



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

TIETOKANTARATKAISUEHDOTUS PIENTASAJÄNNITESÄHKÖVERKOSTON MITTAUSDATAVARASTOKSI

**Proposal of the database solution as measurement data
storage concept for the LVDC electricity distribution
systems**

Mikko Suhonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Mikko Suhonen

Tietokantaratkaisuehdotus pientasajännitesähköverkoston mittausdatavarastoksi

2016

Kandidaatintyö.
27 s.

Tarkastaja: TkT Andrey Lana

Lappeenrannan teknillinen yliopisto tutkii pientasajännitesähkön käyttöä. Yliopisto on rakennuttanut Järvi-Suomen Energia Oy:n ja Suur-Savon Sähkö Oy:n kanssa yhteistyössä kokeellisen pientasajännitesähköverkon, jolla pystytään tarjoamaan kenttäolosuhteet pienjännitetutkimukselle todellisilla asiakkailta ja todentaa LVDC-teknologiaa ja muita älykkään sähköverkon toimintoja kenttäolosuhteissa. Verkon tasajänniteyhteys on rakennettu 20 kV sähköjakeluverkon ja neljän kuluttajan välille. 20 kV keskijännite suunnataan tasamuuntamalla ± 750 V pientasajännitteeksi ja uudetaan 400/230 V vaihtojännitteeksi kuluttajien läheisyydessä.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on luoda yliopistolle tietokanta pientasajännitesähköverkosta kertyvälle tiedolle ja mittaus tuloksille. Tietokanta nähtiin tarpeelliseksi luoda, jotta pienjänniteverkon mittaus tuloksia pystytään myöhemmin tarkastelemaan yhdessä ja yhtenäisessä muodossa. Yhdeksi tutkimuskysymykseksi muodostui, kuinka järjestää ja visualisoida kaikki verkosta palvelimille kertyvä mittausdata.

Työssä on huomioitu myös kolme tietokantaa mahdollisesti hyödyntävää käyttäjäryhmää: kotitalousasiakkaat, sähköverkkoyhtiöt ja tutkimuslaboratorio, sekä pohdittu tietokannan hyötyä ja merkitystä näille käyttäjille. Toiseksi tutkimuskysymykseksi muodostuikin, mikä kaikista tietokantaan talletetusta datasta olisi oleellisen tärkeää ottaa talteen näiden asiakkaiden kannalta, ja kuinka nämä voisivat hakea tietoa tietokannasta.

Työn tutkimusmenetelmät perustuvat jo valmiiksi olemassa olevaan mittausdataan. Työtä varten on käytetty sekä painettua että sähköisessä muodossa olevaa kirjallisuutta. Työn tuloksena on saatu luotua tietokanta MySQL Workbench -ohjelmistolla, sekä mittausdatan keräys- ja käsittelyohjelmat Python-ohjelmointikielellä. Lisäksi on luotu erillinen MATLAB-rajapinta tiedon visualisoimista varten, jolla havainnollistetaan kolmen asiakasryhmän mittausdataa. Tietokanta ja sen tiedon visualisointi antavat kuluttajalle mahdollisuuden ymmärtää paremmin omaa sähkökäyttöään, sekä sähköverkkoyhtiöille ja tutkimuslaboratorioille muun muassa tietoa sähkön laadusta ja verkon kuormituksesta.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Mikko Suhonen

Proposal of the database solution as measurement data storage concept for the LVDC electricity distribution systems

2016

Bachelor's Thesis.
27 p.

Examiner: D.Sc. (Tech.) Andrey Lana.

Lappeenranta University of Technology is doing research in low voltage direct current (LVDC) electricity distribution networks. In co-operation with Järvi-Suomen Energia Oy and Suur-Savon Sähkö Oy, the university has built a field test setup research site for a LVDC distribution network. The main objective of the site is to provide a field test environment with real customers to study LVDC technology and related smart grid functionalities in practice. The direct current link is built between a 20 kV distribution network and four customers. The 20 kVAC medium voltage is transformed into ± 750 VDC low voltage in a rectifier, and further transformed into 400/230 VAC low voltage in customer-end inverters (CEI) near the consumptions.

In this thesis a database model is created for the data gathered by the measuring points of the LVDC distribution network. Creation of a database was seen necessary, for the possibility of further examining of the network data as a whole and in coherence. One research topic is the question of how to arrange and visualize the enormous amount of measurement data accumulated in the host servers.

Three possible user groups for the database are considered in the thesis: end customers, electricity network companies as well as research laboratories. The thesis also considers ways of how the database could be seen beneficial for the user groups. Another research topic is the examination of which data would be especially fundamental and important to be saved into the database from the view of aforementioned user groups, as well as how they would be able to seek information from the database.

Research methods are based on readily available LVDC network measurement data. Both literacy and web-based articles have been referenced. As a result of the thesis, a database has been created with MySQL Workbench. Two programs for importing and querying the data have also been created in Python programming language, as well as a separate MATLAB interface for visualization of data. The database enables the end customers to understand better their electricity consumption, and provides the electricity networks and laboratories information about e.g. the power quality and loads in the network.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
1.1	Taustaa.....	6
1.2	Työn tarkoitus.....	8
2.	Pientasajänniteverkko (LVDC)	8
2.1	Yliopiston pientasajänniteverkko	9
2.2	Sähkön laatu	11
3.	Tietokannan suunnittelu	12
3.1	Tietokannan peruskäsite	12
3.1.1	Hierarkkinen malli.....	12
3.1.2	Verkkomalli	12
3.1.3	Relaatiomalli.....	13
3.2	Tietokannan rakenne.....	14
3.3	ER-malli	15
4.	Datankäsittelyohjelmat	15
4.1	Datankeruuohjelma.....	15
4.2	Datankyselyohjelma	16
4.3	MATLAB-rajapinta	17
5.	Esimerkkejä tiedonhausta.....	18
5.1	Kotitalousasiakkaat.....	18
5.2	Sähköverkkoyhtiöt.....	19
5.3	Tutkimuslaboratorio	20
5.4	Varastoon jätettävä data.....	21
6.	Yhteenveto.....	22
	Lähteet	23

Liitteet

LIITE I	ER-malli, ArgoUML
LIITE II	ER-malli, MySQL Workbench

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AMR	Automatic Meter Reading, automaattinen mittarinluku
CEI	Customer-End Inverter, invertteri sähköverkon asiakkaan päässä
EEGI	European Electricity Grid Initiative, eurooppalainen sähköverkkoaloite
ER-model	Entity-Relationship model, kohde-yhteys -malli
GC	Green Campus
HR	High Resolution, korkearesoluutioinen
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
LUT	Lappeenranta University of Technologies
LVDC	Low Voltage Direct Current, pienjännitteinen tasavirta
PQ	Power Quality, tehonlaatu
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, käytöntukijärjestelmä
SQL	Structured Query Language, ohjelmointikieli tietokannoille
THD	Total Harmonic Distortion, signaalin harmoninen säröisyys

1. JOHDANTO

Maailmanlaajuinen kiinnostus LVDC-sähkönjakelujärjestelmiä (Low Voltage Direct Current), eli pienjännitteisiä tasasähköverkkoja kohtaan on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina. Tasasähköä ei ole lähes sataan vuoteen ajateltu kovinkaan merkittävänä sähköverkkomahdollisuutena, mutta viimeisen viidentoista vuoden aikana sen tutkimus on alkanut taas nosta päätään. (Partanen 2010) Muun muassa kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio IEC (International Electrotechnical Commission) perusti vuonna 2009 LVDC-strategiaryhmän, jonka tarkoituksena on kehittää maailmanlaajuisia standardeja LVDC-järjestelmille ja organisoida toimintoja monilla alueilla, joilla pientasajänniteverkkoja käytetään. Tällaisia käyttökohteita voivat olla esimerkiksi liikerakennukset ja muut suuret kiinteistöt, mobiililaitteiden sähköiset varastot, sähköautot sekä sähköjakeluverkot, viimeksi mainitussa etenkin hajautettu pientuotanto. (Kaipia 2012) (IEC 2015)

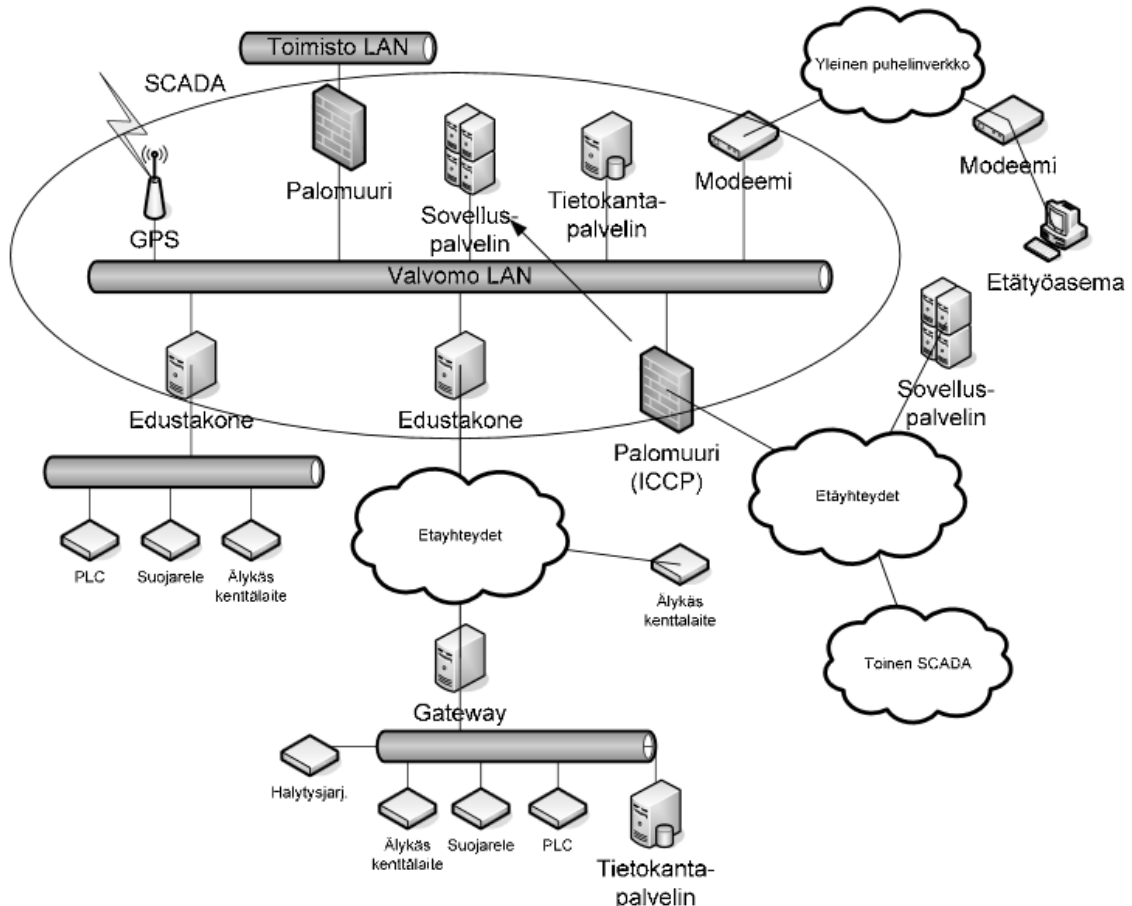
Euroopan komission vuonna 2010 julkaisemassa energiasuunnitelmassa yksi aloitteista kulkee nimellä EEGI (European Electricity Grid Initiative). Aloitteen tarkoitus oli luoda Euroopan laajuinen sähköverkkojen tutkimus ja kehitys, muun muassa ns. älykkäiden sähköverkkojen kohdalla. Tämän suurimpia tutkimuskohteita on ollut tasasähköverkkoyhteydet. (SmartGrids 2013)

Myös Suomi on ollut pitkään mukana em. tutkimuksessa. Innovaatiorahoituskeskus TEKES on rahoittanut vuosina 2006–2009 Tehoelektroniikka sähköjakelussa -projektia, jonka tarkoituksena oli ensimmäisessä vaiheessa tarkastella pienjännitteisen tasasähköjakelun mahdollisuuksia sähköjakeluverkossa. LUT (Lappeenranta University of Technologies) on ollut tässä tutkimuksessa mukana alusta alkaen ja tehnyt tutkimusta pienjännite-tekniologiasta ja sen mahdollisuuksista tähän (Kaipia 2006) (Nuutinen 2007) (Partanen 2008) (Nuutinen 2012) (Nuutinen 2014). Toisessa vaiheessa on tarkasteltu muun muassa järjestelmän energiatehokkuutta, sähköturvallisuutta ja yhteensopivuutta nykyisen jakelu-järjestelmän kanssa. (Partanen 2010) Yliopisto on Järvi-Suomen Energia Oy:n ja Suur-Savon Sähkö Oy:n kanssa yhteistyössä rakennuttanut Mikkeliin, entisen Suomenniemen kunnan alueelle, kokeellisen pientasajänniteverkon, jolla suoritettavista mittauksista (Lana 2014) kertyy suurissa määrin dataa yliopiston käyttöön. Konseptia on kehitetty jo lähes kymmenen vuoden ajan ja kenttäolosuhteet verkkoineen tutkimusta varten rakennettiin vuonna 2012. Noin kolmen vuoden olemassaolonsa aikana verkko on antanut teknistä-loudellista tietämystä ja osaamis pohjaa pienjännitteisestä tasasähköjakelusta.

1.1 Taustaa

Tietokannat ovat nousseet suureksi avuksi sähköverkkojärjestelmien modernissa mallintamisessa, sillä kaikki Suomen sähköverkot ovat mallinnettu mittaviin tietojärjestelmiin. Verkkoa valvovien käytönvalvontajärjestelmien, esim. SCADA:n (Supervisory control and data acquisition), toiminnot pohjautuvat käytöntukijärjestelmään sekä laajaan tietokantaan, joka käsittää muun muassa verkko- ja asiakastietojärjestelmät. Käytönvalvontajärjestelmä pystyy näiden avulla ottamaan yhteyden verkkoon ja sen sähköasemiin ja näin ollen esimerkiksi kauko-ohjaamaan verkon kytkinlaitteita ja erotinasemia. Yhdessä muun automaation kanssa järjestelmä nostaa sähköverkon toimintavarmuutta, vähentää sen käyttökustannuksia sekä tekee jännitetason laatua varmemmaksi. Lisäksi sähköasema- ja verkkoinvestointien tarve voi vähentyä, sillä järjestelmän avulla pystytään täysmääräisesti hyödyntämään verkon kapasiteetti. (Lakervi 2008) (Partanen 2014a)

Perinteinen käytönvalvontajärjestelmä SCADA on tietojärjestelmä, jolla voidaan suorittaa sähköjakelun reaaliaikaista valvontaa. Kuvassa 1.1 on esitetty esimerkki SCADA-järjestelmän arkkitehtuurista. Se muodostuu varmennetuista palvelimista, lähi- ja etätö- asemista, tietoverkkojen liitynnöistä kuten reitittimistä, sekä ala-asemista. Palvelimien tietokantaan on tallennettu muun muassa tarkat tiedot sähköasemista ja niiden laitteistoista. Työasemilla voidaan hallita ja ohjata verkkoa esimerkiksi lukemalla sähköverkon kauko-ohjattavien laitteiden kytkentätiloja tai säätämällä niitä. Reitittimet luovat tieväylät ala-asemille, jotka ovat esimerkiksi sähköverkon kauko-ohjattavien laitteiden yhteydessä. (Lakervi 2008)



Kuva 1.1. Esimerkki SCADA-järjestelmän arkkitehtuurista. (Myllylä 2014)

SCADA:n rooli sähköjakelujärjestelmässä on merkittävä, sillä sähköjakeluverkon käyttövarmuusaste on muodostunut hyvin merkittäväksi teknistaloudellisista syistä. Koska SCADA:n avulla suoritetaan useitakin kriittisiä toimintoja, on sen edellytyksenä toimia myös silloin, kun kaikki muu on kaatunut esimerkiksi suurhäiriön aikana. Tämän vuoksi SCADA:n tietokonelaitteistot ovat usein kahdennettuja ja toimivat ja jakavat tietoa saumatonta. Hajauttaminen luo monia hyviä puolia, kuten luotettavuuden kasvattaminen ja häiriöalttiuden pienentyminen. Kun toinen laitteisto vikaantuu, niin toinen laitteisto ottaa hallinnan tärkeiden tietojen ja omaisuuden säilyttämiseksi. Lisäksi laitteistoihin on kytketty UPS-laitteistot, jotka pystyvät pitämään laitteistot käynnissä pitkänkin häiriötilanteen ajan. Myös tietoturva paranee hajautetun SCADA:n avulla, verkko on helpompi suojata mahdollisilta hakkerihyökkäyksiltä, kun se on hajautettu. SCADA ei itsessään vähennä verkossa tapahtuvia vikoja luonnonilmiöistä, ylikuumenemisista ynnä muista syistä johtuen, mutta

se pystyy esimerkiksi rajaamaan niitä vain tietyille alueille ja näin ollen minimoimaan kustannuksia. (Lakervi 2008) (Takala 2012)

Hajautetun SCADA:n haasteina voidaan pitää sen tuomia kasvavia kustannuksia. Vaikka häiriöiden välttäminen on myös helpompaa hajautetuilla laitteistoilla, on haasteena silti saada nämä laitteistot kommunikoimaan toistensa kanssa mahdollisimman toimivasti, esimerkiksi varmuuskopiointitilanteissa. (Takala 2012)

1.2 Työn tarkoitus

Tässä kandidaatintyössä käydään läpi tietokannan käsite sekä edellä mainittua yliopiston pientasajännitesähköverkkoa. Lähtökohtana on ns. big data -ongelma, pientasajänniteverkosta saatavaa mittausdataa on valtava määrä ja sitä saadaan lisää koko ajan hyvin nopealla tahdilla. Lisäksi tämä data on hyvin muotoilematonta ja analysoimatonta. (IBM 2014) Tutkimuskysymykseksi muodostui, kuinka järjestää ja visualisoida kaikki tämä data, sekä kuinka tuoda jo tallennettu data uuteen tietokantaan. Lisäksi nähtiin hyväksi miettiä, mikä data olisi oleellisen tärkeää ottaa talteen asiakkaiden ja verkkoyhtiöiden kannalta, sekä mikä data saa jäädä varastoon eikä viedä eteenpäin asiakkaille.

Pienjänniteverkosta (LVDC) muodostuvan datan jaossa hyödynnetään sftp-protokollaa. Alkuperäinen ajatus datan keräykselle oli tehdä ohjelma, joka ottaa LUT:n suunnasta yhteyden jakoon esimerkiksi kerran päivässä, lataa ja verifioi kyseisen datan, sekä kirjoittaa sen MySQL-tietokantaan (Structured Query Language) Green Campus -palvelimelle.

Tässä työssä tarkastellaan ensin pientasajänniteverkkojen perusteita ja yliopiston kokeellisen pientasajänniteverkon rakennetta ja tarkastellaan tietokantojen perusteita. Työssä datan käsittelyä varten luodaan tietokanta, joka on sijoitettu yliopiston Green Campus -palvelimelle. Käsittelyn helpottamiseksi luodaan Python-ohjelmointikielellä ohjelmisto, jolla voi syöttää verkosta kertyvää dataa tietokantaan, ja myös hakea dataa kyseisestä tietokannasta.

2. PIENTASAJÄNNITEVERKKO (LVDC)

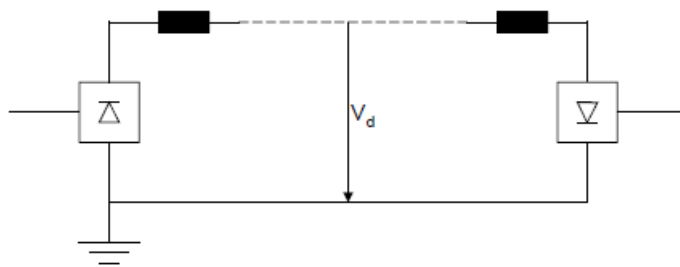
LVDC- eli pienjännitetasaverkot käsittävät sähköverkot aina 1500 VDC asti Euroopan Unionin pienjännitedirektiivin mukaisesti (European Commission 2016). LVDC-verkolla voidaan korvata erilaisissa käyttökohteissa Suomessa käytössä olevaa 400 VAC pienjänniteverkkoa sekä mahdollisesti myös osaa keskijänniteverkosta. Tämän ansiosta voitaisiin kasvattaa sekä koko jakeluverkon siirtotehoa että pienjänniteverkon johtopituutta osan pienitehoisten ja vika-alttiiden keskijännitejohtojen sijasta, mikä voi myös samalla laskea verkon keskeytyskustannuksia (Partanen 2010). Etenkin keskijänniteverkkohaarojen korvaustarkastelussa LVDC-verkkojen etuna on, että ne muodostavat oman suojausalueensa keskijänniteverkkoon nähden, eivätkä näin ollen niissä aiheutuvat keskeytykset näy ollenkaan keskijänniteverkossa. Nykyisen 400 VAC pienjänniteverkon korvaustarkastelussa taas LVDC-verkon etuna on, että LVDC-tekniikalla voidaan usein siirtää tehoa pidempi matka kuin 400 VAC verkolla. (Lakervi 2008).

Toteutusvaihtoehtoina tasavirtavoimansiirtojärjestelmälle ovat mono- ja bipolaariyhteydet. Monopolaariyhteydessä virta kulkee yhtä johdinta pitkin paikasta toiseen ja sen paluutienä käytetään maata tai merta. Suomessa olevilla monopolaariyhteyksillä käytetään merta pa-

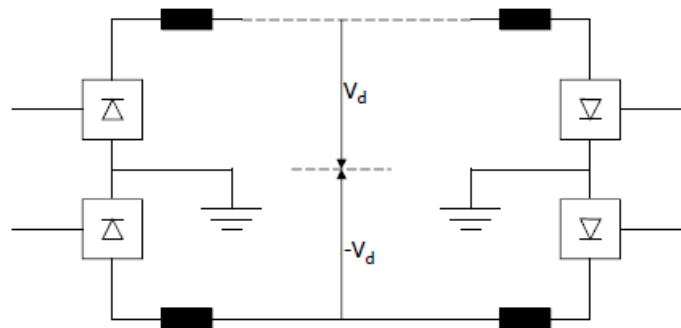
luutienä, sillä maassa kulkeva paluuvirta aiheuttaa korroosiota maassa olevissa metalliesineissä. Vaihtoehtona on myös rakentaa erillinen paluujohdin virrälle. Bipolaariyhteys on kuin kaksi monopolaariyhteyttä rinnakkain, sillä kummankin pään suuntaaja-aseilla on kaksi napaa, joiden polarisuuksia voidaan vaihdella tarpeen tullen. (Partanen 2010) Mono- ja bipolaariyhteyksien esimerkkirakenteet on esitetty kuvissa 2.1, 2.2 ja 2.3.



Kuva 2.1. Monopolaariyhteys ilman erikseen rakennettua paluujohdinta. (Partanen 2014b)



Kuva 2.2. Monopolaariyhteys, johon on rakennettu paluujohdin virrälle. (Partanen 2014b)

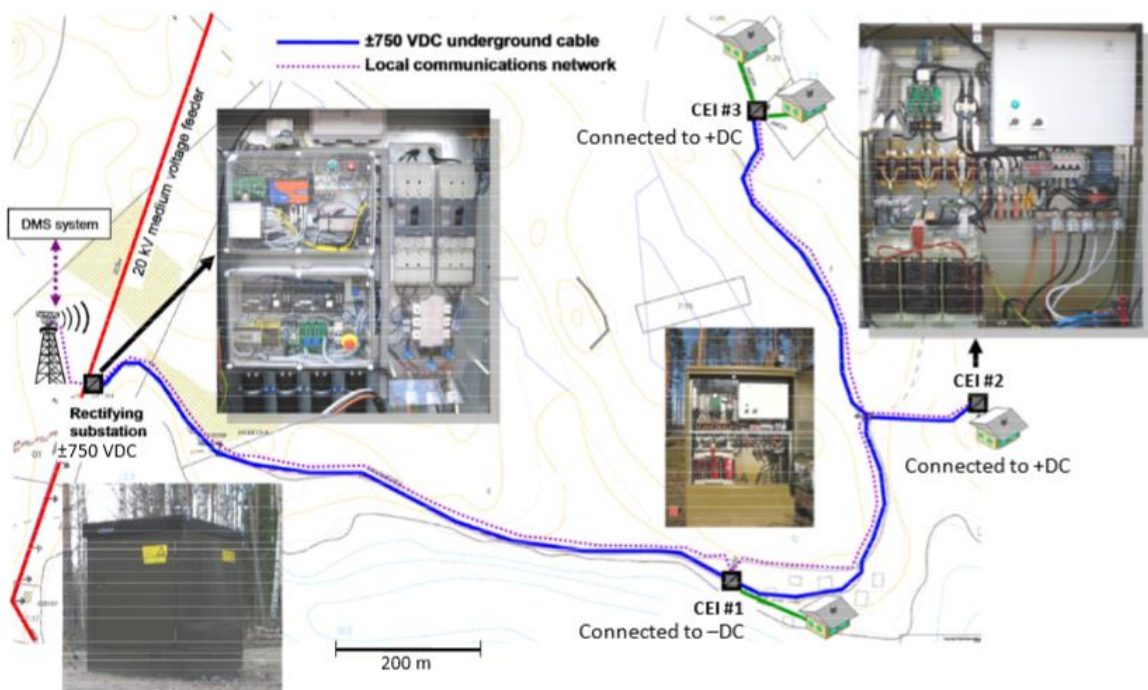


Kuva 2.3. Bipolaariyhteys tasavirtavoimansiirtojärjestelmässä. (Partanen 2014b)

2.1 Yliopiston pientasajänniteverkko

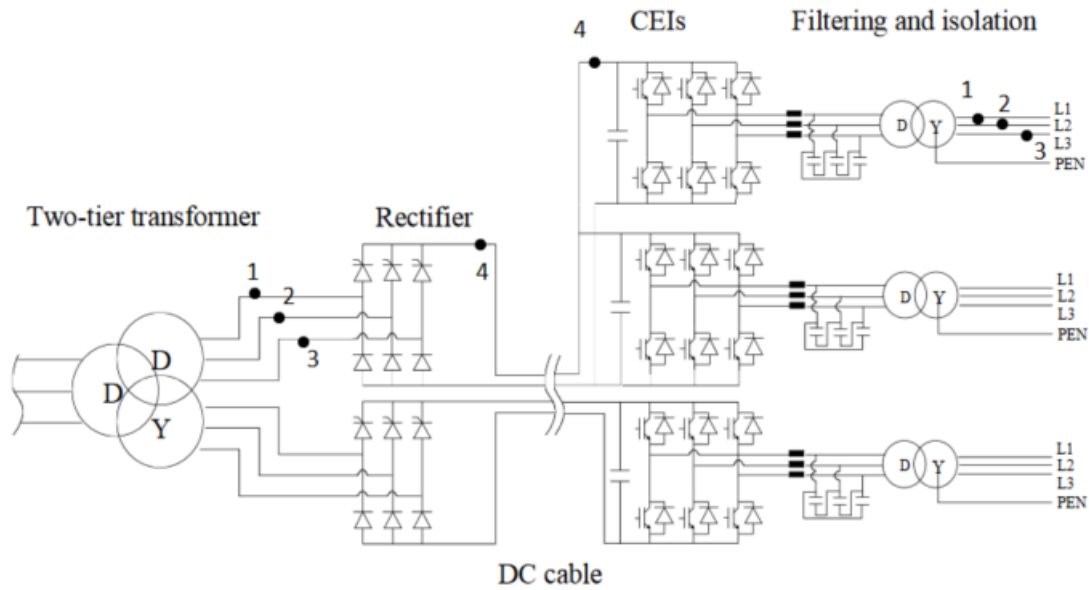
LUT:n pientasajänniteverkko on rakennettu Suomenniemellä sijaitsevan 20 kV keskijännitejohdon ja neljän kotitalouden välille noin 1,7 kilometrin matkalle yleiseen 1/0,4 kV vaihtojännitejakeluverkkoon. Verkko on suunniteltu yhdessä Suur-Savon Sähkön ja Järvi-Suomen Energian kanssa. Sen päätarkoituksena on tarjota kenttäolosuhteet pienjännitetutkimukselle todellisilla asiakkailla ja todentaa LVDC-teknologiaa ja muita älykkään sähköverkon toimintoja kenttäolosuhteissa, kuten edullisen, helposti hallittavan ja luotettavan infrastruktuurin kehittäminen verkon älykkäille toiminnoille. (Partanen 2010) (Nuutinen 2012)

Verkko muodostuu yhdestä tasasuuntaajamuuntamosta (rectifying substation) ja kolmesta vaihtosuuntaajamuuntamosta (customer-end inverters, CEI) ja se kulkee maakaapelireittinä koko matkan vaihtosuuntaajille. Tasasuuntaajamuuntamo on sijoitettu keskijänniteverkon läheisyyteen ja sen 20/0,5/0,5 kV kolmikäämimuuntaja sekä tasasuuntaaja muuntavat vaihtosähkön 750 V bipolaariseksi tasajännitteeksi. Vaihtosuuntaajamuuntamot ovat sijoitettu kotitalouksien läheisyyteen asiakasrajapinnaksi. Ne suuntaavat tasajännitteen sekä muuntavat sen 400/230 V vaihtojännitteeksi, joka on nykyään tavallisin käyttöjännite, jolla kotitalouksien kuluttajien sähkölaitteet toimivat Suomessa. Vaihtosuuntaajamuuntamoilta on vielä lyhyt kaapeliyhteys kotitalouksien pienjännitekaapeille. Kahdella vaihtosuuntaajista on kuormana kummallakin yksi kotitalous, ja kolmannella vaihtosuuntaajalla kaksi kotitaloutta. Vaihtosuuntaajien vastuulla on myös niiden läpi kulkevan energian mittaus ja sähköisten mittauksien talteenotto yhden minuutin resoluutiolla. (Nuutinen 2014) (Partanen 2010)



Kuva 2.4. Pientasajänniteverkon sijainti maastokartalla. (Nuutinen 2012)

Kuvassa 2.4 on esitetty pientasajänniteverkon sijainti maastokartalla. 20 kV keskijännitejohto on kuvattu punaisella viivalla, jonka varrella on tasasuuntaajamuuntamo. Sininen jatkuva viiva kuvaa DC-maakaapelia ja sininen pisteviiva paikallista tiedonsiirtoverkkoa.



Kuva 2.5. LVDC-verkon perusrakenne. (Nuutinen 2012)

Kuvassa 2.5 on esitetty pientasajänniteverkon perusrakenne. Sekä verkon tasa- että vaihtosuuntaajamuuntamoilla on neljä mittauspistettä: yksi kaikille kolmivaihejännitteille ja -virroille (kuvan 2.5 mittauspisteet 1-3) sekä yksi tasajännitteelle ja -virralle (kuvan 2.5 mittauspiste 4).

Keskeisimpinä yliopiston tutkimuksen aikana saavutettuina päätuloksina voidaan pitää johdopäättöstä, että LVDC-verkkotyyppistä voidaan saada toimiva ratkaisu julkisen sähköjake- lun käyttövarmuuden parantamiseksi. Tälle verkkotyyppille löytyy useita toimivia ja talou- dellisesti perusteltuja käyttökohteita etenkin tämän hetken julkisista jakeluverkoista, sekä muista sähköverkkojärjestelmistä, kuten kiinteistöasennuksista ja laivasähköjärjestelmistä. LVDC-verkko ei myöskään häiritse käytössä olevaa vaihtojänniteverkkoa ja sen nykyistä toimintaa. Pienjänniteverkon tehoelektronikka mahdollistaa tehokkaan tiedonsiirron ja on osa kokonaisuutta, jolla pyritään toteuttamaan tulevaisuuden älykkäitä sähköverkoja. (Kaipia 2006) (Partanen 2008) (Partanen 2010) (Peltoniemi 2010) (Pinomaa 2013) (Lana 2014) (Nuutinen 2015)

2.2 Sähkön laatu

Kuten sähköjakelutekniikassa yleensäkin, myös LVDC-tekniikassa sähkön laadun rooli on merkittävä. Kuluttajat haluavat näille siirrettävän sähköenergian olevan standardin mu- kaista, ja verkkoyhtiöiden on taattava tämä. Sähkön laatu muodostuu useista tekijöistä, ku- ten jännitteen laadusta, verkon käyttövarmuudesta ja tuotannon varmuudesta. Jännitteen laadun käsite pitää allaan erilaisia poikkeamia ja häiriöitä, kuten jännitetason vaihtelut, jännitekuopat ja välkyntä. Tässä työssä kiinnostaviksi nousevat mittauspisteiden kannalta ns. harmoniset yliaallot. Nämä ovat sinimuotoisia jännitteitä, joiden taajuus on monikerta perustaajuudesta jakelujännitteestä. Sähkön säröisyyttä kuvataan termillä THD (Total Har- monic Distortion). THD eli jännitteen harmoninen kokonaissärö kertoo harmonisten kom- ponenttien määrän suhteessa jännitteen perustaajuiseen komponenttiin tai jännitteen tehollisarvoon. (SFS 2010) Harmonisten yliaaltojen mittaaminen on oleellista, jotta sähköyhtiö pys- tyy täyttämään voimassa olevat jännitteen laadun standardit (SFS 2010). Samalla voidaan tarkastella LVDC-verkon häviöitä ja energiatehokkuutta. (Lana 2014)

3. TIETOKANNAN SUUNNITTELU

Tietokantojen suurin etu on se, että kaikki merkitsevä tieto on keskitettyä ja tietojen päällekkäisyys vähenee tai on hallittua. Myös standardointi helpottuu ja tietojen luotettavuus sekä oikeellisuus paranevat. Toisaalta tietokanta voi tulla kalliiksi lyhyellä tähtämellä, joten onkin perusteltavampaa luoda se pitkää aikaväliä katsoen. Tyypillisiä tietokantoja tarvitsevia käyttäjiä ovat yritykset, virastot ynnä muut tahot, joilla kertyy suurissa määrin tietoa omaan käyttöön. Tällöin käyttäjän on myös luontevaa ottaa käyttöön jonkinlainen käytönvalvontajärjestelmä, kuten esimerkiksi sähköverkkoyhtiöillä aiemmin mainittu SCADA. Muita tällaisia järjestelmiä tarvitsevia käyttäjiä voivat olla mm. tuotantoyritykset, pankit, sairaalat, valtion virastot ja muut energiaverkkoyhtiöt. (Mustonen-Ollila 2009)

3.1 Tietokannan peruskäsite

Tietokanta on jokin paikka, johon tallennetaan merkityksellistä tietoa. Tällainen paikka voi olla esimerkiksi tavallinen paperi tai tietokone, jossa tieto voidaan koota loogiseksi yhteiseksi kokoelmaksi. Yksi kokoelma tietoa voidaan käsittää tietueena. Tietokantaakin ylempänä on vielä tiedonhallintajärjestelmä, joka on joukko ohjelmia, jotka mahdollistavat tietokannan luonnin ja ylläpidon. Sähköverkkoyhtiöiden tiedonhallintajärjestelmänä toimivat käytönvalvontajärjestelmä SCADA ja käytöntukijärjestelmä KTJ. Tietoa voidaan varastoida tietokantaan eri tietomallien mukaan, tällaisia malleja ovat mm. hierarkinen malli, verkkomalli, relaatiomalli ja ER-malli. (Mustonen-Ollila 2009)

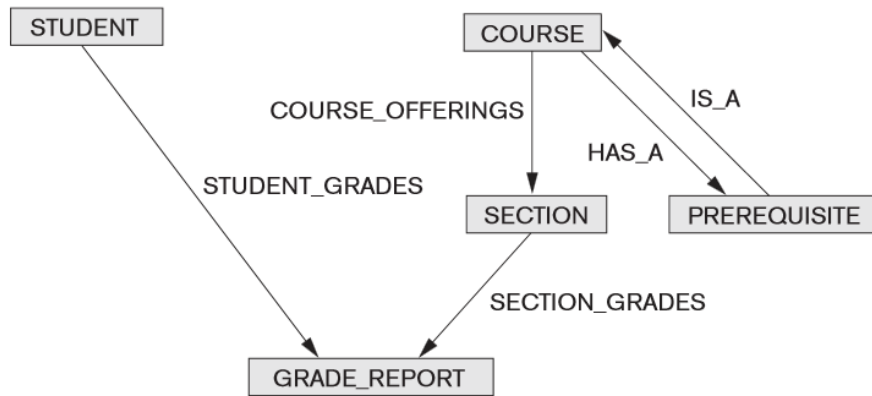
Yhtä käyttökohdetta kohden voidaan myös luoda enemmän kuin yksi tietokanta, jolloin puhutaan ns. hajautetuista tietokannoista. Tämä mahdollistaa toimintojen jakamisen eri tietokannoille, jolla voidaan lisätä järjestelmän joustavuutta. Toisaalta ongelmaksi voi nousta mm. tiedon sirpaloinnin optimointi sekä mahdollinen tiedon toistuvuus useammassa tietokannassa, kuten esimerkiksi saman tiedon tallennus kahteen eri tietokantaan. (Mustonen-Ollila 2009)

3.1.1 Hierarkinen malli

Hierarkisessa tietomallissa tietueita kuvataan käsittekaaviolla, jossa tietueen tiedot ovat koossa aina yhdessä ryhmässä. Ryhmien suhteita (1:N) kuvataan ns. linkkiviivojen avulla, kullakin tietueella on vain yksi isätietue. Tämän malli on varsin yksinkertainen, ensimmäiset varsinaiset tietokannat olivatkin hierarkisia tietokantoja. (Mustonen-Ollila 2009)

3.1.2 Verkkomalli

Verkkomalli on hyvin samankaltainen malli kuin hierarkinen malli, mutta siinä linkkiviivoilla kuvataan myös tietueen tietojen välisiä kytkentöjä. Tiettyyn tietokohteeseen liittyvät tiedot ovat linkkiviivojen muodostamassa silmukassa, joka alkaa tietokohteesta ja päättyy samaan tietokohteeseen (Mustonen-Ollila 2009). Kuvassa 3.1 on esitetty esimerkki verkkomallista.



Kuva 3.1. Esimerkki verkkomallista oppilas- ja kurssidatan tietokannalle. (Elmasri 2011)

3.1.3 Relaatiomalli

Relaatiomallissa tieto on kerätty rivien ja sarakkeiden muodostamiin tauluihin ja yhtä taulun riviä kutsutaan aina yhdeksi tietueeksi. Kaikilla riveillä on oltava ainutlaatuinen perusavain, millä sen voi erottaa muista riveistä. Kyseinen tietokantamalli näkyy käyttäjälle koelmana tauluja. Tauluja yhdistävät relaatiot eli suhteet. Relaatiomalli on kaikista yleisin tietokantamalli näistä kolmesta vaihtoehdosta (Mustonen-Ollila 2009). Kuvassa 3.2 on esitetty relaatiomallin esimerkki kuvan 3.1 verkkomallin tietueilla.

STUDENT

Name	Student_number	Class	Major
Smith	17	1	CS
Brown	8	2	CS

COURSE

Course_name	Course_number	Credit_hours	Department
Intro to Computer Science	CS1310	4	CS
Data Structures	CS3320	4	CS
Discrete Mathematics	MATH2410	3	MATH
Database	CS3380	3	CS

SECTION

Section_identifier	Course_number	Semester	Year	Instructor
85	MATH2410	Fall	07	King
92	CS1310	Fall	07	Anderson
102	CS3320	Spring	08	Knuth
112	MATH2410	Fall	08	Chang
119	CS1310	Fall	08	Anderson
135	CS3380	Fall	08	Stone

GRADE_REPORT

Student_number	Section_identifier	Grade
17	112	B
17	119	C
8	85	A
8	92	A
8	102	B
8	135	A

Kuva 3.2. Ote relaatiomalli-esimerkistä oppilas- ja kurssidatan tietokannalle. (Elmasri 2011)

3.2 Tietokannan rakenne

Ennen kuin tietokanta voidaan konkreettisesti tehdä, on aluksi pohdittava sille rakenne. Yliopiston LVDC-verkko tuottaa monenlaista dataa, kuten AMR- (Automatic Meter Reading), PQ- (Power Quality), tilaloki- ja vikalokidataa (Taulukko 3.1). Koska tietokannasta halutaan pystyä tekemään hyvinkin erilaisia hakuja eri tavoilla, päätettiin sen rakenteeksi relaatiomalli. Näin ollen luotu tietokanta koostuu tauluista, joiden kenttiin data voidaan tallentaa, ja joista on helppo kysellä ja tarkastella tätä kyseistä dataa. Suunnittelussa päädyttiin siihen, että rakenteeseen täytyy kuulua ainakin taulukossa 3.1 esitetyt kymmenen taulua, joilla saatiin selkeä järjestys datalle.

Taulukko 3.1. Tietokantaan luodut taulut.

Taulu	Tauluun tallennettava tieto
AMR	Verkosta mitattava AMR-data
Customer	Verkon asiakkaiden tiedot
Daily fault log	Päivittäisten vikojen luettelo
Hardware	Verkkokomponenttien nimellistiedot
HR measurement	Verkosta mitattava korkearesoluutioinen data
PQ	Verkosta mitattava sähkön laadun data
Measuring point	Mittauspiste ja sen data
Status	Informaatio verkkokomponenttien tilasta ja kyvystä hallita niitä
Temperature	Verkkokomponenttien lämpötilat
Legend	Muiden taulujen koodien ja tunnuksien tulkinta

AMR-tauluun kerätään verkosta mitattavaa AMR-dataa, kuten mittauspisteen jännite, virta, teho ja energia. Valtioneuvoston v. 2009 antaman asetuksen mukaisesti sähkönsiirtoyhtiöillä on ns. tuntimittausvelvoite, jonka perusteella verkosta on kyettävä lukemaan edellä mainitut suureet kerran tunnissa ja päivitettävä nämä tietokantaan. (Finlex 2009) Tässä työssä käsitellään tapausta, jossa mittauspisteitä yhdellä verkon suuntaajalla on kuvan 2.5 mukaisesti aina neljä; yksi kaikille vaihtojännitteen vaiheille sekä yksi tasajännitteelle ja -virralle.

Customer-tauluun kerätään verkon asiakkaan tietoja, kuten tämän paikkasijainti ja käyttämä vaihtosuuntaaja. *Daily Fault Log* -tauluun kerätään päivittäiset verkossa tapahtuneet viat, niiden numerokoodit ja tapahtuma-ajat. Näitä tietoja pystytään näin tarkastelemaan ja edelleen päättelemään, mikä vika tapahtui esimerkiksi verkkojärjestelmä kaatumisen hetkellä. *Hardware*-tauluun kerätään verkon komponentin (tasa- tai vaihtosuuntaajamuuntamo) nimellisteho ja paikkasijainti. *HR measurement* -tauluun kerätään virheiden numerokoodit, korkearesoluutioiset tapahtuma-ajat, sekä jännitteet ja virrat niiden tapahtumahetkellä. Taulun korkearesoluutioinen data mahdollistaa verkon transienttien käyttäytymisen tutkimisen (Lana 2014).

PQ-tauluun kirjoitetaan sähkön laadun dataa, kuten jännite- ja virtasignaalien harmoniset komponentit, tasa- ja vaihtojännitteet ja -virrat, sekä THD. *Measuring point* -tauluun kerätään mittauspisteen paikka suuntaajaan nähden, sekä muuntamo, jolle suuntaaja kuuluu. *Status*-tauluun kirjoitetaan verkkokomponentin tila tietyllä hetkellä sekä verkonhallitsijan kyky hallita sitä. *Temperature*-tauluun kerätään suuntaajamuuntamon sisälämpötila ja ympäristön lämpötila sekä näiden ajanhetket. *Legend*-taulu toimii muiden taulujen koodien ja

tunnuksien tulkitsijana, siitä löytyy selitykset eri virheiden, mittauspisteiden ja verkko-komponenttien numerokoodeille.

3.3 ER-malli

ER-mallilla (entity-relationship model) tarkoitetaan karttaa, jolla on kuvattu tietokannan taulujen olemus, sisältö ja suhteet toisiin tauluihin. Luvun 3.2 taulujen perusteella luotiin ensin ArgoUML-ohjelmalla ensimmäinen versio ER-mallista (liite D), ja uuden tarkastelun jälkeen MySQL Workbench -ohjelmalla lopullinen malli (liite II). Mallissa ”yksi yhteen” -suhteita kuvataan kahdella poikittaisella viivalla (||) suhteen kummassakin päässä, kun taas ”yksi moneen” -suhteita kuvataan toisessa päässä nuolenkärjellä (<) Jälkimmäisen ER-mallin pohjalta luotiin MySQL-tietokanta GC-palvelimelle.

4. DATANKÄSITTELYOHJELMAT

Tutkimusta varten haluttiin luoda tietokanta, jossa voidaan käyttäjäystävällisesti säilöä, lukea, muokata, järjestää ja visualisoida pienjänniteverkosta syntyvää suurta datamäärää. Jotta tietokantaan voitaisiin helposti kerätä dataa, päätettiin luoda ohjelma, joka tekee sen automaattisesti ja mahdollisesti myös säännöllisin väliajoin, sekä lataa ja verifioi kyseisen datan ja tämän jälkeen kirjoittaa sen MySQL-tietokantaan Green Campus -palvelimelle. Ohjelmointikieleksi valikoitui Python, jolla päätettiin luoda kaksi ohjelmaa; yksi datankeruuta varten ja yksi datan kyselyä varten. Nämä päätettiin pitää eri ohjelmissa datan käsittelyn nopeuttamisen vuoksi. Lisäksi ohjelmalle päätettiin tehdä MATLAB-rajapinta, jonka avulla voidaan kutsua tiettyä komentoa ja näin tehdä MySQL-kyselyjä myös itse MATLABilla. Rajapinnan hyötynä nähtiin MATLABin tarjoamat käyttäjäystävälliset funktiot datan visualisoimiseksi. Kappaleissa 4.1 ja 4.2 on kuvailtu datankeruu- ja kyselyohjelmien koodien toiminta, sekä kappaleessa 4.3 MATLAB-rajapinnan koodin toiminta.

4.1 Datankeruuohjelma

Datankeruuohjelman tarkoitus on lukea pientasajänniteverkosta kertyvä data ja tuoda se Green Campus -palvelimelle. Ohjelma ottaa aluksi yhteyden tietokantaan ja listaa tarvittavat tiedostot, joista se lukee ja hakee datan. Sen jälkeen se käy taulu kerrallaan läpi jokaiselle taululle luodun oman aliohjelman, joissa datankeräys varsinaisesti tapahtuu. Taulujen aliohjelmiin on rakennettu omat funktionsa millä ne lukevat kappaleessa 3.2 esitetyn datan tiedostoista ja kirjoittavat tämän tietokantaan SQL-kielen komennoilla. Funktioille annetaan syytteenä tiedoston nimi.

Aliohjelmat on nimetty aina taulukohtaisesti, esimerkiksi `Customer_data_import.py` tai `Temperature_data_import.py`. Datankeruuohjelma, aliohjelmat ja näiden tarvitsemat tiedostot täytyy sijoittaa samaan resurssienhallinnan kansioon koodin toimimisen takaamiseksi. Ohjelmakoodiin kirjoitetut datatiedostot voidaan vaihtaa aina datan lataamisen jälkeen. Näistä AMR-, PQ- ja Temperature-tilojen tiedostot ovat txt-tiedostoja sekä Status-, Daily Fault Log- ja HR Measurement-tilojen tiedostot htm-tiedostoja. Suorittamisensa jälkeen ohjelma ilmoittaa aina, mikä data kirjoitettiin tietokantaan.

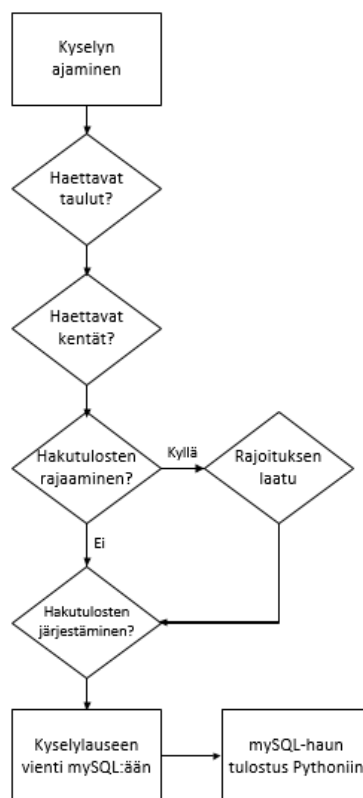
4.2 Datankyselyohjelma

Datankyselyohjelman tarkoitus on antaa tietokannan käsittelijälle mahdollisuus tarkastella tietokantaa ja sen tietueita kyselyillä, joilla voidaan myös kätevästi rajata hakutuloksia. Kuten datankeruuohjelmakin, myös datankyselyohjelma ottaa aluksi yhteyden tietokantaan. Ohjelmasta on pyritty tekemään interaktiivinen, sillä sen ajamisen jälkeen komentoikkunan ruudulle ilmestyy yksi kerrallaan kyselyohjelman kysymyksiä, joihin käyttäjän tulee vastata.

Ohjelma kysyy ensin käyttäjältä kaikki taulut, joista käyttäjä haluaa hakea tietoa, jonka jälkeen se tiedustelee kyseisistä tauluista kaikki kentät, joita halutaan tarkastella. Käyttäjä voi myös kirjoittaa ainoaksi kentäksi *-merkin, jolloin ohjelma hakee kaikki mahdolliset taulu(i)sta löytyvät kentät. Lisäksi koodi tiedustelee, mikäli käyttäjä haluaa rajoittaa hakutuloksia jollain tavalla; rajoittamista varten käyttäjän täytyy antaa haluttu rajoitus SQL-kielelle sopivassa syntaksissa. Rajoituksen lisätyään ohjelma tiedustelee vielä, minkä kentän mukaan käyttäjä haluaa järjestää hakutulokset, mikäli käyttäjä on hakenut useampaa kuin yhtä kenttää. Kuvassa 4.1 on esitetty datankyselyohjelman rakenne.

Esimerkkihakuna voidaan ohjelman aloittamisen jälkeen hakea esimerkiksi AMR-tilusta muun muassa vaihtosuuntaajan tunnusnumero, vaihtosuuntaajan jännite ja ajanhetki. Tämän jälkeen hakutuloksia voidaan rajata esimerkiksi valitsemalla vain ne tulokset, jotka ovat vaihtosuuntaajasta 3 ja osuvat toukokuun 18. päivän kello 18:00 ja 18:10 väliin. Seuraavaksi hakutulokset voidaan järjestellä muun muassa ajanhetken mukaan.

Kyselyn tulosteena ensimmäiselle riville ilmestyy haettujen kenttien otsikot ja sen alle riveittäin hakutuloksen datatietueet halutussa järjestyksessä. Datatietueista voidaan luoda mm. kuvaajia kappaleen 4.3 MATLAB-rajapinnan avulla.

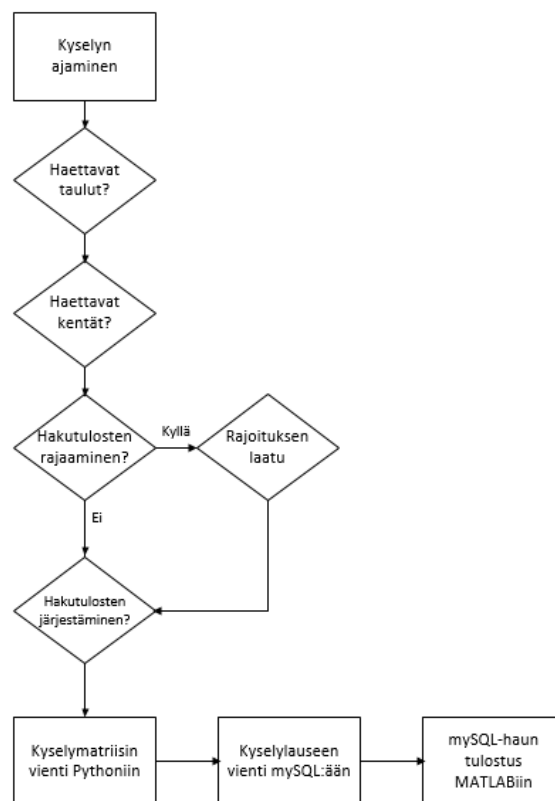


Kuva 4.1. Datankyselyohjelman rakenne.

4.3 MATLAB-rajapinta

Datankäsittelyn helpottamiseksi, myös MATLABille luotiin kaksi komentoa, jotka ottavat yhteyden Python-skriptiin ja komentavat tätä suorittamaan tallennetun ohjelman. Ensimmäinen komento on *pythontablesview*, jonka koodi perustuu suurilta osin MATLABissa jo valmiina olevan *perl*-komennon koodiin. Komennon tarkoituksena on helpottaa käyttäjää valitsemaan haluamansa taulut ja kentät. Se syöttää Windowsin cmd.exe-komentoikkunaan komentonauhan, jolla otetaan yhteys Python-komentoikkunan kansioon ja avataan tämä. Sen jälkeen suoritetaan ohjelma *tablesview.py*, mikä puolestaan hakee tietokannan kaikkien taulujen ja kenttien nimet ja tulostaa ne MATLABin komentoikkunaan. Koodiin on myös lisätty virheenkäsittelyä tyhjiin argumenttien ja hakusuorituksen epäonnistumisen varalle.

Toinen komento on *pythonquery*, jonka tarkoitus on komentaa Python-skripti suorittamaan kappaleen 4.2 kaltainen interaktiivinen datankyselyohjelma ja tulostaa hakutulokset MATLABin komentoikkunaan, jossa tuloksista voidaan esimerkiksi luoda tiedon ymmärtämistä helpottavia kuvaajia. Kyseinen python-ohjelma on nimeltään *datankysely_matlab.py* ja on muuten samanlainen kuin kappaleessa 4.2 esitetty *datankyselyohjelma.py*, mutta siihen on lisätty MATLABista tulevien argumenttien lukutoiminto. Kuten *pythontablesview*-ohjelman koodissakin, myös *pythonquery* käyttää hyväkseen hyvin paljon *perl*-komennon koodia. Se tiedustelee MATLABin komentoikkunan kyselyssä tarvittavat taulut, kentät, järjestävän kentän ja rajoitushalukkuuden argumentteikseen jo ennen Python-ohjelman suorittamista. Kaikki nämä kootaan yhdeksi matriisiksi, joka ajetaan Pythonin komentoikkunassa yhteyden ottamisen jälkeen. Myös tähänkin koodiin on lisätty virheenkäsittelyä tyhjiin argumenttien ja hakusuorituksen epäonnistumisen varalle. Kuvassa 4.2 on esitetty *pythonquery*-ohjelman rakenne. Sekä datankyselyohjelman kysymykset että hakutulokset tulostuvat MATLABin komentoikkunaan ohjelman suorittamisen aikana.



Kuva 4.2. Pythonquery-ohjelman rakenne.

5. ESIMERKKEJÄ TIEDONHAUSTA

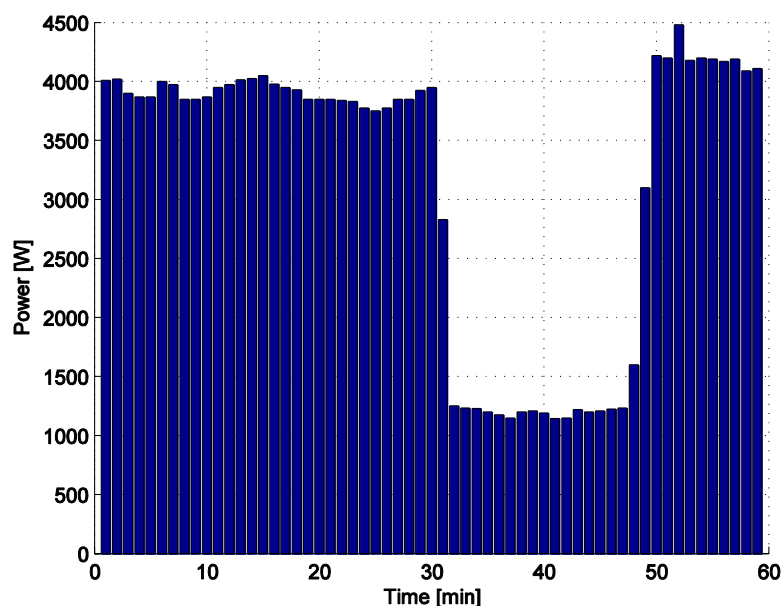
Tutkimusta rakentaessa nähtiin hyväksi miettiä, mikä kaikesta tietokantaan talletetusta datasta olisi oleellisen tärkeää ottaa talteen eri asiakkaiden kannalta, ja kuinka nämä voisivat hakea tietoa tietokannasta. Eri asiakkaita valittiin kotitalousasiakkaat, sähköverkkoyhtiöt, ja jatkotutkimuksia datalle mahdollisesti teettävä laboratorio. Asiakkaiden tiedonhakua käsitellään yleisestä näkökulmasta, eikä vain kyseessä olevan yliopiston sähköverkon sekä sen omistajien ja asiakkaiden näkökulmasta. Muita mahdollisia tietokantaa hyödyntäviä käyttäjiä, joita tässä työssä ei käsitellä, voisivat olla esimerkiksi telekommunikaatioyritykset, suunnittelutoimistot ja jopa valtion virastot.

5.1 Kotitalousasiakkaat

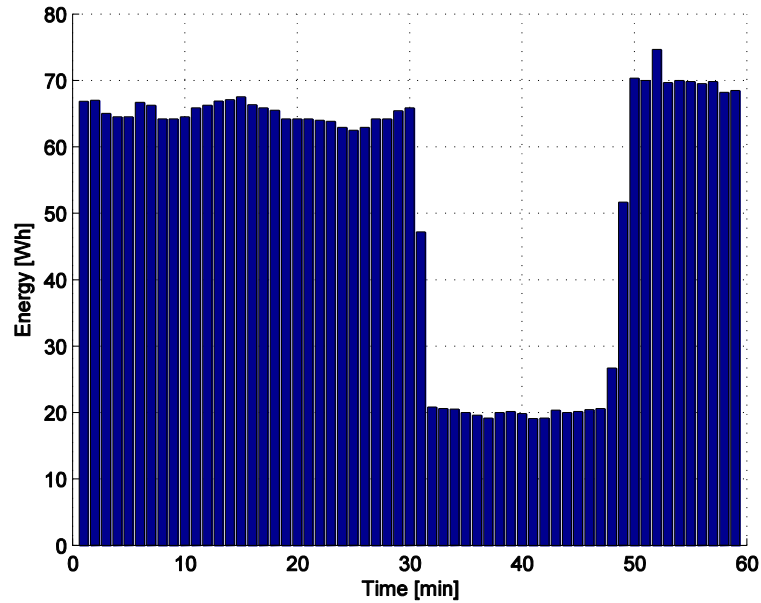
Yksittäisen kotitalousasiakkaan näkökulmasta tietokannalla ei välttämättä ole kovin suurta merkitystä. Asiakas voi kuitenkin olla halukas ottaa selvää tämän omaan käyttöön kuluvan tehon ja energian tietyllä aikavälillä. Tähän voi syynä olla esimerkiksi asiakkaan halu muokata sähkönkäyttöään taloudellisemmaksi. Jos esimerkiksi tämän LVDC-verkon kolmas kotitalousasiakas haluaisi hakea käyttämänsä tehon ja energian v. 2014 toukokuun 18. päivältä kello 18 ja 19 väliltä, hän voi avata pienjänniteverkkoa varten suunnitellun webportaalin, jonka komentosarjat hakevat halutun datan tietokannasta ja tuovat sen asiakkaan päätelaitteelle tai selaimelle. Tällöin komentosarjojen tietokantaan syöttämä SQL-komento olisi

```
SELECT timestamp, power, energy FROM lvdc.AMR
WHERE timestamp >= '2014-05-18 18:00:00'
AND timestamp < '2014-05-18 19:00:00'
AND cei_id = 3
ORDER BY timestamp;
```

Komentoikkunaan muodostuneista hakutuloksista voidaan piirtää MATLABilla kuvaajat asiakkaan tehon- ja energiankäytöistä yhden tunnin aikana, jotka on esitetty kuvissa 5.1 ja 5.2.



Kuva 5.1. Hakutuloksen tehonkäytön visualisointi MATLABilla.



Kuva 5.2. Hakutuloksen energiankäytön visualisointi MATLABilla.

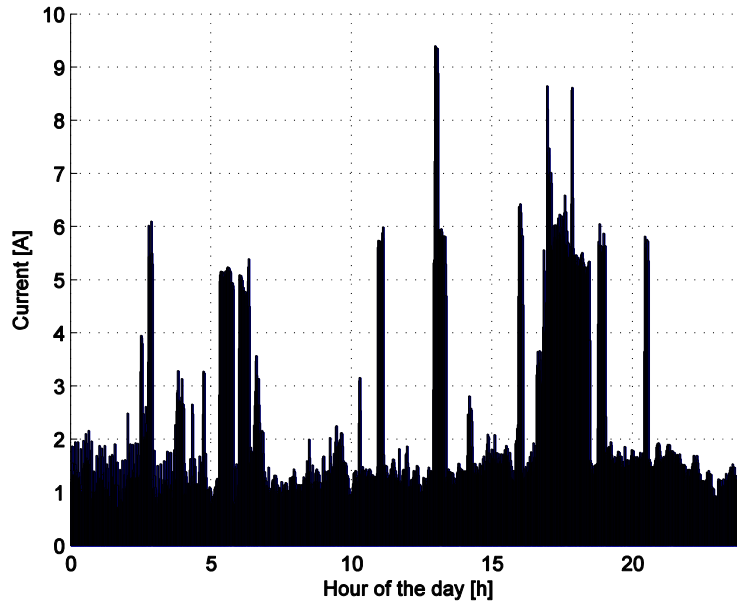
Kuvista 5.1 ja 5.2 voidaan nähdä, että asiakkaan sähkönkäyttö on pudonnut alle puoleen haun tunnin 30:n ja 50:n minuutin välisenä aikana, verrattuna tunnin muuhun kuluutukseen. Tästä tiedosta asiakas voi tehdä huomioita ja ymmärtää paremmin omaa sähkönkäyttöään sekä siihen vaikuttavia tekijöitä.

5.2 Sähköverkkoyhtiöt

Sähköverkkoyhtiöitä voi kiinnostaa muun muassa verkossa kulkevat kuormitusvirrat, kaikissa kotitalouksissa kuluvat tehot ja verkon jännitteenalenemat kuluttajien optimoinnin kannalta; sekä maasulku- ja oikosulkuvirrat, tasa- ja vaihtosuuntaajien lämpötilat ja verkossa tapahtuvien vikojen määrä laitteiden kestävyys ja verkon vikatilanteista selviämisen kannalta. Verkkoyhtiö pystyy todennäköisesti käyttämään myös omia järjestelmiään (SCADA, KTJ) tiedonhakuunsa, mutta jos se haluaisi esimerkiksi saada tietoonsa datankyselyohjelman kautta kolmannen vaihtosuuntaajan kuormitusvirrat toukokuun 18. päivänä vuonna 2014, yhtiö voi web-portaalin kautta asettaa komentosarjat hakemaan halutun datan tietokannasta. Tässä tapauksessa SQL-komento olisi

```
SELECT timestamp, current FROM lvdc.AMR
WHERE timestamp >= '2014-05-18 00:00:00'
AND timestamp < '2014-05-19 00:00:00'
AND cei_id = 3
ORDER BY timestamp;
```

Komentoikkunaan muodostuneista hakutuloksista voidaan piirtää MATLAB:lla kuvaaja tapahtuneesta virrankäytöstä yhden päivän aikana, joka on esitetty kuvassa 5.3.



Kuva 5.3. Hakutuloksen kuormitusvirtojen visualisointi MATLABilla.

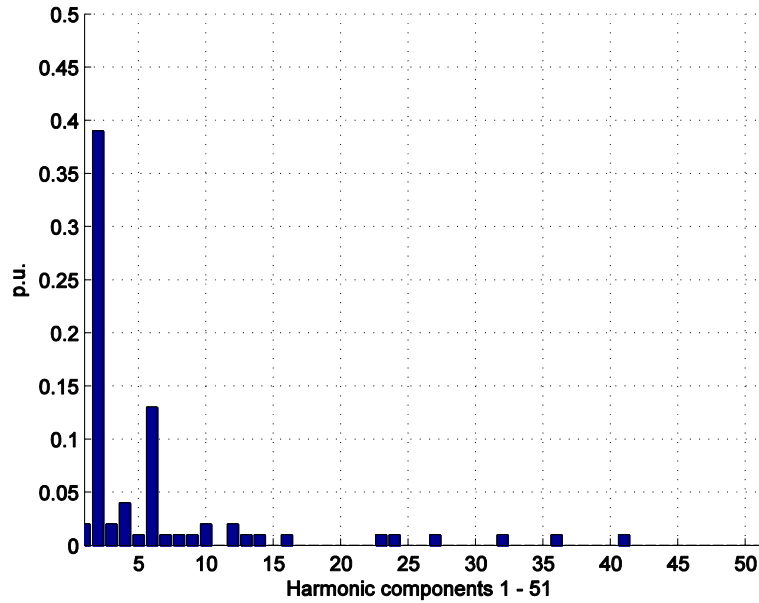
Kuvasta nähdään, että vaihtomuuntajalla on ollut useita virtapiikkejä kyseisenä päivänä, joista suurimmat ovat olleet noin kello 13, 17 ja 18. Tämänlainen tieto voi auttaa verkko-yhtiötä esimerkiksi jakeluverkkonsa kuormitusten tarkkailussa, verkossa sattuneiden vikojen ajankohtien todentamisessa, sekä yleissuunnittelussa, kuten muuntaja- sekä kaapelikoon valinnassa mahdollista tulevaisuuden saneerausta varten.

5.3 Tutkimuslaboratorio

Jatkotutkimuksia teettävää laboratoriota, kuten esimerkiksi yliopistoa, kiinnostaa mahdollisesti ainakin verkossa jaettavan sähkön laatu ja tämän signaalien säröisyys, mahdolliset yliaallot, sekä verkossa tapahtuvien vikojen syyt sähkön laadun, verkon komponenttien kestävyys ja niiden parantamisen kannalta. Jos laboratorio haluaisi esimerkiksi hakea tietokannasta virtasignaalin harmoniset komponentit toukokuun 19. päivänä vuonna 2014 kello 00:00:22, se voi web-portaalin kautta asettaa komentosarjat hakemaan halutun datan tietokannasta. Tässä tapauksessa SQL-komento olisi

```
SELECT * FROM lvdc.PQ
WHERE channel_id = 4
AND timestamp_sec = '2014-07-19 00:00:22';
```

Komentoikkunaan muodostuneista hakutuloksista voidaan piirtää myös kuvaaja, joka on esitetty kuvassa 5.4.



Kuva 5.4. Hakutulosten harmonisten komponenttien visualisointi MATLABissa.

Kanavalla 4 mitataan virran signaalia. Kuvassa 5.4 on esitetty virran jokaisen harmonisen komponentin prosentuaalinen osuus kokonaissignaalista. Kuvasta nähdään, että voimakkaimmat virran harmoniset komponentit ovat olleet toinen ja kuudes harmoninen komponentti. Tämänlainen data voi auttaa laboratoriota tutkimaan, mitkä perustaajuuden monikerrat mahdollisesti aiheuttavat epätoivottuja suurempia harmonisia signaaleja ja vaikuttavat siten verkon sähkön laatuun. Kuvan 5.4 kaksi voimakkainta harmonista komponenttia voivat aiheutua asiakkaan kotitalouslaitteista, mutta toisaalta toinen harmoninen komponentti voi johtua myös mahdollisesti esimerkiksi tyristorien ohjauskulmavirheistä ja kuudes harmoninen komponentti esimerkiksi muuntajan vinokuormituksesta. (Lana 2014) (Sievä 2013)

5.4 Varastoon jätettävä data

Kaikkea dataa ei ole tarkoitus tuoda asiakkaan saataville. Esimerkiksi muiden asiakkaiden sähkönkulutus on jätettävä verkonhaltijan ja laboratorion tietoon henkilötietolain mukaisesti eikä sitä saa levittää muiden asiakkaiden tietouteen (Finlex 1999). Myös verkon komponenttien data (lämpötila, status yms.) voidaan jättää vain verkonhaltijan ja laboratorion tutkimuskäyttöön, sillä niistä ei ole asiakkaalle kovinkaan suurta hyötyä, eikä verkonhaltijalla välttämättä ole intressiä antaa kaikkea dataansa yleiseen jakoon, mahdollisten yhtiössä salassa pidettävien tietojen takia. Dataa ei myöskään ole sellaisenaan tarkoitus tuoda julkiseen tietoon.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tutustuttiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston kokeelliseen pientasajänniteverkkoon, eri tietokantamalleihin ja dokumentoitiin MySQL-tietokannan luonti tälle verkolle. Tietokanta rakennettiin yliopiston Green Campus -palvelimelle ja sille luotiin 10 taulua, joihin voidaan tuoda ja kysellä dataa niitä varten rakennetulla datankeräys- ja kyselyohjelmalla hyödyntäen sftp-protokollaa. Ohjelmat luotiin Python-ohjelmointikielellä. Datankeruohjelman tarkoitus on lukea valtavat määrät pienjänniteverkosta syntyvää dataa. Datankyselyohjelman tarkoitus on antaa tietokannan käsittelijälle mahdollisuus tarkastella tietokantaa ja sen tietueita interaktiivisilla tietokantakyselyillä, joilla hakutulosten rajaus onnistuu kätevästi. Hakukysymyksiin vastaamisen jälkeen datankyselyohjelma vie haun MySQL-kantaan ja tulostaa haun tulokset Pythoniin.

Näiden lisäksi luotiin erillinen rajapinta MATLAB-ohjelmalle, kyselyssä haetun datan paremman visualisoinnin mahdollistamiseksi. MATLAB-rajapinnalla on kaksi funktiota, *pythontablesview*-komennolla voidaan hakea tietokannan kaikkien taulujen ja kenttien nimet ja tulostaa ne MATLABin komentoikkunaan. *pythonquery*-komennolla voidaan suorittaa samanlaisia kyselyitä tietokannasta kuin Pythonin datankyselyohjelmallakin sekä piirtää kyselytuloksista havainnollistavia kuvaajia. Käyttäjän on vastattava samoihin kysymyksiin kuin Python-datankyselyohjelmassa, jonka jälkeen *pythonquery* ottaa yhteyden Python-skriptiin ja komentaa tätä viemään kyselylauseen mySQL:een. Hakutulokset tulostetaan lopuksi MATLABin komentoikkunaan.

Tietokannan luonnilla saavutettiin LUT:n pientasajänniteverkkoa varten suuri datavarasto, johon on helppo kerätä dataa sekä tarkastella ja muokata sitä. Asiakkaille pystytään tuottamaan tietoa näiden käyttämisestä sähkötehoista ja -energioista, jonka avulla kuluttaja voi ymmärtää paremmin omaa sähkökäyttöään ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Sähköverkkoyhtiöille ja tutkimuslaboratorioille pystytään tuottamaan muun muassa tietoa sähkön laadusta ja tämän signaalien säröisyydestä, verkon kuormituksesta, jännitteenalenemistä ja verkossa tapahtuvista vioista. Tämä voi auttaa verkkoyhtiötä esimerkiksi jakeluverkkonsa kuormitusten tarkkailussa, verkossa sattuneiden vikojen ajankohtien todentamisessa ja yleissuunnittelussa, sekä laboratoriota sähkön laatuun vaikuttavien tekijöiden jatkotutkimuksessa. Näin ollen tietokantaratkaisuehdotuksella saadaan talteen kaikki työn tekohelellä tarpeelliseksi koettu data. On toisaalta mahdollista, että valitsemalla toinen ohjelmointikieli, oltaisiin voitu saavuttaa vieläkin tehokkaampi tai helppokäyttöisempi tietokantaratkaisu.

Työn jatkokehityksenä voisi kehittää luotua tietokantaa yhä pidemmälle. Tutkimuksessa oli alun perin tarkoitus luoda säännöllisin väliajoin dataa hakevaa koodi, mutta tätä ei ole tehty tässä työssä. Kyseisen koodin voisi asettaa esimerkiksi hakemaan tarvittavan datan joka päivä samaan kellonaikaan. Tietokannan voisi myös integroida toimimaan yhdessä graafisen käyttöliittymän kanssa. Tällä hetkellä yliopistolla on olemassa graafinen käyttöliittymä LVDC-verkolle, mutta sen kautta voi nähdä vain reaaliaikaiset verkkotiedot, eikä hakea aiempia tietoja.

LÄHTEET

- (Elmasri 2011) Elmasri, R., Navathe, S.B. 2011. Fundamentals of Database Systems. 6. painos. Addison-Wesley. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.2.2016]. Saatavissa <http://www.cse.hcmut.edu.vn/~ttqnguyet/CSDL/EbookDB.pdf>
- (European Commission 2016) European Commission 2016. The Low Voltage Directive (LVD). [verkkodokumentti]. [viitattu 7.2.2016]. Saatavissa http://ec.europa.eu/growth/sectors/electrical-engineering/lvd-directive/index_en.htm
- (Finlex 1999) Finlex 1999. Henkilötietolaki. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.3.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990523>
- (Finlex 2009) Finlex 2009. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksista. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.3.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>
- (IEC 2015) International Electrotechnical Commission 2015. Strategic Groups/SMB/SG 4. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.1.2015]. Saatavissa http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:85:0::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6019,25
- (Lakervi 2008) Lakervi, E., Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 1. painos. Otatieto 2008.
- (Lana 2014) Lana, A. 2014. LVDC power distribution system: computational modelling. Lappeenranta, Lappeenranta University of Technology. [viitattu 12.1.2015]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/98647>
- (Mustonen-Ollila 2009) Mustonen-Ollila, E. 2009. Tietokannat. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.2.2016]. Saatavissa: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/ct20a4301/luennot/luentokalvot2008.ppt>
- (Myllylä 2014) Myllylä, T. 2014. Sähköverkkojen kyberturvallisuus. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.3.2016] Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12894/master_Myllyl%C3%A4_Tony_2014.pdf?sequence=1
- (Nuutinen 2007) Nuutinen, P. 2007. Vaihtosuuntauksen ja suodatuksen toteuttaminen tasasähkönjakeluverkossa. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.3.2015] Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/32991/nbnfi-fe20072143.pdf?sequence=1>
- (Nuutinen 2015) Nuutinen, P. 2015. Power Electronic Converters in Low-Voltage Direct Current Distribution – Analysis and Implementation. [verkkodokumentti]. [viitattu 31.3.2016] Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/117972>
- (Partanen 2008) Partanen, J. et al. 2008. Tehoelektroniikka sähkönjakelussa, osa 1/2. Lappeenranta, Lappeenranta University of Tehnology.
- (Partanen 2010) Partanen, J. et al. 2010. Tehoelektroniikka sähkönjakelussa – Pienjännitteinen tasasähkönjakelu. Lappeenranta, Lappeenranta University of Technology.

(Partanen 2014a) Partanen, J. 2014. Sähkönjakeluverkkojen käyttö. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.3.2015]. Saatavissa: https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/sahkonjakeluverkkojen_kaytto.pdf

(Partanen 2014b) Partanen, J. 2014. Tasasähkövoimansiirto. [verkkodokumentti]. [viitattu 13.1.2016]. Saatavissa: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0600/luennot/tasasahkovoimansiirto.pdf>

(Peltoniemi 2010) Peltoniemi, P. 2010. Phase voltage control and filtering in a converter-fed single-phase customer-end system of the LVDC distribution network. [verkkodokumentti]. [viitattu 31.3.2016] Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/64330>

(Pinomaa 2013) Pinomaa, A. 2013. Power-line-communication-based data transmission concept for an LVDC electricity distribution network – Analysis and implementation. [viitattu 31.3.2016] Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/94017>

(SFS 2010) SFS-EN 50160. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto ry.

(Sievä 2013) Sievä, E. 2013. Yliaaltojen suodatus laboratorio- ja toimistorakennuksissa. [verkkodokumentti] [viitattu 27.11.2015] Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61338/Sieva_Ella.pdf?sequence=1

(SmartGrids 2013) Smart Grids European Technology Platform 2013. European Electricity Grid Initiative. [verkkodokumentti]. [viitattu 17.11.2015]. Saatavissa: <http://www.smartgrids.eu/European-Electricity-Grid-Initiative>

(Takala 2012) Takala, M. 2012. Tuotantokriittisen prosessiverkkoympäristön valvonta. [verkkodokumentti] [viitattu 17.11.2015]. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100633.pdf>

Konferenssipaperit ja lehtiartikkelit:

(Kaipia 2006) Kaipia, T., Salonen, P., Lassila, J. & Partanen, J. 2012. Possibilities of the Low-Voltage DC Distribution Systems. NORDAC 2006 conference, Stockholm 2006. Saatavissa: <http://www.upn.se/html-files/Glava/Referenser/Ref%206%20Possibilities%20of%20low%20voltage%20DC%20distribution.pdf>

(Kaipia 2012) Kaipia, T., Nuutinen, P., Pinomaa, A., Lana, A., Partanen, J., Lohjala, J. & Matikainen, M. 2012. Field test environment for LVDC distribution – Implementation experiences. Integration of Renewables into the Distribution Grid, CIRED 2012 Workshop, s. 1–4.

(Nuutinen 2012) Nuutinen, P., Kaipia, T., Peltoniemi, P., Salonen, P., Lana, A., Pinomaa, A. & Partanen, J. 2012. Field Test Platform for LVDC distribution. SGEM unconference 5.-6.9.2012, NORDAC 10.-11.9.2012. Saatavissa: <http://www.lut.fi/documents/10633/138922/LVDC+field+test+2012/26888c79-ae84-4db5-bf06-0ca2fd85f993>

(Nuutinen 2014) Nuutinen, P., Kaipia, T., Peltoniemi, P., Lana, A., Pinomaa, A., Mattsson, A., Silventoinen, P., Partanen, J., Lohjala, J. & Matikainen, M. 2014. Research Site for Low-Voltage Direct Current Distribution in Utility Network – Structure, Functions and Operation. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no, 5, s. 2574–2582.

