaiselle parille on oma metallinen suojavaippa ennen ulointa suojakuorta. Suojaamattomassa parikaapelissa ei tällaista suojausta ole.

Valokuitukaapeleiden rakenteessa eri tyyppien välillä ei ole suurta eroa, paitsi ytimen paksuus, jonka koko voi vaihdella välillä 5–100 mikrometriä. Yksimuotokuitu on ohut kaapeli, jossa valo pääsee etenemään yhdenmuotoisena. Monimuotokuidussa valo etenee useammassa eri vaiheessa. Taitekerrointyyppin mukaan valo taittuu kuidussa eri tavalla. Monimuotoaskeltaitekertoimisessa kuidussa valo taittuu jyrkästi ja asteittaistekertoimisessa vaihteittain.

Kaikille kaapelityypeille on yhteistä, että välitettävä signaali vaimenee matkan varrella. Signaalin vaimennusta mitataan yksiköllä dB/m, millä tarkoitetaan

kaapelin aiheuttamaa vaimennusta desibeleinä metriä kohden tietoliikennekaapelissa. Vaimennuksen takia jokaisella kaapelityypillä on maksimietäisyys, minkä signaali pystyy kulkemaan ennen kuin vastaanottaja ei pysty enää tulkitsemaan sitä. Etäisyys on riippuvainen kaapelin luokituksesta, signaalin koodaustavasta, lähetystaajuudesta sekä ympäristön olosuhteista. [13, s. 38–39.] Valokuitukaapelia käytetään jätevedenpuhdistamolla pääsääntöisesti runkoverkon kaapeloinnissa.

Vaimeneminen on iso ongelma niin lähiverkkokaapeleissa kuin myös teollisuuden kenttäväylissä, mikä rajoittaa laitteiden etäisyyksiä. Vaimenemisen minimoimiseksi on kehitetty aktiivinen toistin. Toistin on yksinkertaisuudessaan laite, joka toistaa laitteeseen kytkettyjen kaapelien välistä tietoliikennettä eteenpäin, eikä näin ollen sovellu tietoliikenteen rajoittamiseen. OSI-mallissa toistin sijoittuu fyysiselle kerrokselle. HUB on moniporttitoistin, jossa yhdestä kaapelista tuleva signaali toistetaan kaikkiin portteihin. Toistimen yksi ongelmista on se, että laite voi vääristää toistettavia kehyksiä ja lähettää nämä oikeiden kehysten kanssa eteenpäin. Kehys on ylemmiltä kerroksilta tullut siirtoyhteysverkon kehystämä tietoliikennepaketti.

Verkkokortti toimii fyysisellä kerroksella ja jokaisella laitteella on oltava oma verkkokortti. Verkkokortin avulla tietoliikennepaketit lähetetään kaapeliin. Lähiverkoissa jokaisella verkkokortilla on oma MAC-osoite, jolla laite tunnistaa itselleen lähetetyt kehykset. [13, s. 40–43.]

### 3 Lähiverkkotekniikka

Lähiverkolla tarkoitetaan local area network (LAN) -tietoliikenneverkkoa, joka voi olla yksityistalon tai yrityksen omistuksessa ja hallittavissa. Lähiverkkojen ominaisuuksiin kuuluu rajallinen fyysinen etäisyys sekä tietoliikenneväylän mahdollinen jakaminen useammalle käyttäjälle. Yleisimmin käytettyjä lähiverkkotekniikoita ovat palvelin-asiakasarkkitehtuuria noudattava Ethernet- ja vuoropuhelua noudattava Token Ring -tekniikka. [13, s. 29–30; 15.]

#### 3.1 OSI-malli

Yhteistä verkkotekniikoille on, että ne pystytään mallintamaan OSI-pinon avulla. Open Systems Interconnection (OSI) -malli on International Organization for Standardizationin (ISO) toimesta 1980-luvun alussa kehitetty malli. OSI-pinon tarkoituksena oli saavuttaa yhteensopivuus kaikkien verkkotekniikoiden välille, kuitenkin siinä onnistumatta. Nykyään OSI-mallia käytetään yleisesti seitsemänkerroksisena referenssipinona kaikille verkkotekniikoille. OSI-mallin kerrokset ovat periaatteeltaan samanlaisia kaikissa protokollissa. OSI-mallia käytettäessä voidaan jokaista seitsemästä kerroksesta pitää itsenäisenä kokonaisuutena. OSI-malli eroaa TCP/IP-mallista siten, että TCP/IP-pinossa sovelluskerrokseen kuuluu sovellus-, esitystapa-, yhteysjaksokerrokset. Kuljetuskerros on oma osansa ja verkkokerrokseen kuuluvat verkko-, siirtoyhteys- ja fyysinen kerros. [13. s, 30–36.]



Kuva 1. OSI-mallin kerrosten järjestys tietoliikenneverkon laitteissa

### 3.2 OSI-mallin kerrokset

Sovelluskerroksen tehtävänä on määrittää, mitä sovelluksen tiedolla tehdään, kuten tiedostojen sulkeminen, avaaminen, kirjoittaminen ja lukeminen. Esitystapakerros määrittelee, missä muodossa tieto esitellään, kuten JPEG- tai DWG-muodossa. Yhteysjaksokerroksen tarkoitus on varmistaa, että lähetettävät tietoliikennepaketit ovat oikeassa järjestyksessä. Yhteysjaksokerroksen toinen tarkoitus on sovellusten toimintojen koordinointi laitteiden välillä.

Kuljetuskerros vastaa välitettävän tiedon pilkkomisesta sopivan kokoiisiin palasiin eli segmentteihin sekä palasten välittämisestä vastaanottajalle. Vastaanottajan kuljetuskerros vastaavasti tarkistaa otsikkokentät ja päättelee, mille sovellukselle viesti on tarkoitettu.

Kuljetuskerros toimii yhteydellisesti tai yhteydettömästi. Yhteydellisessä toiminnassa kommunikoivat laitteet muodostavat välilleen yhteyden ennen tiedon lähettämistä. Yhteydettömässä toiminnassa tieto lähetetään verkkoon, eikä tiedon

perille pääsystä ole takuita. TCP- ja UDP-protokollat ovat eräitä yleisesti käytössä olevia kuljetuskerroksen protokollia.

Verkkokerroksen tehtävänä on pakata kuljetuskerrokselta saadut segmentit tietoliikenneverkkoon mahtuviin paketteihin ja välittää nämä paketit verkkokerroksen osoitteen avulla vastaanottajalle. Vastaanottajan verkkokerros tarkistaa otsikkokentät ja niiden tietojen perusteella siirtää paketin kuljetuskerrokselle. Kyseistä prosessia kutsutaan reititykseksi, eikä se välitä muista alempien kerrosten käyttämistä tekniikoista. IP-protokolla on yleisesti käytetty verkkokerroksen protokolla.

Siirtoyhteyshieroksen tehtävänä on luoda verkkokerrokselta saadulle paketille kehys, johon lisätään kerroksen omat otsikot. Otsikkoihin sisältyy vastaanottajan ja lähettäjän siirtoyhteyshieroksen MAC-osoitteet. Osoitteiden avulla vastaanottaja varmistaa, että kehys on tulossa kyseiselle vastaanottajalle, minkä jälkeen siirtoyhteyshieros tarkistaa siirtovirheet. Fyysisen kerroksen tehtävänä on lähettää bittijonoja eteenpäin ja monitoroida kehyksien jännitetasoja viestin siirtyessä verkkokorttien välillä. [13, s. 30–36.]

### 3.3 Ethernet

Ethernet on nykyään yleisin käytetty lähiverkkotekniikka. Ethernet mahdollistaa laitteiden välisen kommunikoinnin ilman, että laitteet lähettäisivät viestejä samanaikaisesti toistensa päälle, mikä aiheuttaisi tietoliikenteessä törmäyksiä. Ethernet on kehitetty estämään tietoliikenteen pakettien törmäykset. Ethernet käyttää CSMA/CD-tekniikkaa, missä lähettävä laite seuraa tietoliikenteen tapahtumia ja sitä, ovatko muut laitteet lähettämässä viestiä samassa verkossa. Mikäli tietoliikennettä ei ole, laite aloittaa lähetyksen, kun taas havaitessaan liikennettä se odottaa verkkokaapelin vapautumista.

Törmäysten havaitseminen perustuu lähetyksen etenemiseen verkkokaapelissa. Parikaapelissa kehykset liikkuvat hieman alle valonnopeudella ja valokuitukaapelissa valonnopeudella. Törmäyksiä voi tapahtua laitteiden aloittaessa lähetykset

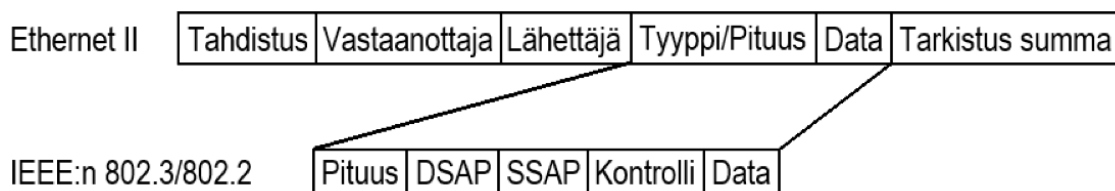


samanaikaisesti, kun nämä havaitsevat parikaapelin olevan vapaa. Törmäys aiheuttaa jännitetasojen vaihtelua, joka havaitaan molemmissa laitteissa. Törmäyksen havaitsemisen jälkeen laitteet lähettävät törmäyksen indikaattoriksi sotkua verkkoon ja yrittävät hetken päästä uudelleen, mikäli tietoliikennekaapeli on tyhjä. Uudelleen lähetystä yritetään 16 kertaa, minkä jälkeen luovutaan lähetyksestä. Tietoliikenneverkon osaa, missä laitteet kuulevat toisensa, kutsutaan törmäysalueeksi. Reitittimet rajoittavat törmäysaluetta.

Ethernet-protokollassa on kehykset pakettien siirtämiseen kuten muissakin siirtoyhteyskerroksen protokollissa. Perukehys on nimeltään Ethernet II, ja siitä on kehitetty erilaisia variaatioita, joista yleisesti käytetty on IEEE:n kehittämä ja määrittämä 802.3-määrittelyn mukainen kehys. Kehyksen koko 802.3-määrittelyssä on ollut aiemmin 1518 tavua, jossa otsikkokenttiä oli 18 tavua ja otsikoita sekä välitettävää tietoa 1500 tavua. Uusien määrittelyjen jälkeen kehyyksen koko kasvoi 1522 tavuun. Minimikoko kehyykselle on 64 tavua. [13, s. 48–51; 16.]

Kehykset koostuvat 8-tavuisesta tahdistuskuviosta, 6-tavuisesta vastaanottajan ja lähettäjän osoitteesta, 2-tavuisesta tyypistä tai pituudesta, 1496- tai 1500-tavuisesta viestikentästä sekä 4-tavuisesta tarkistuskoodista. Uudessa kehyyksessä on lisäksi 4-tavuinen virtual local area network (VLAN) -tunniste ja prioriteettitiedot sekä 802.2-määritelmän kehyyksessä lisäksi 3-tavuinen ohjaustieto. Tahdistuskuviosta vastaanottaja selvittää, milloin viestin kehys alkaa. Tahdistuskuvion avulla laite pystyy mukauttamaan vastaanoton tahdistuksen lähettäjän kanssa. Tahdistuskuviota ei lasketa kehyyksen pituuteen mukaan.

Mikäli Ethernet II-kehyyksen kuormana on IP-protokolla, tyyppikenttä koostuu heksadesimaalisesta arvosta 0800, joka on desimaalilukuna 2048. Käytettäessä 802.3-standardin määrittelyn kehystä, osoittaa kyseinen kenttä viestikentän pituuden. Kehyyksen tavumäärän ollessa yli 1518 tai 1522, on kyseessä Ethernet II. Muulloin kyseessä on 802.3-standardin määrittämä kehys.



Kuva 2. Ethernet II ja 802.3/802.2-kehiksen rakenne

Tahdistuskuvio on kahdeksan tavun kokoinen bittijono, joka 802.3-määrittelyssä alkaa tavusta 10101010 loppuen tavuun 10101011. Ethernet II:n koko kehys koostuu 10101010-tavuista. Vastaanottajan osoitekenttä voi olla yksilöllinen MAC-osoite, ryhmälähetys- tai levitysviestiosoite. Lähettäjän osoitekenttä on yksilöllinen lähettäjän verkkokortin osoite. Tyyppi- ja/tai pituuskenttä kertovat viestin tyyppin, esimerkiksi tietokentän pituuden tai sen, mitä kehyksessä siirretään. Tietokenttä sisältää sovelluksen lähettämän tiedon. Kehyksen viestikentän tulisi olla vähintään 46 tavua. Mikäli tämä ei täyty, sisältää viestikenttä ylimääräisiä täytemavuja. 802.2-määrittelyn kehyksessä on viestikenttään sijoitettu ohjaustietoja korvaamaan Ethernet II-kehiksen tyyppitiedon. Vastaanottajan saadessa kehyksen lukee tämä lähettäjän tarkistussumman, minkä jälkeen vastaanottaja laskee tämän uudestaan. Mikäli lähettäjän ja vastaanottajan tarkistussummat täsmäävät, kehys ei ole vioittunut.

VLAN-kehystyyppin määrittely sisältää aikaisemman lisäksi neljän tavun VLAN-otsikon, mikä jakautuu kahden tavun protokollatunnisteeseen ja loput kaksi tavua on jaettu prioriteetin ilmaisemiseen, Token Ring- sekä VLAN-tunnisteeseen. [13, s. 51–54; 16.]

Ethernetissa lähetykselle ja vastaanotolle on erityyppisiä kaapelien kommunikaatiotekniikoita, jotka vaikuttavat yhteyksien nopeuteen ja mahdollisiin törmäyksiin. Koaksiaalikaapeloinnin yhteydessä käytetään half-duplex-toimintomallia, jossa yhden johtimen takia tietoliikenne voi siirtyä vain yhteen suuntaan kerrallaan. Parikaapelien yhteydessä käytetään usein full-duplex-toimintomallia, jossa toinen kaapelipari lähettää ja toinen vastaanottaa. Dual-duplex-toimintomallissa

voidaan yhdessä kaapeliparissa lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti. Dual-duplex vaatii tehokkaan signaalinkäsittelyprosessorin. [13, s. 54–55; 17.]

Uusimpia IEEE:n hyväksymiä 802.3-määrittelyn Ethernet-kaapeleita ovat CAT6A ja CAT8. CAT7-kaapelityyppi ei ole IEEE:n hyväksymä standardi. CAT6 on yhteensopiva CAT5e- ja aikaisempien CAT5-standardien kanssa. CAT6-standardin kaapeli pystyy 10 gigabitin Ethernet-yhteyksiin maksimissaan 55 metrin etäisyydellä. Päivitetty CAT6A-versio pystyy samaan, mutta 100 metrin Ethernet-segmentin pituudella. CAT8 on IEEE-organisaation hyväksymä kaapelistandardi, mikä pystyy 40 gigabitin yhteyksiin 23 metrin etäisyydellä sekä 25 gigabitin yhteyksiin 30 metrin etäisyydellä. Pitemmällä matkoilla aina 100 metriin asti on CAT8-kaapelin toimintanopeus samaa luokkaa kuin CAT6A-kaapelityypillä. [18.]

### 3.4 Token Ring

Token Ring on IBM:n kehittämä ja IEEE-organisaation standardoima 802.5-määrittelyn lähiverkkotekniikka. Token Ring -tietoliikenneverkko on looginen rengas, jossa kaapeloinnin topologiaksi valitaan yleensä tähti. Kaikki Token Ring -laitteet liitetään multistation access unit (MSAU) -laitteeseen. Token Ring -verkko voi olla maksimissaan 100 metriä, mutta verkon kantavuutta voidaan kasvattaa lisäämällä renkaita toisiinsa. Toisin kuin Ethernet-verkko, Token Ring ei kilpaile tietoliikenneverkon kapasiteetista, vaan jokainen laite vuorollaan ottaa itselleen vuorovarausmerkin eli tokenin. Tokenin saatuaan laite lähettää viestin, minkä jälkeen laite päästää irti vuorovarausmerkistä tai odottaa vastaanottajan kiittausta onnistuneesta lähetyksestä. [13, s. 61–66; 19.]

### 3.5 MAC-osoitteet

Lähiverkoissa laitteet kuulevat kaiken tietoliikenteen, ja tämän takia laitteen on pystyttävä tunnistamaan itselleen tulevat kehykset. Tunnistaminen tapahtuu osoitteiden perusteella. Näistä verkkokorttien osoitteista käytetään nimitystä MAC-osoite. MAC-osoitteita on kolmea erilaista, mutta niistä kaksi voidaan edelleen jakaa kahteen erityistyyppiin. Siirtoyhteysverkon levitysviesti koostuu

pelkästään FF-FF-FF-FF-FF-osoitteesta. Osoitteeseen lähetetty tietoliikennepaketti tulkitaan kaikissa verkkokorteissa, jonka levityksen estää vain reititin. Toinen erityistyyppi on ryhmälähetysosoite. Näiden osoitteiden lähetyksiä käsitellään laiteryhmissä, mihin sovellus haluaa lähettää tai vastaanottaa tietyille ryhmäosoitteelle suunnattuja viestejä. Ryhmälähetysosoite alkaa aina 01–00–5E-alkuosalla. Laitteella itsellään on valmistajan antama ainutlaatuinen MAC-osoite, joka koostuu kuudesta parista heksadesimaalisia numero- ja kirjainyhdistelmiä. Kolme ensimmäistä heksadesimaaliparia ovat valmistajan tunnus, ja kolme viimeistä ovat laitteen tunniste. [13, s. 42.]

### 3.6 IP-osoitteet

Tietoliikenneverkon viestintä tapahtuu osoitteiden avulla. Jokaisella verkossa toimivalle laitteella on oltava yksilöllinen osoite. Osoitteena voidaan käyttää lähiverkoissa siirtoyhteysverkon MAC-osoitetta tai verkkokerroksen IP-osoitetta. IP-osoitteita käytetään TCP/IP-tekniikalla toimivissa tietoliikenneverkoissa. IP-osoitteiden yksilöllisyydestä ja jakamisesta vastaa Euroopassa Ripe-NCC-organisaatio. Suomessa IP-osoitteita jakavat eri palveluntarjoajat ja näiden hallinnoimiin osoitteisiin pääsee tutustumaan Ripe-NCC:n palvelimelta.

Verkossa liikkuviin paketteihin on sijoitettu eri kerrosten toimesta omat osoitteet ja otsikot. Paketit sisältävät vastaanottajan ja lähettäjän osoitteet, joilla lähettäjä ja kohde tunnistetaan. IP-osoitteen avulla tiedetään, mihin verkkoon paketti on menossa, ja MAC-osoitteella tunnistetaan vastaanottajan laite, jolle paketti kuuluu verkossa.

IP-osoite jaetaan verkko-osoitteeseen ja laiteosoitteeseen. Kaikilla verkoilla on oma verkko-osoite ja verkon laitteilla on yksilölliset laiteosoitteet. Kahta samaa IP-osoitetta ei tulisi olla verkossa muutamaa erikoisatapauستا lukuun ottamatta. Kaksi samaa IP-osoitetta saattaa aiheuttaa ruuhkautumista tai estää kyseisen verkon osan toiminnan.

Mikäli käytössä on network address translation (NAT) -tekniikkaan perustuva verkko TCP/IP-tekniikan kanssa, voidaan verkko- ja laiteosoitteiden yksilöllisyydestä poiketa. Osoitteita ei kuitenkaan saa keksiä, vaan seurataan RFC 1918 -standardia. NAT-tekniikka perustuu siihen, että lähiverkossa reititin kääntää RFC 1918:n sanelemia osoitteita. NAT-verkossa laite lähettää ensin viestinsä reitittimelle, missä reititin asettaa lähettäjän osoitteen tilalle osoitetaulusta laajaverkon liikennöintiin sallitun osoitteen.

IP-osoite muodostuu 32 bitistä, joka esitetään pisteillä erotettuna neljänä kahdeksanbittisenä desimaalilukuna välillä 0–255. Internetin osoitteet on jaettu viiteen eri luokkaan, joista kolme on tarkoitettu normaaliin käyttöön ja kaksi erityiskäyttöön. Jokaisella luokalla on tietty määrä osoitteita käytössä. IP-osoitteista on erotettavissa verkonosoite ja laiteosoite. IP-osoitteesta voi myös laskea osoitteille varattujen bittien määrän ja laitteiden kokonaismäärän.

A-luokan verkot ovat osoitteiltaan suurimpia, ja niitä on vähiten käytettävissä. A-luokan ensimmäinen desimaaliluku on välillä 0–127. B-luokan verkot ovat osoitteiltaan keskisuuria, ja niiden ensimmäinen desimaaliluku on välillä 128–191. C-luokan verkot ovat osoitteiltaan pienimpiä kolmesta normaaliin käyttöön tarkoitettusta luokasta. C-luokan ensimmäinen desimaaliluku on välillä 192–223. D-luokka on varattu ryhmälähetysosoitteiksi, eikä niitä käytetä normaalina osoitteena muulloin kuin erityistapauksissa varsinaisen osoitteen rinnalla. D-luokan tunnistaa siitä, että osoitteen ensimmäinen desimaaliluku on 224–239 välillä. E-luokka on varattu kokeilukäyttöä ja tulevaisuuden laajentamista varten. E-luokalle on varattu osoitteen ensimmäiselle desimaaliluvulle arvot 240–255.

Tiettyjen IP-osoitteiden käyttö on kiellettyä laitteiden osoitteina. Osoite 127.b.c.d on takaisinkytkennän diagnostiikkaosoite, jolla testataan laitteen IP-protokollapinon toiminta konfigurointivaiheessa. Ryhmälähetysosoitteet on tarkoitettu vain ryhmälähetystoimintaan, ja E-luokan osoitteet on tarkoitettu kokeilukäyttöön.

Osoitteet, joissa kaikki laiteosuuden bitit ovat nollia, esimerkiksi 194.110.224.0, tai ykkösiä, esimerkiksi 194.110.224.255, ovat kiellettyjä. Ykkösillä varustettu osoite on tarkoitettu levitysviesteille. Osoitteen ollessa kokonaan ykkösiä eli

255.255.255.255, on kyseessä yleinen levitysviesti. Laitteosuuden ollessa yksittäistä, esimerkiksi 194.110.224.255, on kyseessä suunnattu levitysviesti. Osoitteella lähetetyn viestin vastaanottavat kaikki verkon tai ryhmän laitteet. Laitteosuuden bittien ollessa nolliä tarkoittaa tämä verkon tunnustetta ja verkkoa itsessään. Osoitetta käytetään IP-pakettien reititystä ohjaavissa osoitetauluissa. [13, s. 83–95.]

### 3.7 Aliverkotus

IP-osoiteluokat mahdollistavat eri kokoisten verkkojen hyödyntämisen normaaliin käyttöön tarkoitettussa verkossa, mutta tämä ei ole tehokasta. Aliverkotus ja yli-averkotus tarkoittavat tietoliikenneverkon pilkkomista osiin. Aliverkkojen yhdistämiseen käytetään reitittimiä, jotka reititystaulujen avulla ohjaavat viestipaketteja verkosta toiseen. Verkon pilkkominen mahdollistaa erilaisten verkkotekniikoiden käytön verkon eri osissa, verkkotekniikoiden rajoitteiden kiertämisen sekä tietoliikenneuhkien välttämisen.

Aliverkon maski on 32-bittinen. Maski jaetaan neljään kahdeksan bitin desimaalilukuun pisteillä erotettuina. Aliverkon muodostamiseen on eri tapoja, mutta yleisin on erillisen aliverkon maskin käyttö. Kaikissa TCP/IP-pinon konfigurointiasetuksissa on kohta, johon pystytään asettamaan aliverkon maski. Aliverkon maskin tarkoitus on peittää kohteesta tietty osuus. Maskin avulla IP-osoitteesta nähdään peitetyn verkon osuus.

Etsiessä vastaanottajan sijaintia lähettäjä suorittaa XOR-operaation oman ja vastaanottavan laitteen osoitteilla. Tulokselle suoritetaan AND-operaatio aliverkon maskin kanssa. Mikäli tulos on yksi, sijaitsee vastaanottava laite eri verkossa, jolloin viesti lähetetään reitittimelle. Tuloksen ollessa nolla sijaitsee vastaanottava laite samassa verkossa, milloin lähettäjä voi lähettää viestin normaaleja lähiverkon tapojen avulla eteenpäin.

Kaikille osoiteluokille on määritetty luonnolliset aliverkon maskit. Eri osoiteluokien luonnollisia aliverkon maskeja ovat A-luokassa 255.0.0.0, B-luokassa

255.255.0.0 sekä C-luokassa 255.255.255.0. Kiellettyjä aliverkko-osoitteita ovat osoitteet, joiden laiteosuus koostuu pelkästään nolista tai ykkösistä. Mikäli aliverkon osoitteen laiteosuuden bitit olisivat nolliä, esimerkiksi 194.110.224.0, olisi se samaan aikaan verkon ja aliverkon osoite. Reititin ei pysty tällöin erottamaan, mihin verkkoon viesti on matkalla. Laiteosuuden bittien ollessa ykkösiä, esimerkiksi 194.110.224.255, olisi kyseessä suunnattu levitysviesti eikä reititin tietäisi, mihin verkkoon viesti on tarkoitettu. [13, s. 96–111.]

## 4 TCP/IP-tekniikka

TCP/IP-protokollapinin tärkeimmät kerrokset ja protokollat ovat kuljetuskerroksen TCP- ja UDP-protokollat sekä verkkokerroksen IP-protokolla. Kuljetuskerroksen tehtäviä ovat tietopakettien pilkkominen osiin sekä tiedonsiirron valvominen. Verkkokerroksen tehtäviä ovat saatujen viestien paketointi ja näiden pakettien välittäminen vastaanottajalle IP-osoitteiden perusteella. IP-osoite on verkkokerroksen tärkein ominaisuus, jonka avulla viestipaketit pystytään lähettämään verkossa tai verkon ulkopuoliselle laitteelle. [13, s. 113.]

### 4.1 Internet Protocol

IP-protokollan versio IPv4 on tarkoitettu pakettien välittämiseen verkoista toiseen. Luonteeltaan protokolla on yhteydetön, millä tarkoitetaan sitä, että verkkokerroksessa ei pidetä kirjaa yhteyksistä. IPv4-versiosta puuttuu kokonaan liikenteen määrän hallinta ja virheenkorjauksen ominaisuudet. Ominaisuudet puuttuvat suorituskykyyn liittyvistä syistä sekä niiden tarpeettomuudesta. IP-protokollan toiminta perustuu pakettien käsittelemiseen. IP-protokollan tehtäviin kuuluvat pakettien pilkkominen, liikenteen reititys IP-osoitteiden avulla, peruspaketin suuruuden määrittäminen sekä optioiden käyttö pakettien yhteydessä.

IP-protokollan tiedonsiirtoliikenne on pakettiliikennettä, millä tarkoitetaan paketin välityksen tapahtumista riippumatta edellisen paketin kulkemasta reitistä. Käytännössä paketit liikkuvat yhtä reittiä pitkin. Poikkeuksena ovat fyysisten yhteyksien katkeamiset, reitittimien vikatilat tai verkon muokkaukset. Tietoliikennereitti vaihtuu automaattisesti.

IP-paketissa oleva otsikko sisältää 14 kenttää, joista 12 on vakiomittaisia ja kaksi optiokenttiä. Optiokenttien pituuksille ja täyttämiseksi ei ole asetettu vaatimuksia. Otsikko sisältää kentät seuraaville tiedoille: IP-protokollan versionumero, otsikon pituus, palvelun tyyppi, paketin kokotieto, yksilöllinen tunniste, palasien määrittely, palasien kokotieto, paketin elinaikatie (TTL), seuraavan tason protokollatieto, tarkistussumma, lähettäjän ja vastaanottajan osoitteet sekä erityyppiset



optiot. Optiot sisältävät turvallisuuteen ja reititykseen liittyviä tietoja sekä täyttökentän. Täyttökentällä saadaan täytettyä vajaa paketti vaadittuun kokoon 32 bitillä jaolliseksi.

TTL-kentällä asetetaan paketille elinaika, millä estetään tietoliikenneverkon liika-kuormitus. Paketin elinaika ilmaistaan sekunneissa. Käytännössä kentän arvo ilmaisee, kuinka monen reitittimen läpi paketti on kulkenut. Kentän arvo tarkoittaa reitittimien määrää lähettäjän ja vastaanottavan laitteen välissä. TTL-kentän toiminta perustuu siihen, että välitettävälle paketille asetettu arvo vähenee viestin kulkiessa reitittimeltä toiselle. Mikäli arvo vähentyy nolnaan, tuhoaa reititin paketin sekä lähettää ICMP-sanoman lähettäjälle. [13, s. 114–132.]

## 4.2 Transmission Control Protocol

TCP ja UDP ovat kuljetuskerroksen protokollia, joista TCP on yleisemmin käytetty. Verrattuna UDP-protokollaan, TCP-protokollaa voidaan käyttää monipuolisemmin ja monimutkaisempiin sovelluksiin. TCP on useita kymmeniä vuosia vanha protokolla, eikä välttämättä sovi uusimpien sovellusten käyttötarkoituksiin. Multimedialähetyksille on omat niille tarkoitetut protokollat.

TCP-protokollan tarkoitus on tarjota luotettava tiedonsiirtotie kahden laitteen välillä. Verkkokerroksen IP-protokolla toteuttaa TCP:lle viestintäpalvelua. IP-protokolla on yhteydetön protokolla. IP-protokolla ei tarvitse tietoa paketin lähettämisestä tai vastaanottamisesta laitteilta, eikä se takaa tiedonvälityksen onnistumista.

Luonteeltaan TCP on yhteydellinen päästä päähän toimiva kuljetuskerroksen protokolla. Yhteydellisellä protokollalla tarkoitetaan yhteyden muodostamista ennen tiedonsiirron aloittamista. TCP-protokollassa on erilaisia ominaisuuksia, jotka tekevät viestinnästä luotettavaa. TCP tarvitsee toimiakseen monikerroksisen protokollapinin.

TCP-protokollan päätehtävä on tiedonvälityksen luotettavuuden varmistaminen. Verkkosanoma lähetetään uudestaan, mikäli kuittausta ei ole tietyn ajan kuluessa

vastaanotettu. Päätehtäviin kuuluvat ylemmiltä sovelluksilta saatujen tietopakettien paketoiminen sopivin kokoisiin osiin sekä vuonohjaus. Vuonohjauksessa TCP hyödyntää liukuvan ikkunan käsitettä. Ikkunan koko kertoo viestin suuruuden, mitä pystytään vastaanottamaan sekä mitä lähettäjä saa viestittää. Vuonohjaus tarkoittaa viestivirran ohjausta, missä TCP-protokolla pyrkii jakamaan kaistaa laitteiden välille.

Multipleksauksella TCP-pino pyrkii toteuttamaan useiden sovellusten tiedonsiirron yhtäaikaisesti. Multipleksaus tapahtuu porttinumeroiden avulla. Porttinumeroiden tarkoitus on erottaa yhteydet toisistaan. Yhteydet erotetaan vastaanottavan ja lähettävän laitteen porttinumeroiden sekä IP-osoitteiden avulla. Tiedonsiirron päätyttyä yhteys suljetaan molemmissa päissä.

TCP-protokollan otsikkokenttiin sisältyy lähettäjän ja vastaanottajan porttinumerot, lähetyksen järjestysnumero, kuittausnumero, otsikon pituus, koodibitit yhteyden avauksen ilmaisemiseen, vastaanottoikkunan kokotieto, tarkistussumma, tieto kiireellisyydestä, erilaiset optiot ja täyttöosuus. [13, s. 133–165.]

### 4.3 Internet Control Message Protocol

ICMP on IP-protokollan päällä toimiva TCP/IP-kontrolliprotokolla. ICMP-sanomat paketoidaan normaalisti IP-pakettiin ja välitetään IP-osoitteiden avulla vastaanottajalle. Mikäli tietoliikennepaketti ei pääse määränpäähänsä, ICMP-sanoma lähetetään. ICMP on virheiden raportointi- ja diagnostiikkaprotokolla. ICMP-sanoma lähetetään esimerkiksi TTL-kentän arvon mennessä nolnaan ja reitittimen tuhotua sanoman. Mikäli reititin ilmoittaa, että laitteeseen ei saada yhteyttä, on tämä silloin sovellusprotokollan vastuulla. Raportoinnin lisäksi ICMP sisältää yhteyden testauksen ja reitityksen uudelleenohjauksen toiminnot. Suurin osa ICMP-sanomista on tarkoitettu reitittimien ja laitteiden väliseen tietoliikenteeseen. Osaa voidaan käyttää kahden tietokoneen välillä. ICMP-sanoman otsikko koostuu tyyppikentästä, tarkentavasta koodista ja tarkistussummasta. [13, s. 183–185.]

#### 4.4 Address Resolution Protocol

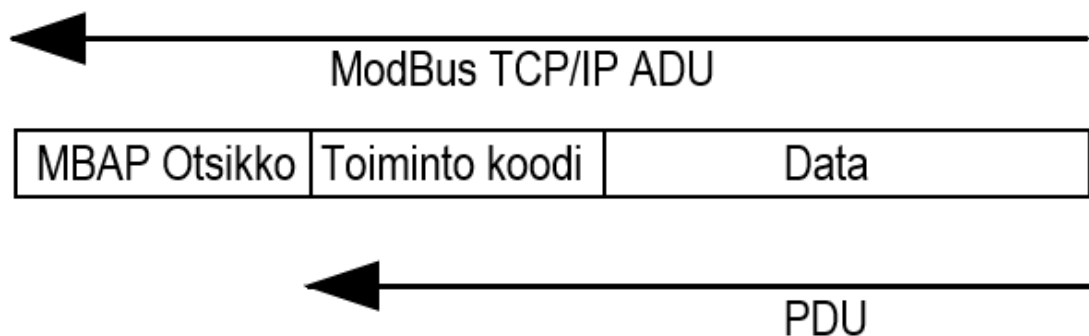
ARP-protokollan avulla selvitetään laitteiden fyysiset MAC-osoitteet Ethernet-tietoliikenneverkoissa. ARP-protokollan levitysviestin kuulevat kaikki tietoliikenneverkon laitteet. Lähettäjä syöttää ARP-levitysviestin vastaanottajan osoitteen ollessa tuntematon. Vastaanottajan tunnistessa oman osoitteensa, lähettää laite levitysviestin samalla periaatteella lähettäjäälle. IP- ja MAC-osoitteet löytyvät lähetetyistä viesteistä, mitkä laitteet merkitsevät omiin ARP-välimuisteihin. ARP-levitysviestin jälkeen lähettäjä välittää sanomansa vastaanottajalle. ARP-protokolla selvittää IP-osoitteen avulla fyysisen osoitteen. RARP-protokollassa selvitetään päinvastaisesti fyysisen osoitteen perusteella IP-osoite. [13, s. 171–177.]

## 5 Modbus TCP -protokolla

Modbus on Modiconin kehittämä ja vuonna 1979 julkistama sarjaliikenneprotokolla. Modbus-sarjaliikenneprotokollaa pidetään nykyisin teollisuudessa yleisesti käytettynä standardina, jota käytetään elektroniikkalaitteiden tietoliikenteessä. Modbus-protokolla sijoittuu OSI-mallin sovelluskerrokseen.

Modbus perustuu asiakas-palvelin-arkkitehtuuriin sekä toimii laitteiden välisessä tietoliikenteessä eri väylien tai tietoliikenneprotokollien välillä. Modbus TCP/IP -tiedonsiirtojärjestelmä voi sisältää eri asiakas-palvelin-arkkitehtuurin yhteensopivia laitteita, siltoja, reitittämiä sekä yhdyskäytäviä.

Modbus määrittää Protocol Data Unit (PDU) -sanoman, joka sisältää viestin tehtävän ja tiedon riippumatta laitteen alla olevista kommunikaatiokerroksista tai protokollista. Application Data Unit (ADU) käsittää viestin kokonaisuudessaan. Muut verkon kerrokset voivat lisätä oman tunnisteensa tai osan ADU-viestipakettiin. Modbus TCP -viestintunnistuksessa käytetään OSI-mallin mukaisesti otsikoita, joita kutsutaan nimellä Modbus application protocol header (MBAP). [20, s. 2–5.]



KUVA 3. Modbus-protokollan tietoliikennepaketin rakenne

TCP/IP-tietoliikenneverkossa MBAP-otsikko sisältää yhden tavun kokoisen laite-tunnisteen tietoliikennettä varten, kun verkossa on useita eri laitteita. Modbus-sarjaliikenteessä pyynnöt ja vastaukset on suunniteltu siten, että vastaanottaja pystyy tarkistamaan viestin eheyden. Varmistus tapahtuu toimintokoodin avulla. Toimintokoodi sisältää viestikentän, joka kertoo viestipaketin tavujen määrän.

Modbus TCP-tietoliikenteen otsikossa kulkeutuu ylimääräistä tietoa vastaanottajalle, joka mahdollistaa viestin rajojen tunnistuksen. Tunnistus toteutuu, vaikka viesti olisi jaettu useampaan pakettiin tiedonsiirron ajaksi. Otsikko sisältää kahden tavun kokoisen transaktiotunnisteen, kahden tavun kokoisen protokollatunnisteen, kahden tavun kokoisen viestipituuden sekä 1 tavun kokoisen lähettäjän tunnisteen.

Transaktiotunnistetta käytetään kuljetuksen parituksessa laitteiden välillä. Protokollatunnistetta käytetään multipleksauksessa, missä viesti yhdistetään ja lähetetään tietoliikenneväylää pitkin yhtenä kokonaisuutena, kunnes viesti avataan uudestaan vastaanottavassa laitteessa. Viestipituuden tietokenttä koostuu tavun määrätiedosta, johon sisältyvät lähettäjän tunniste ja itse viesti. Lähettäjän tunnistetta käytetään reititykseen. Kaikki ADU-paketit lähetetään Modbus TCP -tietoliikenneverkossa porttiin 502.

Asiakas-palvelin-arkkitehtuuri perustuu pyyntö-, vahvistus-, osoitus- ja vastausviesteihin. Asiakas aloittaa lähettämällä pyyntöviestin verkkoon aloittaakseen tiedonsiirron. Osoitusviesti on vahvistus asiakkaan pyyntöviestin saapumisesta palvelimelle. Vastausviesti on palvelimen lähettämä viesti asiakkaalle ja vahvistusviesti on osoitus viestin saapumisesta asiakkaalle. [20, s. 2–5; 21, s. 2–3.]

ADU-viestipaketti rakennetaan yhteyden muodostavan asiakkaan toimesta. Laitteen lähettäessä viestipakettia kertoo paketin toimintokoodin palvelimelle, minkä toiminnon sen halutaan toteuttavan. Toimintokoodikenttä on yhden tavun kokoinen. Hyväksytyt toimintakoodeja ovat arvot 1–255:n desimaalin välillä, missä koodit välillä 128–255 on varattu poikkeuksia varten. Toimintokoodin arvo nolla ei ole kelvollinen. Määriteltäessä palvelimelle useita yhtäaikaisesti toteutettavia toimintoja lisätään alakoodia toimintokodeihin.

Asiakkaan palvelimelle lähettämä viestipaketti sisältää lisätietoa, jota palvelin hyödyntää toimintokoodien määriteltyjen toimintojen toteuttamisessa. Lisätieto voi sisältää diskreetti- ja rekisteriosoitteita, tietoja käsiteltävien kohteiden määrästä tai viestikentän todellisen tavujen määrän. Viestikentän pituus voi olla nolla

tavua, milloin palvelin toteuttaa vain paketin toimintokoodin määrittämän toiminnon. [21, s. 4.]

Siemens PAC3200 ja PAC4200 ovat teollisuuteen tarkoitettuja tehon monitorointilaitteita. Laitteita voidaan hyödyntää kulutuksen ja tuoton laskemisessa sekä näiden seurannassa. Laitteiden avulla voidaan vähentää kustannuksia tai pienentää teollisuuslaitoksen hiilijalanjälkeä. PAC-laitteet ovat yhteensopivia Ethernet Modbus TCP-, Modbus RTU-, Profinet- tai Profibus-protokollien kanssa. Laitteiden konfiguraatio onnistuu paikallisen käyttöliittymän kautta, kun taas päivittäminen tapahtuu tietokoneelle asennettavan powerconfig-työkalun avulla. [22; 23.]

Siemens PAC3200- ja PAC4200-laitteet eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan. PAC3200-laitteesta on luettavissa 32 bittiä digitaalisia sisään- ja ulostuloja, kun taas PAC4200-laitteesta on luettavissa kaksi kappaletta molempia 32 bitin viestejä. Molemmissa laitteissa parametrien asettelu tehdään samalla tavalla. Mittaustiedot luetaan rekistereistä toimintokoodien avulla. PAC-laitteissa kaikki mittaustiedot ovat luettavissa toimintokoodien 0x03 ja 0x04 avulla. Esimerkiksi tehonseurannan pätötehon ja loistehon mittaustiedot on mahdollista hakea rekistereistä kaksi offseteilla 65 ja 67.

Ennen pakettien lähettämistä tai vastaanottamista on portti 502 avattava palvelimella sekä laite konfiguroitava. Analysaattori liitetään Ethernet-verkkoon RJ45-liittimen avulla. Paikallisesti konfiguroidessa laitetta muutetaan kommunikaatioasetuksista laitetiedot, esimerkiksi IP-, aliverkko- ja yhdyskäytäväosoitteet. Oletuksena oleva diagnostiikka SEAbus TCP -protokolla muutetaan Modbus TCP -protokollaksi. [24; 25.]

## 6 Toteutus

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä HSY:n kanssa. Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää ja korjata energiaseurantaverkon yhteyshäiriöt. Energiaseurantaverkko on tärkeä osa HSY:n toimintaa ja suunnittelua. Verkonalyysaattorien avulla pystytään analysoimaan ja seuramaan tehon kulutusta sekä toteutettuja toimenpiteitä. Energiaseurantaverkko on yksi HSY:n käytössä olevista työkaluista energiatehokkuuden saavuttamisessa. Ilman energiaseurantaverkkoa ei pystyttäisi energiatehokkuuden tavoitteita saavuttamaan tehokkaasti.

Opinnäytetyön toteutusosion tarkoitus on tarkastella sähköverkkoanalyysaattorien yhteyshäiriöitä ja tuoda esille puutteellisen toiminnan syyt sekä korjata verkon ongelmat. Toteutuksessa käydään läpi myös Siemens PAC -laitteiden päivittäminen powerconfig-työkalulla ja CMD-komentorivin komentoja ja käyttöä vianetsinnän osana. Lopuksi käydään läpi havainnot ja tehdyt korjaustoimenpiteet sekä esitetään sähköverkon seurannan toimintavarmuuden varmistamiseen johtavia jatkotoimenpiteitä.

### 6.1 Command Prompt

CMD-komentorivi on Windows-käyttöjärjestelmälle kehitetty komentorivitulkki, joka antaa käyttäjän toteuttaa ja hallita Windows-käyttöjärjestelmään integroituja operaatioita sekä vaikuttaa niihin komennoilla. Komentorivi käyttää Win32-konsolia ja on osa Windows-käyttöjärjestelmää.

Komentorivin tarkoitus on tulkita käyttäjän komennot ja kääntää ne konekielelle. Komennot, joilla pystytään toteuttamaan tiettyjä operaatioita, ovat ennalta määriteltäviä. Komentoja voi yhdistää tai suorittaa sarjassa halutulla tavalla. Komennot ovat hyödyllisiä esimerkiksi tietoliikenteen vianetsinnässä.

Opinnäytetyön kannalta Windows-käyttöjärjestelmän tärkeimpiä apuohjelmien komentoja ovat "ping", "ipconfig", "arp -a" ja "tracert". Ping-komennolla ja IP-osoitteen avulla voidaan kiihittää vastaanottava laite ja tuloksena saadaan laitteen IP-

ja MAC-osoitteet, verkon tiedot sekä tietoliikenteen toimintaan liittyviä diagnostiikkatietoja. Ping-komennon pohjalla toimii ICMP-protokollan Echo- ja Echo Reply -sanomat. Ipconfig-komennolla saadaan käyttäjän oman laitteen ja tietoliikenneverkon tiedot näkyville, esimerkiksi aliverkon, käyttäjän laitteen ja yhdyskäytävän osoitteet.

Komento "arp -a" tulostaa komentoriville nykyisen ARP-taulukon, jossa näkyvät laitteen uusimmat tietoliikenteen tapahtumat sekä näiden IP- ja MAC-osoitteet sekä osoitteiden tyypit. Kaikilla laitteilla on yksilöllinen ARP-taulukko. Tracert-komennolla yhdessä IP-osoitteen kanssa saadaan lista kaikista laitteista lähettäjän ja vastaanottajan välillä. Tracert-komento lähettää ICMP-sanomia määränpäähän, joiden paketeissa on aseteltu eri TTL-arvoja. TTL-arvon tippuessa nolnaan lähettää reititin ICMP-viestin takaisin lähettäjälle, mistä se muodostaa laitelistan.

Komentorivin saa auki avaamalla ikkunan painamalla näppäimistön Windows-näppäintä yhdessä R-näppäimen kanssa ja sen tekstikenttään kirjoitetaan CMD. Painamalla OK-painiketta Windows avaa komentorivin. Komentorivin voi avata ohjelman tiedostosijainnista C:\Windows\system32\cmd.exe. [26; 27.]

## 6.2 Powerconfig- ja PAC-laitteiden ohjelmistopäivitys

Powerconfig on Siemensin kehittämä tietokone käyttöön tarkoitettu Sentron-tuoteperehen laitteiden käyttöönotto- ja kunnossapito-ohjelmisto. Ohjelmistolla laitteita pystytään ohjaamaan, konfiguroimaan, päivittämään ja seuramaan reaaliajassa. Tietoliikenteen tiedonsiirrossa käytetään Modbus TCP- ja IPv4-protokollia. [28.]

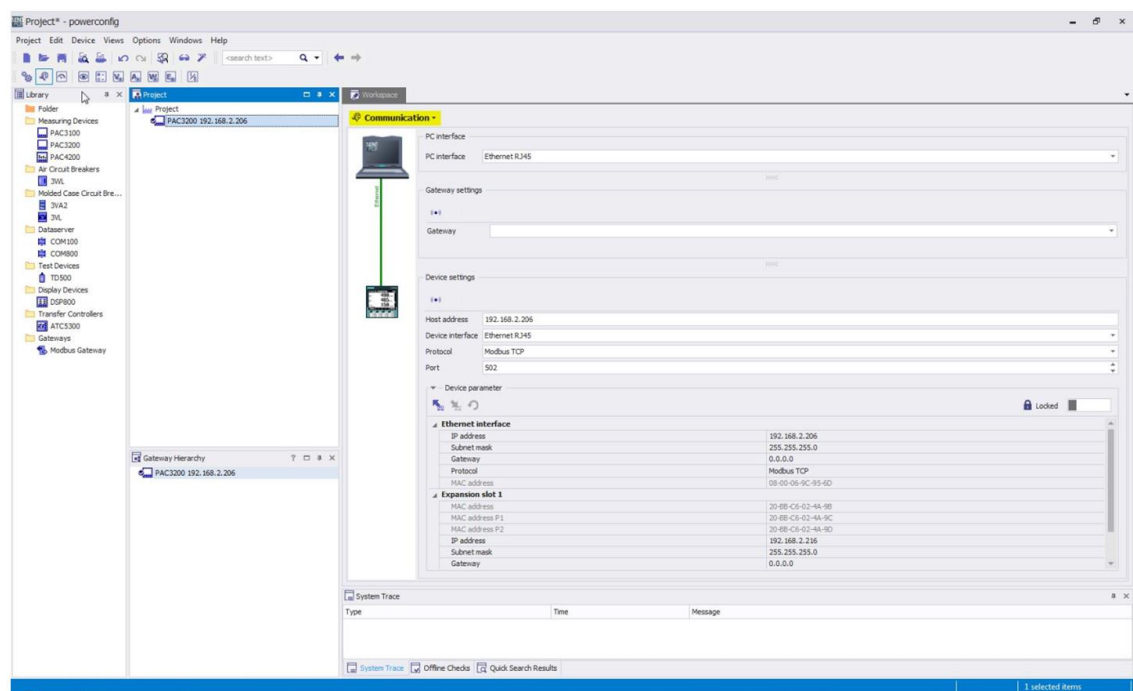
Jätevedenpuhdistamolla käytetään Siemensin PAC3200- ja PAC4200-verkkoanalyysointilaitteita. Verkkoanalyysointilaitteilla on omat mallikohtaiset päivitykset nimien samankaltaisuudesta huolimatta. Ohjelmistoversioita ei tulisi sekoittaa toisensa kanssa. Laitteiden uusimpia päivitysversioita ovat >2.4.0 PAC3200:lle ja >2.3.0 PAC4200:lle. Verkkoanalyysointilaitetta päivitettäessä pitää olla tarkkana, sillä ladattaessa laitteelle sille kuulumattoman version tai yritettäessä ajaa laitetta



vanhemmalla versiolla saattaa verkkoanalysointilaitteiden lakata vastaamasta komentoihin. [29; 30.]

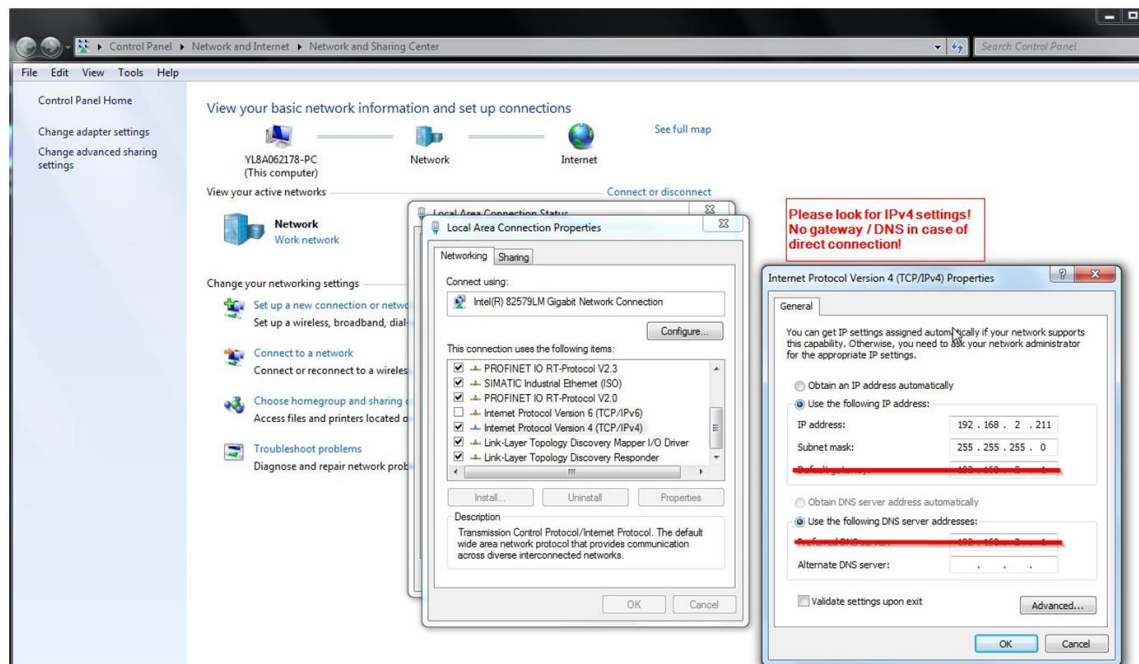
RS485-liitännät eivät ole standardoituja, joten jokaisella eri valmistajan laitteella voi olla erityyppisiä RS485-liitäntöjä. Laitteilla voi olla erilaisia vaatimuksia päätevastuksille ja niiden käytölle. Laitemallin mukaan Siemensin verkkoanalysointilaitteilla on erilaisia RS485-liitäntöjä Profibus-väylään liitettäessä. [31.]

Aluksi pitää tarkistaa ja asettaa tietokoneen ja verkkoanalysointilaitteen asetukset. Esimerkiksi yhteyden muodostamiseen pitää olla oikea aliverkko ja yhdyskäytävä asetettuna. Tietokoneen IP-osoite itsessään voi olla mitä tahansa, kuitenkin eri kuin käytössä olevien laitteiden osoitteet. Seuraavaksi pitää valita oikea protokolla, tässä tapauksessa Modbus TCP. Mikäli se on liittyneenä suoraan laitteeseen, ei tarvitse määrittää yhdyskäytävää. [32.]



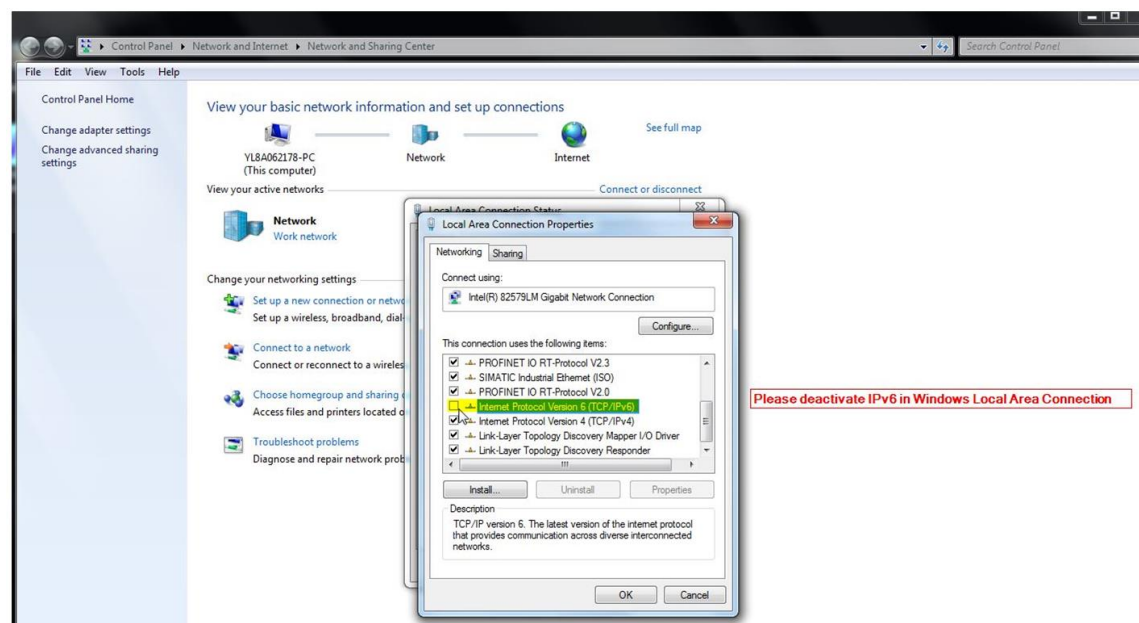
Kuva 4. Powerconfig-ohjelmiston ja laiteasetusten määrittäminen [32].

Yhteyden muodostamiseen laitteen ja tietokoneen välillä on määritettävä tietokoneen verkko- ja jakeluasetuksista laiteverkossa käytettävä IP-osoite, aliverkon maski sekä tarvittaessa yhdyskäytävän osoite [32].



Kuva 5. Windowsin verkko- ja jakeluasetusten muuttaminen [32].

PAC-laitteet käyttävät IPv4-protokollaa, joka tulisi asettaa päälle yhteyden muodostamiseksi. IPv6-protokolla pitää sammuttaa tai poistaa käytöstä [32].



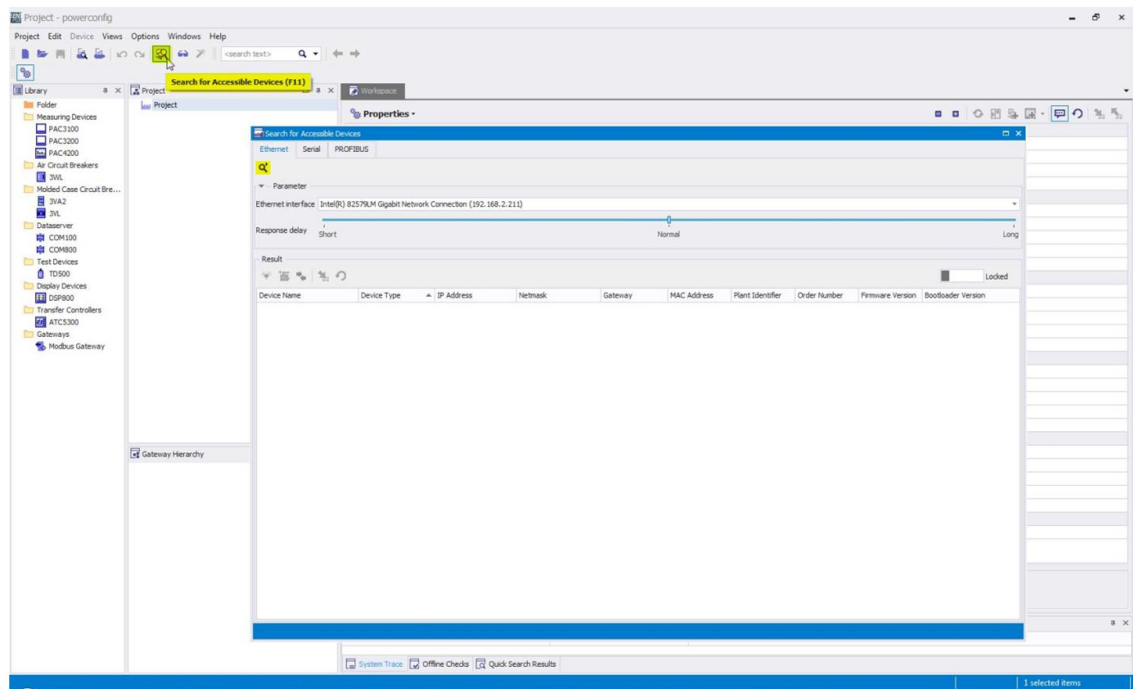
Kuva 6. Windowsin verkko- ja jakeluasetuksien protokollan muutokset [32].

Mikäli laite ei ole yksityisessä IP-tietoliikenneverkossa, päivittäminen ei onnistu. Kommunikaation suunta PAC-laitteen ja oikean verkkokortin kanssa täytyy määrittää. Useampia verkkokortteja käytettäessä täytyy käyttämättömät verkkokortit poistaa toiminnasta. Verkkokortissa täytyy löytyä risteytysominaisuus, millä PAC-laitteelta tuleva viesti pystytään jakamaan pienempiin osiin niiden taajuuksien mukaan. Mikäli ominaisuutta ei löydy, täytyy käyttää kytkintä, josta ominaisuus löytyy. [32.]

Varsinainen tiedonsiirto ja päivittäminen onnistuvat vain vapauttamalla tiettyjen porttien tietoliikenne kytkimissä ja sammuttamalla palomuurin toiminnot. Window-sin palomuurin lisäasetuksista pystytään luomaan ja ottamaan käyttöön erilaisia portteja. Seuraavana on lueteltu portteja, jotka on hyvä ottaa käyttöön estottoman tiedonsiirron varmistamiseksi tietokoneen ja laitteen välillä. [32.]

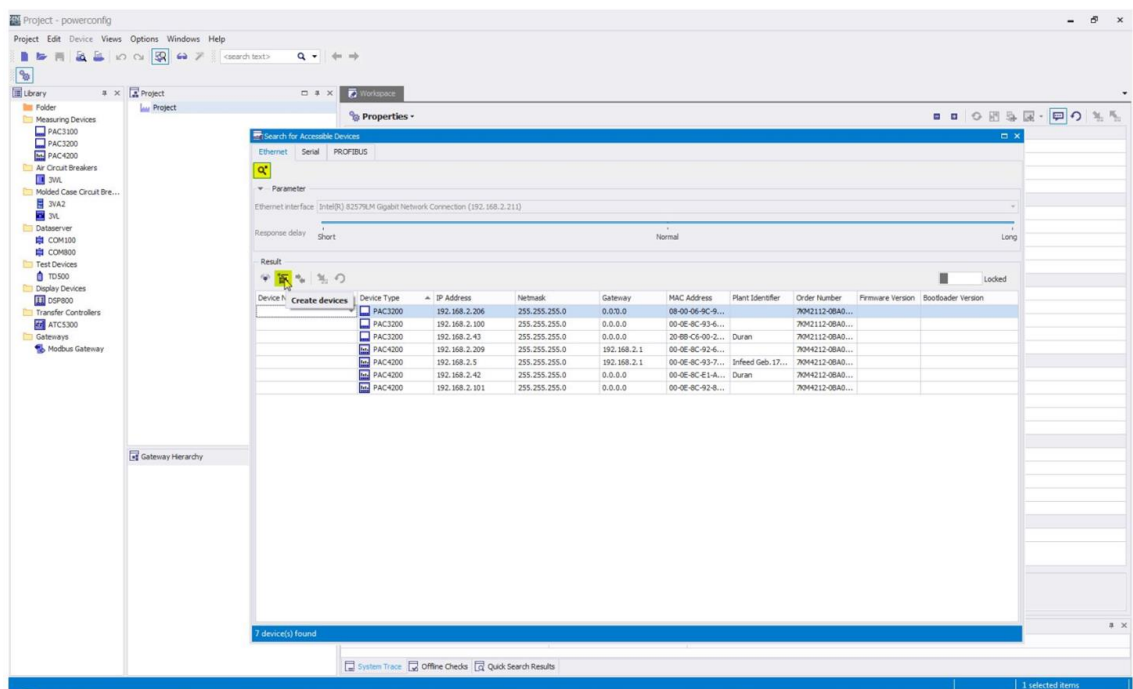
- 502 TCP-Portti Modbus TCP, kommunikaatiota varten.
- 17001 UDP-Portti, mahdollistaa tiedonsiirron laitteille.
- 17002 ja 17003 TCP-Portti, PAC4200-verkkoanalysointilaitteille saatavia lisämoduuleja varten.
- 69 TFTP/UPD-Portti, pakollinen PAC3200-laitteelle ladatessa ohjelmistopäivitystä powerconfig-työkalulla.

Muita Ethernet-moduuleja tai kommunikaatiolaitteita ei saa olla päällä tai kytkettynä ohjelmiston päivityksen aikana. Yhteyttä PAC-verkkoanalysointilaitteeseen ei saa katkaista päivityksen aikana. Laite voi rikkoutua peruuttamattomasti, mikäli nämä ehdot eivät toteudu. Verkkoanalysointilaitteen Ethernet-lisämoduulin ja kielipaketin päivitys pitää tehdä vasta laiteohjelmiston päivittämisen jälkeen. Suositeltavaa on käyttää tietokonetta, joka on irti verkosta ja jossa ei ole palomuuria päällä tai muita kommunikaatiota estäviä ohjelmistoja. [32.]



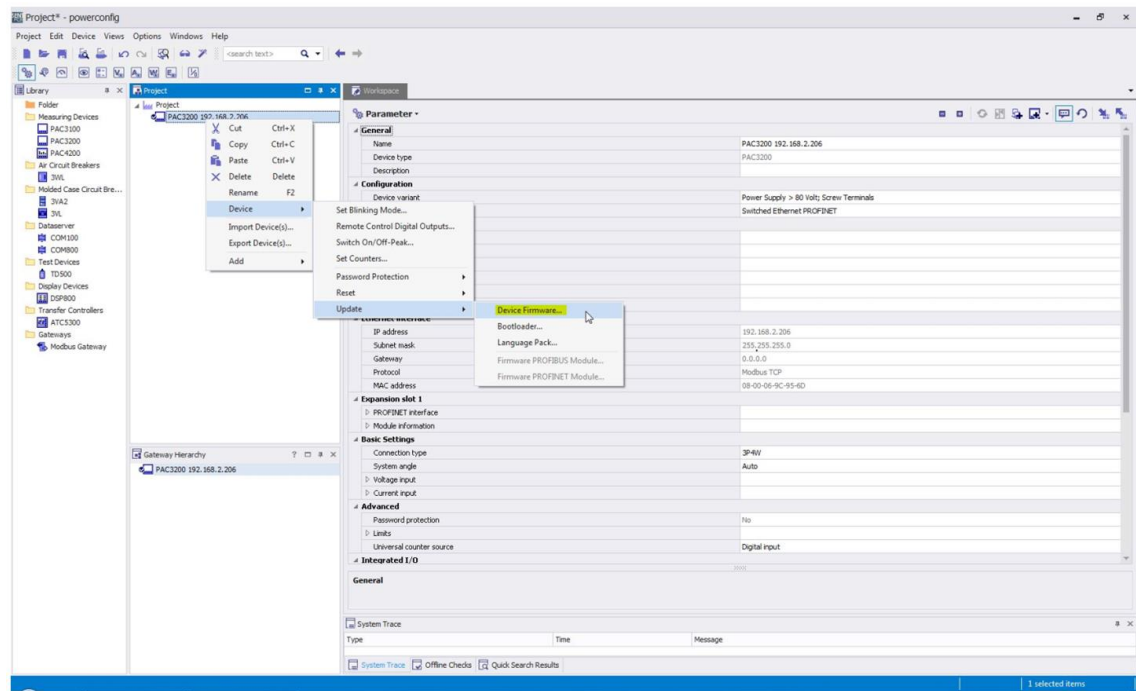
Kuva 7. Saavutettavien laitteiden hakeminen powerconfig-ohjelmistolla [32].

Verkkolaitteet etsitään painamalla aloitusnäytössä ”etsi saavutettavat laitteet”-painiketta, jolloin avautuu saman niminen ikkuna. Tämän jälkeen painetaan etsipainiketta, minkä jälkeen ohjelmisto etsii kaikki samassa verkossa toimivat tuoteperheen laitteet. [32.]



Kuva 8. Uuden laitteen luominen powerconfig-ohjelmistolla [32].

Onnistuneen etsinnän jälkeen valitaan päivitettävä verkkoanalysoija ja painetaan laitteen luomiseen tarkoitettua painiketta tai ”laitteen tietojen lataus” -painiketta. Ensimmäinen painike luo uuden laitteen ja jälkimmäisessä laitteen parametrit ladataan aloitusnäytön projektikansioon. [32.]



Kuva 9. Laitteen päivittäminen powerconfig-ohjelmistolla [32].

Kun laite on luotu projektikansioon, painetaan hiiren oikealla napilla laitteen päältä ja siirrytään alas vetolaatikoiden avulla päivitykseen järjestyksessä laite, päivitys, ohjelmisto [32].

### 6.3 Ongelma ja alkukartoitus

Osa Modbus TCP Ethernet -väylässä olevista verkkoanalysoijista on häiriötilassa. Suurin osa PAC-laitteista on kytketty. Analysoijien tuominen verkkoon, jota ei ole kytketty tai ohjelmoitu, ei ole tämän opinnäytetyön tarkoitus. Osaan kytketyistä laitteista ei saanut yhteyttä tai laitteet eivät näyttäneet mittaus-tietoja. Mikäli ongelmat syntyvät tietyn määrän laitteita kytkeytyessä verkkoon,

voisi tämä kertoa esimerkiksi silmukkaviasta. Silmukkaviassa on kysymys kytkimen fyysisen johdotuksen silmukoinnista tai reitittimen konfiguraatioon liittyvistä puutteista. Lisäksi ongelmia voi aiheuttaa kaapelien puutteelliset kiinnitykset ja/tai laitteiden parametriasetusten virheet sekä ristiriidat.

Tietoliikenneverkon kartoituksessa selvitettiin verkossa käytetyt topologiat, laitteet ja laiteparametrit. Valmet DNA-järjestelmästä löytyneet Siemens PAC-verkkoanalyysointit eivät vastanneet dokumentteja. Mittaustietoa indikoiva ikkuna ei toiminut oikein joidenkin laitteiden käyttöliittymissä. Useiden laitteiden käyttöliittymäikkunoissa ilmeni useampia aktiivisia hälytyksiä.

#### 6.4 Vianhaku ja puutteet

Tietoliikenneverkko on oma erillinen kokonaisuus HSY:n tietoliikenneverkossa. Topologiana on käytetty puu- ja tähtitopologioita tarkoituksesta ja sijainnista riippuen. Verkkoon kuuluvien laitteiden kartoituksessa käytettiin Siemensin powerconfig-konfiguraatio-ohjelmistoa, millä oli mahdollista seurata tietoliikenneverkkoa reaaliajassa. Kartoituksessa käytettiin myös tietoliikenneverkon testaukseen tarkoitettua verkkotesteriä, millä testattiin runkokaapelin kunto ja toimivuus. Verkkotesterillä ja tietokoneen komentorivin avulla pystyttiin kaiuttamaan laitteita. Muutama verkkoanalyysointit ei vastannut kaiutukseen.

Koestus osoitti verkon puutteet. Osaan analyysointit ei saanut yhteyttä, osaa laitteista ei löytynyt tietoliikenneväylältä ja muutama oli vikatilassa. Osassa laitteista arvot olivat jäätyneet tai näyttivät nollaa ja osassa laitteista mittaustieto näytti väärin. Powerconfig-ohjelmiston uusimman version hankinnan jälkeen pystyimme tarkemmin selvittämään tietoliikenteen laitteiden tilaa. Muutamasta verkkoon sijoitetusta laitteesta puuttui kokonaan IP- tai yhdyskäytäväosoite. Yhdyskäytäväosoitteen puuttuminen itsessään ei selitä vikaa, koska yhdyskäytävän osoitetta ei tarvita lähiverkon sisällä, vaan ainoastaan verkkojen väliseen kommunikaatioon. Mikäli IP-osoite puuttui, ei laitetta ollut Valmet DNA -järjestelmän mielestä olemassa. Powerconfig-työkalu tunnisti MAC-osoitteiden avulla myös IP-osoitteet kadottaneet laitteet.

Laitteiston päivittäminen onnistui Siemensin laitteiden powerconfig-konfiguraatio-työkalulla. Päivitys toteutettiin aiemmin opinnäytetyössä esitellyn powerconfig-ohjeen mukaisesti. Uusin powerconfig-työkalun versio ja viimeisimmät laitekoh-  
taiset ohjelmistopäivitykset olivat saatavilla Siemensin sivustolta. Laitteiden posi-  
tiotunnukset ja olemassa olevien IP-osoitteiden selvittäminen onnistuivat katta-  
van Valmet DNA -automaatiojärjestelmän ja tietohallintajärjestelmän avulla.

Alkutietojen perusteella häiriöt vaikuttivat alussa siltä, että verkossa olisi esiinty-  
nyt silmukkavika, missä häiriö johtuisi reitittimen konfiguraation puutteellisuu-  
desta tai kahden kytkimen välisestä silmukasta. Silmukkavika voi ruuhkauttaa  
verkkoa tai kokonaan estää koko verkon tai verkon osan tietoliikenteen [33]. Lait-  
teiden asetusten tarkistuksessa varmistettiin IP-osoitteet, ohjelmistoversiot ja ali-  
verkkojen maskit. Laitteiden asetukset ja parametrit olivat pääosin kunnossa,  
mutta ohjelmistoversiot vaihtelivat laitteiden kesken. Suurimassa osassa vikati-  
lassa oleviin laitteisiin oli päivitetty väärän laitemallin ohjelmistoversio, joka selit-  
tää laitteiden toimimattomuuden. Valmet käyttöliittymän historian seurannalla  
pystyttiin todentamaan laitteiden mittaamia suureita. Historian seurannalla eh-  
jissä laitteissa arvot myötäliväät järjestelmän ilmoittamia arvoja ja rikkinäisissä lait-  
teissa mitatut arvot olivat jäätyneitä, joko jatkuvassa nolatilassa tai vikatilassa.

Powerconfig-työkalulla yhteyden muodostaminen analysaattorien verkkoon on-  
nistui ja verkossa olevat laitteet löytyivät ja aiempaa useampaa pystyi monitoroi-  
maan. Laitteiden konfiguraatio toteutettiin paikallisesti, jolloin asetuksia ja para-  
metreja päivitettiin. Useammat nollaa näyttävät analysaattorit olivat poissa käy-  
töstä. Yhden analysaattorin aliverkon maski oli sarja nollia, eikä tämän muutta-  
minen oikeaksi 255.255.255.0-arvoksi auttanut kommunikointiin. Powerconfig-  
työkalu hyödyntää MAC-osoitteita laitteiden tunnistamisessa. Laitteiden löytymi-  
nen verkosta ei taannut onnistunutta yhteyden muodostamista. Osassa ana-  
lysaattoreissa ohjelmistoversiot olivat todella vanhoja ja osassa oli väärä ohjel-  
mistopäivitys asennettuna. Laitteita yritettiin palauttaa tehdasasetuksille, mutta  
se ei vaikuttanut toimivuuteen. Kyseiset laitteet olivat peruuttamattomasti rikki.

Laitteen resetoiminen tehdasasetuksille vaatii virtamuuntajien irrottamisen. Virtamuuntajien irrottamisessa on muistettava, että toisiokäämin irrottaminen aiheuttaa vaaratilanteen, jos ensiökäämi on virrallinen. Virtamuuntajien irrottaminen tehdään jännitteettömänä. Mikäli oikeat komponentit ovat asennettuina, voidaan oikeilla tavoilla toisiokäämin liittimet oikosulkea. [34.]

Suurin osa ongelmista ei johtunut fyysisestä tietoliikenneverkosta, vaan pääsääntöisesti laitteiden sekä Valmet DNA-automaatiojärjestelmän rajapinnoista. Suurimpaan osaan laitteista sai yhteyden powerconfig-työkalulla. Osassa laitteista tehontuoton mittaukset toimivat. Valmet DNA:n historian seurantaominaisuudella ja DNA Explorer -sovelluksen testifunktiolla monitoroitiin päivärytmiä tehontuotannossa. Valvomossa näkyviä tuloja muutettiin ja arvoja skaalattiin uudestaan, jotta analysaattorien mittaamat arvot näkyisivät oikein. Metsäpirtin toimipisteessä verkkotesteri ilmoitti IP-ristiriidasta ja kertoi kyseisten laitteiden MAC-osoitteet. MAC-osoitteiden avulla pystyttiin tunnistamaan valmistaja ja laite, mikä helpotti IP-osoiteristiidän paikantamisessa.

## 6.5 Vikojen korjauksien toimenpiteet

HSY Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla suurin osa verkkoanalysointilaitteista toimi, lukuun ottamatta muutamaa lukossa olevaa ja yhteyden kadottanutta analysointilaitetta. Suurin osa verkosta löydetyistä laitteista oli kunnossa, mutta osaa niistä ei löytynyt Valmet DNA -järjestelmästä. Rikkoutuneiden analysointilaitteiden vaihto onnistui ja yhteys palasi. Kahden jäätyneen analysointilaitteen aiheuttamat hälytykset johtuivat siitä, että verkkokuitumuuntimen virtalähde oli rikkoutunut. Vaihdojen jälkeen kyseinen verkon osa ja laitteet palasivat toimintaan automaattisesti.

Muut hälytyksiä aiheuttaneet laitteet korjautuivat muokkaamalla valvomon käyttöliittymien arvoja ja rajoja näiden Valmet DNA -sovelluksissa. Osa hälytyksistä johtui siitä, että kyseisiä laitteita, keskuslähtöjä, muuntajia ja katkaisijoita oli poistettu käytöstä tai kokonaan purettu. Osassa hälytyksiä aiheuttaneista laitteista vika löytyi Valmet DNA -sovelluksien vanhentuneista talteenottolohkojen



osoitteista, missä laitteiden positiot ja osoitteet olivat vaihtuneet uusimisen yhteydessä.

HSY Metsäpirtin toimipisteessä ongelmat johtuivat analysaattoreiden päivitykseen liittyvistä ongelmista. Päivittämisen yhteydessä laitteet olivat menneet rikki. Koestuksien yhteydessä havaittiin verkkotesterin avulla IP-osoitteiden ristiriita. IP-ristiriita tarkoittaa, että verkossa on kaksi laitetta, joille molemmille on asetettu sama staattinen IP-osoite. IP-ristiriita voi aiheuttaa ruuhkaa tai ongelmia kyseisen verkon osassa. IP-ristiriidassa reititin ei välttämättä tiedä, missä kyseisen IP-osoitteen laite sijaitsee ja pyrkii selvittämään jatkuvasti laitteen oikean sijainnin. Ristiriidassa olevista laitteista toinen toimii epävarmasti. IP-osoitteen ristiriidasta ilmoitettiin eteenpäin, mutta sääolosuhteiden takia ongelman korjaustoimia ei pystytty aloittamaan.

## 6.6 Energiaseurantaverkon kehittäminen

Tietoliikenneverkon toimintavarmuuden varmistamiseksi olisi tärkeä toteuttaa seuraavia erinäisiä jatkotoimenpiteitä. Toimintavarmuutta lisää tietoliikenneverkon yksinkertaistaminen, tietoliikenneverkon kahdentaminen sekä Metsäpirtin IP-osoitteen ristiriidan korjaus. Muita parantavia jatkotoimenpiteitä ovat dokumentoinnin päivittäminen ajan tasalle selkeyden ja täsmällisyyden varmistamiseksi. Ajantasainen ja selkeä dokumentointi helpottaisi tulevaisuudessa tapahtuvia kunnossapitotehtäviä sekä tulevien hankintojen suunnittelua. Ylimääräisten laitteiden irrottaminen verkosta parantaisi verkon vikasietoisuutta. Ongelmia voi ehkäistä päivittämällä verkkoanalysointit uusiin tuettuihin laitteisiin sekä päivittämällä vanhat toimivat laitteet uusimpiin laitekohtaisiin ohjelmistoversioihin. Laitteiden päivittäminen poistaisi ohjelmistosta puutteellisuuksia ja lisää vikasietoisuutta.

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyö oli tehty yhteistyössä Helsingin seudun ympäristöpalveluiden kanssa. Työ keskittyi TCP/IP-protokollan käyttöön itsenäisessä lähiverkossa osana Valmet DNA -automaatiojärjestelmää. Työn tarkoitus oli tutkia ja korjata energiaseurantaverkon yhteyshäiriöitä. Energiaseurantaverkko on avainasemassa energiatehokkuuden saavuttamisessa. Verkossa sijaitsevien laitteiden avulla pystytään toteuttamaan energiatehokkuuteen johtavia toimenpiteitä ja seuraamaan muutosten aiheuttamia vaikutuksia reaaliajassa.

Verkkoanalysointien tietoliikenneverkossa havaittiin yksittäisiä yhteysvikoja ja laiterikkoja sekä muita mittaustiedon tulkintaan liittyviä automaatiojärjestelmän ongelmia. Powerconfig-työkalun ja verkkotesterin avulla tehdyistä paikallis- ja palvelimien koestuksissa sekä erilaisten testien kautta löytyi suurin osa laitteista ja vioista. Verkon kaapelointi oli enimmäkseen kunnossa, lukuun ottamatta yhtä verkon osaa, jossa muuntimen virtalähde oli rikkoutunut. Suurin osa ongelmista johtui joko laiterikoista tai laitteiden puuttumisesta kokonaan verkosta. Rikkoutuneisiin laitteisiin ei saanut ohjelmistoilla tai komentorivillä yhteyttä.

Ongelmat Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla korjautuivat laitteiden ja verkon apulaitteiden vaihdoilla, laitteiden asetuksien ja parametrien muutoksilla sekä Valmet DNA -automaatiojärjestelmän laitekohtaisten sovellusten osoitteiden, rajojen ja arvojen muutoksilla. Metsäpirtin verkkoanalysointoreissa lähiverkon ongelmat korjautuivat laitteiden vaihdoilla. Metsäpirtin toimipisteen lähiverkosta löytyi testien aikana IP-osoitteen ristiriita, missä kahdella laitteella oli sama staattinen IP-osoite. IP-osoitteen ristiriita voi aiheuttaa tietoliikenteen ongelmia tietoliikenneverkossa ja laitteissa, joten sen korjaaminen tulevaisuudessa on tarpeellista.

## Lähteet

- 1 Päätöksenteko. 2023. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. <<https://www.hsy.fi/hsy/paatoksenteko/>> Luettu 14.1.23.
- 2 Viikinmäen jätevedenpuhdistamo 2018. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. <[https://niini.fi/wp-content/uploads/2021/01/HSY0012\\_Viikinmaen\\_jatevedenpuhdistamo.pdf](https://niini.fi/wp-content/uploads/2021/01/HSY0012_Viikinmaen_jatevedenpuhdistamo.pdf)> Luettu 13.3.2023.
- 3 Näin vesihuolto toimii. 2023. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. <<https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/nain-vesihuolto-toimii/>> Luettu 14.1.23.
- 4 Jätevedenpuhdistusprosessi. 2023. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. <<https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/jatevedenpuhdistusprosessi-lyhyesti/>> Luettu 14.1.23.
- 5 Lallukka, Samppa. 2023. Kunnossapitopäällikkö, HSY. Helsinki. Haastattelu: 7.2.2023
- 6 System architecture. 2023. Verkkoaineisto. Valmet Oyj. <<https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/system-architecture/>> Luettu 14.1.23.
- 7 All engineering functions integrated. 2023. Verkkoaineisto. Valmet Oyj. <<https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/engineering-maintenance-tools/valmet-dna-explorer/>> Luettu 14.1.23.
- 8 Valmet DNA Engineering Function Block CAD. 2023. Verkkoaineisto. Valmet Oyj. <<https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/engineering-maintenance-tools/valmet-dna-engineering-function-block-cad/>> Luettu 14.1.23.
- 9 Optimize your maintenance costs. 2023. Verkkoaineisto. Valmet Oyj. <<https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/engineering-maintenance-tools/valmet-dna-field-device-manager/>> Luettu 14.1.23.
- 10 Networking basics: What You Need to Know. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/networking/networking-basics.html>> Luettu 21.1.23.
- 11 What is a Router. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/networking/what-is-a-router.html>> Luettu 21.1.23.

- 12 How Does a Router Work. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/networking/how-does-a-router-work.html>> Luettu 21.1.23.
- 13 Anttila, Aki. 2001. TCP/IP-tekniikka. Helsinki: Helsinki Media
- 14 How Does a Switch Work. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/networking/network-switch-how.html>> Luettu 21.1.23.
- 15 What is a LAN. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/what-is-a-lan-local-area-network.html>> Luettu 28.1.2023.
- 16 What is Ethernet. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/what-is-ethernet.html>> Luettu 21.1.23.
- 17 Ethernet Networks. 2023. Verkkoaineisto. International Business Machines Corporation. <<https://www.ibm.com/docs/en/i/7.1?topic=standards-ethernet-networks>> Luettu 30.1.2023.
- 18 CAT5E VS CAT6 VS CAT7 VS CAT8 – WHICH ONE SHOULD YOU CHOOSE. 2023. Verkkoaineisto. Telco Data, Inc. <<https://www.telco-data.com/cat5e-vs-cat6-vs-cat7-vs-cat8/>> Luettu 30.1.2023.
- 19 Token-ring networks. 2023. Verkkoaineisto. International Business Machines Corporation. <<https://www.ibm.com/docs/en/i/7.1?topic=standards-token-ring-networks>> Luettu 30.1.2023.
- 20 MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b. 2006. Verkkoaineisto. Modbus Organization. <[https://modbus.org/docs/Modbus\\_Messaging\\_Implementation\\_Guide\\_V1\\_0b.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf)> Luettu 18.1.23.
- 21 MODBUS Application Protocol Specification V1.1b. 2006. Verkkoaineisto. Modbus-IDA. <[https://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)> Luettu 18.1.23.
- 22 PAC3200 Power Meter. 2018. Verkkoaineisto. Siemens Industry, Inc. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:2d33ab18-ccca-47fc-bbb1-ec1b65258da9/sie-cm-pac-3200-meter-brochure.pdf>> Luettu 10.1.2023
- 23 PAC4200 Power Meter. 2018. Verkkoaineisto. Siemens Industry, Inc. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fe4ef16e-2765->

- 4b58-b352-a8010640c3c0/sie-cm-pac-4200-meter-brochure.pdf> Luettu 10.1.2023.
- 24 SENTRON Power Monitoring Device SENTRON PAC3200. 2008. Verkkoaineisto. Siemens AG. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504150/att\\_906558/v1/A5E01168664B-04\\_EN-US\\_122016\\_201612221316360495.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504150/att_906558/v1/A5E01168664B-04_EN-US_122016_201612221316360495.pdf)> Luettu 19.1.23.
  - 25 SENTRON Power Monitoring Device SENTRON PAC4200. 2019. Verkkoaineisto. Siemens AG. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att\\_951630/v1/manual\\_pac4200\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att_951630/v1/manual_pac4200_en-US_en-US.pdf)> Luettu 19.1.23
  - 26 Pedamkar, Priya. 2023. What is CMD. Verkkoaineisto. <<https://www.educba.com/what-is-cmd/>> Luettu 11.2.2023.
  - 27 How to Use TRACERT to Troubleshoot TCP/IP Problems in Windows. 2019. Verkkoaineisto. Windows Server. <<https://support.microsoft.com/fitopic/how-to-use-tracert-to-troubleshoot-tcp-ip-problems-in-windows-e643d72b-2f4f-cdd6-09a0-fd2989c7ca8e>> Luettu 11.2.2023.
  - 28 SENTRON powerconfig. 2023. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10121795>> Luettu 10.1.2023.
  - 29 Firmware Update Measuring Device 7KM PAC4200. 2022. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/35029840/firmware-update-measuring-device-7km-pac4200?dti=0&lc=en-TW>> Luettu 10.1.2023.
  - 30 Firmware Update PAC3200 Power Monitoring. 2021. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/31674577/firmware-update-pac3200-power-monitoring?dti=0&lc=en-TW>> Luettu 10.1.2023.
  - 31 PAC measuring devices – RS485 / Modbus RTU wiring. 2021. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109800966/-pac-measuring-devices-%E2%80%93-rs485-modbus-rtu-wiring?dti=0&pnid=19738&lc=en-GB>> Luettu 10.1.23.
  - 32 How to update the PAC devices. 2015. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109477642/how-to-update-the-pac-devices?dti=0&lc=en-FI>> Luettu 10.1.2023.

- 33 Troubleshooting TCP/IP. 2023. Verkkoaineisto. Cisco Systems. <<https://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/troubleshooting/guide/tr1907.html#wp1020544>> Luettu 21.1.2023.
- 34 The Current Transformer. 2023. Verkkoaineisto. Electronics Tutorials. <<https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html>> Luettu 19.1.2023.