

Heikki Alajuuma

**TUOTANTOTESTAUKSEN SUUNNITTELU ÄLYKKÄÄLLE SÄHKÖNKÄYTÖN OPTIMOINTILAITTEELLE**

# **TUOTANTOTESTAUKSEN SUUNNITTELU ÄLYKKÄÄLLE SÄHKÖNKÄYTÖN OPTIMOINTILAITTEELLE**

Heikki Alajuuma  
Opinnäytetyö  
Syksy 2015  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Heikki Alajuuma

Opinnäytetyön nimi: Tuotantotestauksen suunnittelu älykkäälle sähkönkäytön optimointilaitteelle

Työn ohjaaja: Heikki Takalo-Kippola

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2015 Sivumäärä: 36

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää tuotantotestausjärjestelmä Cleworks Oy:n suunnitteleman ja valmistaman Clebox-laitteelle. Työssä keskityttiin tuotantotestausohjelmiston kehittämiseen ja sen vaatimien laitteiden yhteensovittamiseen.

Työssä selvitettiin tuotteen tuotannon testatarpeet sekä miten tarvittavat tuotantotestit tullaan toteuttamaan. Testien ohjelmointi toteutettiin Javalla, sillä se oli jo käytössä testattavan tuotteen kehityksessä. Työ sisälsi ohjelmointirajapintoihin ja -kirjastoihin tutustumista sekä niiden käyttöönoton testausohjelmistossa.

Työn tuloksena syntyi pilottitestausjärjestelmä sekä tuotantotestausohjelmisto, jossa on toteutettuna kaikki vaaditut toiminnallisuudet. Työlle ennalta asetetut tavoitteet toteutuivat hyvin.

---

Asiasanat: sähkölämmitys, sähkönsäästö, tuotantotestaus, Raspberry Pi, Cleworks Oy, Clebox

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Automation engineering

---

Author: Heikki Alajuuma

Title of thesis: Designing production testing for electricity consumption optimization device

Supervisor: Heikki Takalo-Kippola

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2015 Pages: 36

---

Clebox is clever device and service created by Cleworks Ltd. It helps optimizing electricity consumption by utilizing weather forecasts and hourly priced electricity.

Purpose for this thesis was design and implement production testing system for Clebox. It included implementation of production testing software and designing production testing system.

Production testing software was written with Java and all used APIs and SDK were open source.

Final result of this thesis was working pilot production testing system and production testing software which fulfilled all requirements.

---

Keywords: electrical heating, production testing, Raspberry Pi, Cleworks Oy, Clebox

## ALKULAUSE

Työn valvovana opettajana toimi Heikki Takalo-Kippola Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan yksiköstä ja ohjaajana tuotekehityspäällikkö Pentti Palo Cleworks Oy:stä.

Haluan kiittää Heikki Takalo-Kippolaa opinnäytetyön valvomisesta ja monista dokumentointiin liittyvistä ideoista. Pentti Paloa haluan kiittää testauksen tarpeiden määrittelystä ja avusta testien suunnittelussa. Haluan kiittää myös ohjelmistosuunnittelija Teemu Veikanmaata Oudata Oy:stä kaikista ohjelmointiin ja testiympäristöön liittyvistä vinkeistä ja ohjeista. Lisäksi haluan kiittää Tero Hietasta Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan yksiköstä ja Jouni Kolvankia Cleworks Oy:stä, joiden ansiosta pääsin tekemään opinnäytetyötä. Kiitän myös äidinkielen opettaja Tuula Hopeavuorta kieliasun tarkastuksesta ja kaikista dokumentointiin liittyvistä ohjeista. Kiitos kuuluu myös vaimolle ja lapsille motivoinnista.

7.10.2015

Heikki Alajuuma

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	11
1.1 Sähkön käyttö ja perinteiset sähkönsäästömenetelmät	11
1.2 Clebox-palvelu sähkön käytön optimoinnissa	12
1.3 Tuotannontestausohjelmisto Cleboxille	14
2 TUOTANNONTESTAUSOHJELMISTON ARKKITEHTUURI	16
2.1 Raspberry Pi	17
2.2 Reititin	18
2.3 Tuotannontestaus-PC	18
2.4 Java-ohjelmointikieli	18
2.4.1 Spring Framework	19
2.4.2 Spring Tool Suite	19
2.5 1-Wire-väylä	19
2.6 Apache Tomcat -sovelluspalvelin	20
2.7 Testaustietokanta	20
2.8 Käyttöliittymä	21
3 TUOTANTOTESTIT	22
3.1 Kanavaohjaukset	22
3.1.1 Lämpötila-antureiden avulla tehtävät kanavaohjaustestit	22
3.1.2 Jännitemittausten avulla tehtävät kanavaohjaustestit	23
3.2 1-Wire-väylä ja lämpötila-anturit	23
3.3 Jännitemittaukset	23
3.4 LED-testit	23
3.5 Kotona/pois-kytkin	24
4 SUUNNITTELU TYÖN KULKU	25
4.1 Testiympäristön rakentaminen	25
4.1.1 Reitittimen konfigurointi	25

4.1.2 Raspberry Pin käyttöönotto	25
4.1.3 Tuotannotestaus-PC:n asentaminen ja konfigurointi	26
4.2 Asiakas/Palvelin-toiminnallisuus	26
4.3 Käyttöliittymä	28
4.4 Jännitemittaukset	28
4.5 Testitulosten siirtäminen tietokantaan	30
4.6 Kehityskohteita	31
5 LOPPUSANAT	33
LÄHTEET	35

## LYHENTEET

API	Application Programming Interface, Ohjelmointirajapinta
ARM	Yksi maailman johtavia mikroprosessorivalmistajia
DQ	Data Input/Output, 1-Wire-väylän data-linja
Free BSD	Free Berkeley Software Distribution, vapaa UNIXin kaltainen käyttöjärjestelmä
GND	Ground, maajohto, maapotentiaali
GNU	GNU's Not Unix, ohjelmoija Richard Stallmanin vuonna 1983 käynnistämä projekti, jonka tavoitteena on kehittää täysin vapaa käyttöjärjestelmä
GPIO	General Purpose Input Output, yleiskäyttöinen portti mikroohjaimissa ja mikroprosessoreissa. General Purpose I/O voidaan ohjelmoida joko signaalin vastaanottajaksi tai lähettäjäksi
GPIOB	General Purpose Interface Bus, tunnetaan myös nimellä IEEE-488, on moni-isäntäinen (multi-master) 8-bittinen rinnakkaisliityntä jota käytetään automaattisten testilaitteiden ohjaamiseen
HTML5	Hypertext Markup Language version 5, HTML-merkintäkielen versio 5, on myös yleisnimitys monille nykyaikaisille web-tekniikoille
IBM	International Business Machines, teknologiayritys, joka on tunnettu suurtietokoneiden ja tehokkaiden palvelimien valmistajana ja alkuperäisen IBM PC -arkkitehtuurin kehittäjänä
IP	Internet Protocol, TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla, joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta perille pakettikyt-kentäisessä Internet-verkossa
JVM	Java Virtual Machine, Java virtuaalikone, on ohjelmallisesti toteutettu tietokone, jossa voidaan ajaa Java-ohjelmia

KDE	K Desktop Environment, KDE työpöytäympäristö. KDE on avoimen lähdekoodin yhteisö, jonka tuottama ohjelmistokokonaisuus KDE Software Compilation (KDE SC) koostuu KDE-työtilasta (KDE Workspace), KDE-ohjelmistoalustasta (KDE Platform) ja KDE-sovellusohjelmista (KDE Apps).
LED	Light Emitting Diode, hohtodiodi eli ledi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta
Mac OS X	Apple Mac Operating System version 10, Apple Mac käyttöjärjestelmä versio 10
NOOBS	New Out Of the Box Software, työkalu Raspberry Pi -tietokoneen käyttöönoton helpottamiseen
PC	Personal Computer, henkilökohtainen tietokone on yleisluontoinen tietokone, jonka koko, toiminnot ja hinta mahdollistavat sen hankinnan ja käytön myös yksityishenkilölle. Nämä tietokoneet on yleensä tarkoitettu suoraan käyttäjänsä hallittaviksi.
SQL	Structured Query Language, IBM:n kehittämä standardoitu kyselykieli, jolla relaatiotietokantaan voi tehdä erilaisia hakuja, muutoksia ja lisäyksiä. Käytännössä kaikki relaatiotietokannat ymmärtävät SQL-kieltä.
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen
Vdd	Positive supply voltage, positiivinen jännitelähde
VoIP	Voice over IP, tekniikka, jonka avulla ääntä voidaan siirtää reaaliaikaisesti Internetin tai muun IP-protokollaa käyttävän verkon välityksellä: puhe muutetaan digitaaliseen muotoon ja siirretään paketteina verkon yli.
Web UI	Web-based User Interface, Web-pohjainen käyttöliittymä

- WLAN Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka, jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää ilman kaapeleita. Yleisimmin tarkoitetaan IEEE 802.11- standardia.
- XHTML Extensible Hypertext Markup Language, HTML:stä kehitetty www-sivujen merkintäkieli, joka täyttää XML:n muotovaatimukset. Sen oli alun perin tarkoitus korvata HTML.
- XML Extensible Markup Language, tietynlaisten merkintäkielien yläkäsite tai standardi, jolla tiedon merkitys on kuvattavissa tiedon sekaan. XML-kieliä käytetään sekä formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä että formaattina dokumenttien tallentamiseen. XML-kieli on rakenteellinen kuvauskieli, joka auttaa jäsentämään laajoja tietomassoja selkeämmin.

# 1 JOHDANTO

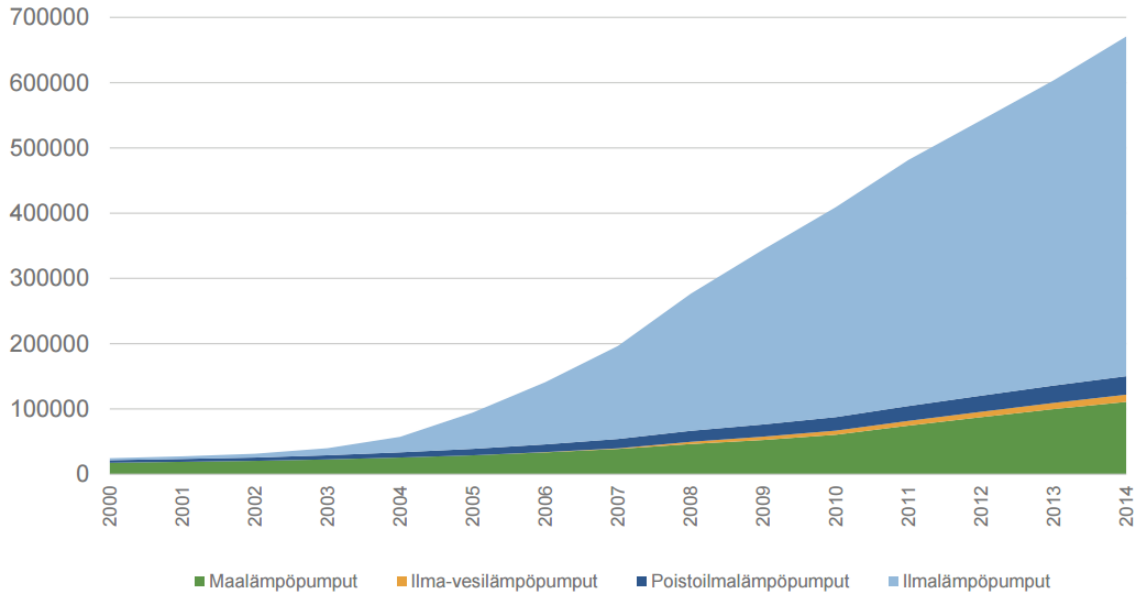
Cleworks Oy on oululainen startup-yritys, joka on perustettu loppuvuodesta 2012. Yhtiö suunnittelee ja myy palvelua, joka tukee tuntitariffipohjaista sähkön käyttöä kotitalouksille ja muille kohteille. (1.) Yrityksen sähkönkäytön optimointiin suunnittelema ja valmistama Clebox-palvelu on nyt pilotointivaiheessa.

## 1.1 Sähkön käyttö ja perinteiset sähkösäästömenetelmät

Sähkönkäyttäjällä on valittavanaan sähkösopimukselle erilaisia vaihtoehtoja. Voidaan valita sähkön tuotantomuoto, joita ovat esimerkiksi uusiutuvat energian lähteet (vesi- ja tuulivoima), fossiiliset polttoaineet tai ydinvoima. Valittavana on myös määräaika- tai kiinteähintaiset tai jatkuvat, tietyin väliajoin tarkistettavat hinnat. Lisäksi on valittavana mittaus tapa: yleissähköllä on aina kiinteä hinta riippumatta vuorokauden- tai vuodenajasta ja aikasähköllä voidaan ohjata kulu- tusta yön halvemmille hinnoille. Viimeisimpänä markkinoille on tullut spot- sähkösopimukset, jossa hinta muodostuu perusmaksusta, myyjän marginaalista ja energian hinnasta. Esimerkiksi Oulun Energialla energian hinta on pohjois- maisen sähköpörssi Nord Poolin Suomen aluehinta lisättynä myyjän marginaa- lilla. (2.)

Sähkölämmitteisen omakotitaloasujan kustannustensäästömenetelmänä on perinteisesti ollut yösähkön käyttö lämmitykseen. Tämä toimii varsinkin varaavalla sähkölämmitysjärjestelmällä. Suoralla sähkölämmityksellä yösähköstä ei ole käytännössä hyötyä. Yösähkön ja päiväsähkön hinnan ero on kaventunut vuosien saatossa. Tästä johtuen varaavalla sähkölämmityksellä ei ole saatavissa samanlaisia säästöjä sähkönkulutuksessa kuin ennen.

Ilmalämpöpumput ovat myös lisänneet tällä vuosituhannella suosiotaan, kuten kuvasta 1 nähdään. Sähkösäästömielessä niiden ongelmana on, että ne toimivat kesäaikaan myös viilennyslaitteina, jolloin niiden talviaikana keräämä säästö käytetään kesän kuumimpina päivinä sisätilojen viilentämiseen. Asumismukavuuteen tällä on tietysti positiivinen vaikutus.



KUVA 1. Käytössä olevat lämpöpumput 2000–2014 (3)

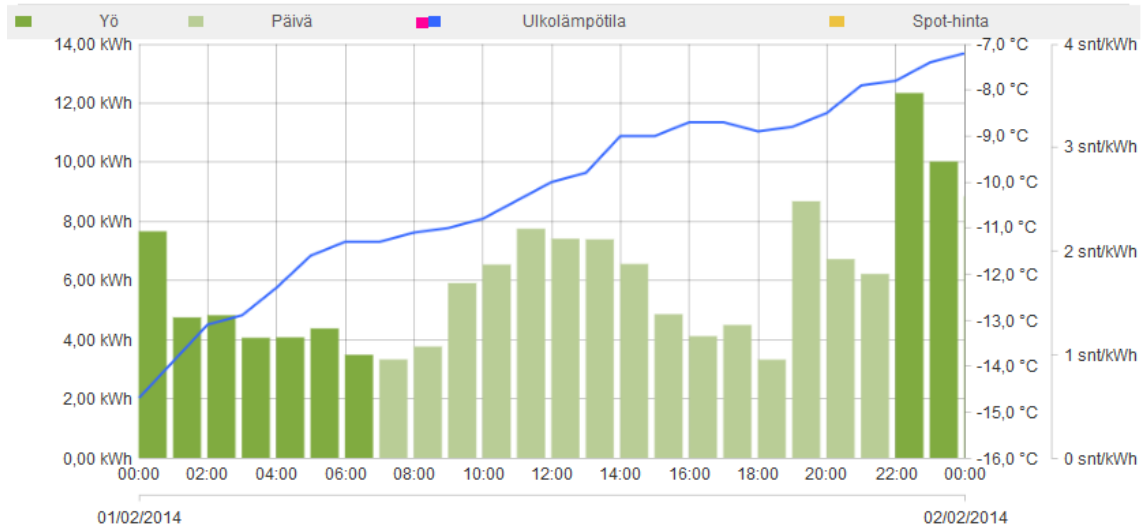
## 1.2 Clebox-palvelu sähkön käytön optimoinnissa

Clebox-palvelu ei pelkästään säästä sähköenergiaa, vaan se ohjaa kulutusta halvoille spot-sähkön tuntihinnoille. Kuluttajalle säästöä tulee siis tunneittain hintaa vaihtavan spot-sähkön optimaalisesta käytöstä ja se tekee myös sähkön säästämisen helpoksi. (4.)

Nord Pool on Pohjoismaiden ja Baltian maiden kantaverkkoyhtiöiden omistama sähköpörssi. Sen spot-markkinoilla määräytyy seuraavan päivän sähkön hinta kysynnän ja tarjonnan perusteella. Spot-sähkön seuraavan päivän tuntihinnat ovat tiedossa edellisen päivän iltapäivällä. Tuntihinnoissa on suuriakin vaihteluja. Varsinkin yöaikaan hinnat ovat kaikista matalimmillaan, ja korkeimmillaan ne ovat yleensä, kun sähkökäyttö on suurimmillaan. Laitteen maantieteellisen sijainnin perusteella haetaan Ilmatieteen laitoksen sääpalvelusta seuraavan päivän sääennuste ja yhdistämällä se pörssisähkön hinnanvaihteluihin saadaan tehtyä seuraavalle vuorokaudelle ideaalinen lämmitysprofiili. (4.)

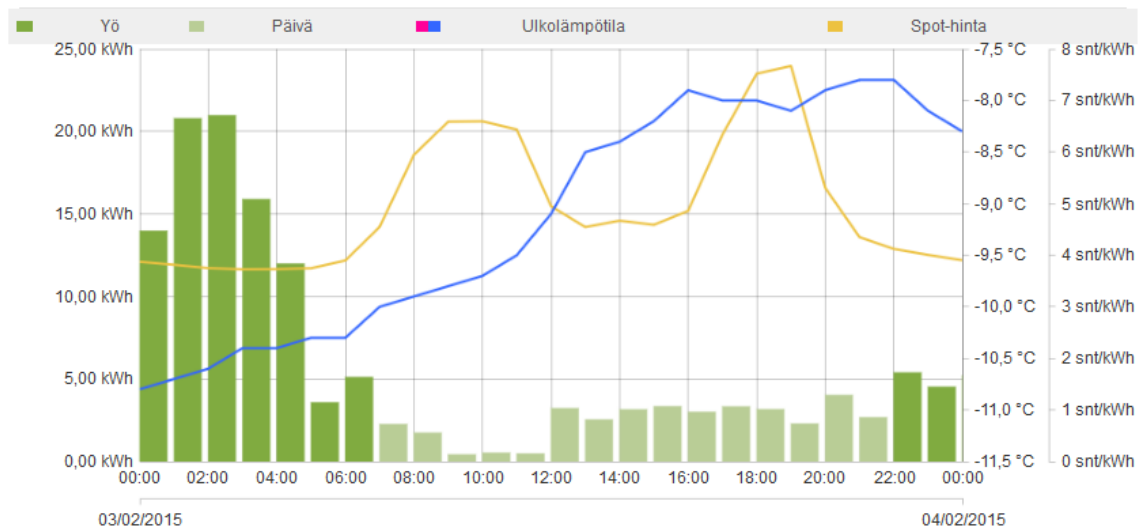
Seuraavat kaksi kuvaa ovat kuvaruutukaappauksia Clebox-palvelusta. Molemmat kuvat ovat todellisesta tilanteesta. Tilanteet on pyritty valitsemaan siten, että ne ulkolämpötilojen puolesta vastaavat mahdollisimman paljon toisiaan.

Kuvassa 2 näkyy, kuinka perinteinen, ei-älykäs, sähkölämmitys jättää hyödyntämättä halvimmat tuntisähköhinnat ja kulutus päiväaikaan kalliilla sähköllä on runsasta.



KUVA 2. Kulutusprofiili, ei älykästä ohjausta (5)

Kuvassa 3 puolestaan ohjataan sähkönkäyttöä Cleboxilla. Tuntisähkön halvimmat hinnat on pystytty hyödyntämään, ja päivällä sähkönkulutus on ollut aika maltillista, varsinkin spot-hinnan (keltainen viiva) ollessa korkeimmillaan.



KUVA 3. Kulutusprofiili, sähkön käyttöä ohjataan Cleboxilla (5)

Clebox-palvelun avulla kuluttajan on siis vaivatonta ja helppoa vaikuttaa sähköenergian kulutukseen. Clebox-palvelu ei takaa säästön syntymistä, vaan kuluttaja on lopulta kuitenkin itse niistä vastuussa.

Laitteen keskeisinä elementteinä ovat Raspberry Pi ja piirikortti (nimeltään RePe) josta on liitännät ohjattaviin laitteisiin, kanavat sekä liitännät lämpötilantureille, jotka toimivat 1-Wire-väylällä. Raspberry Pi huolehtii myös kommunikoinnista ulospäin joko Ethernet-kaapelin välityksellä tai USB-modeemin eli mokennan kautta.

Laitte on tällä hetkellä pilotointiasteella ja se on käytössä noin viidelläkymmenellä käyttäjällä pääasiassa Oulun seudulla, Kainuussa ja Kuopiossa.

### **1.3 Tuotannotestausohjelmisto Cleboxille**

Tähän asti laitteet on rakennettu yksi kerrallaan käsityönä. RePe eli piirilevy on tilaustavaraa ja tulee valmiina alihankkijalta. Muuten kaikki osat kootaan yrityksen omissa tiloissa valmiiksi tuotteeksi. Seuraavana tavoitteena yrityksellä on tehdä suurempi erä tuotteita. Jotta tämä olisi mahdollista taloudellisesti sekä aikataulullisesti, täytyy tuotantolinjalle tehdä automaattinen testausjärjestelmä.

Startupeille tärkeitä asioita testiympäristön kehityksessä ovat nopea testin kehitys ja mahdollisimman pienet ohjelmisto- ja laitekustannukset. Tavoitteena on saada mahdollisimman pienillä resursseilla mahdollisimman paljon tarpeita tyydyttävä lopputulos. Resursseja ei yleensä ole liikaa käytössä ja vanhan viisauden mukaan kaiken piti olla valmiina jo eilen. Ohjelmiston ei tarvitse olla mahdollisimman yleiskäyttöinen, vaan juuri tähän tarkoitukseen tehty ja vain tähän käyttöön soveltuva ratkaisu on tarkoituksenmukaisin.

Opinnäytetyöni tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa tuotannotestausohjelmisto Cleworks Oy:n kehittämälle ja valmistamalle Clebox-laitteelle.

Opinnäytetyössä keskitytään RePe-kortin testaamiseen. Varsinaiset laitteen funktionaaliset testit tehdään erikseen. Työ sisältää seuraavien testien suunnittelun ja toteutuksen:

- laitteen ohjauksien (kanavat) automaattiset testit

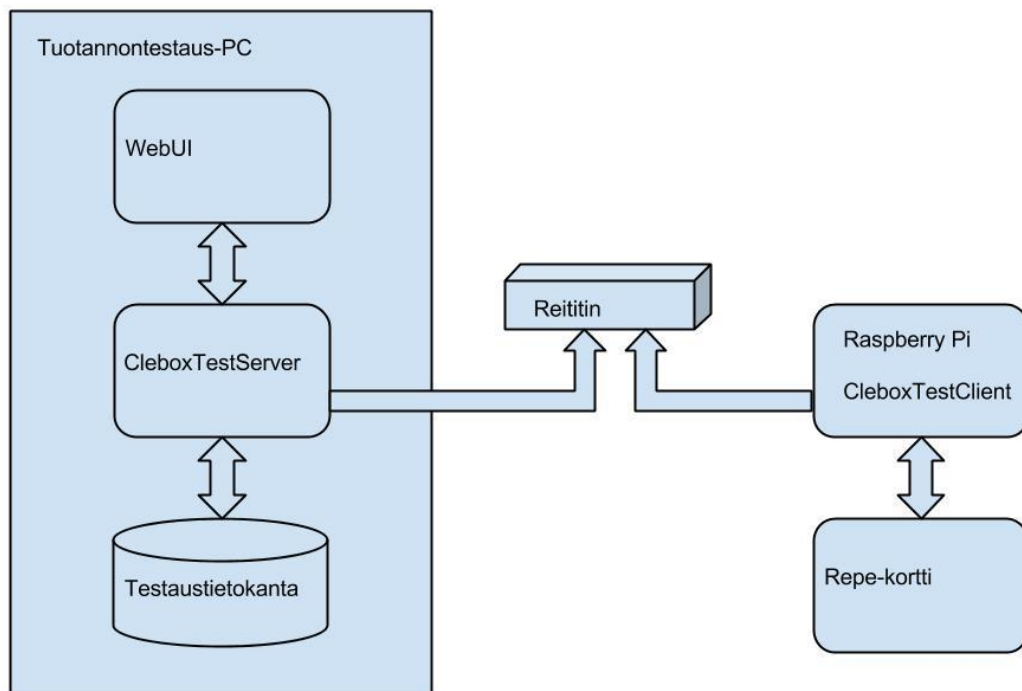
- 1-Wire-väylän automaattiset testit
- jännitemittaukset mittauspisteistä
- RePe-piirikortilla olevien ledien testit
- RePe-piirikortille liitettävän kytkimen (kotona/pois) testit.

Lisäksi työssä selvitetään ja toteutetaan tuotantotestitietokannan luominen ja testitulosten talletus tietokantaan.

## 2 TUOTANNONTESTAUSOHJELMISTON ARKKITEHTUURI

Cleboxin ytimenä toimii Raspberry Pi, jota RePe-kortin testauksessa ei testata, vaan se toimii RePe-kortin ja sen toimintojen testauksessa apuna. Tuotannon-testausjärjestelmään kuuluu lisäksi PC ja Ethernet-verkkoa varten reititin. Lisäksi RePen testauksessa tarvitaan kanavien testausta varten releyksikkö.

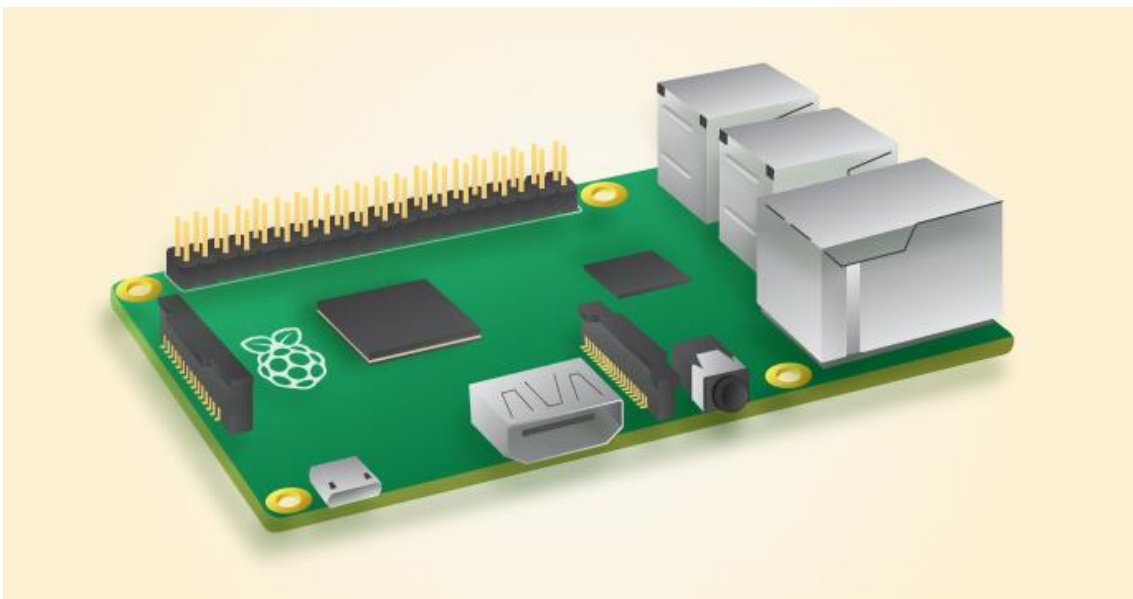
Kuvassa 4 nähdään tuotannon-testausohjelmiston rakenne. Palvelin, Clebox-TestServer, toimii tuotannon-testaus-PC:llä ja ohjelmiston käyttöliittymänä on WebUI, jonka tietojen päivittämisestä palvelin huolehtii. Asiakas (client) eli CleboxTestClient toimii Raspberry Pi:ssä ja suorittaa testejä sekä raportoi testien suorituksen etenemisestä palvelimelle, joka päivittää tiedot WebUI:lle. Palvelin tallettaa testitulokset testaustietokantaan.



KUVA 4. Järjestelmän toimintakaavio

## 2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi on brittiläisen Raspberry Pi Foundationin kehittämä halpa, luottokortin kokoinen tietokone, jossa on liitännät muun muassa monitorille, näppäimistöille sekä hiirelle (6). Koon lisäksi laitteen suurin ero perinteiseen tietokoneeseen on sen 40 yleiskäyttöistä tulo- ja lähtöliitäntää (GPIO). Raspberry Pi 2 Model B julkaistiin helmikuussa 2015. Sen prosessorina toimii ARM Cortex-A7. Uusi prosessori mahdollistaa ARM GNU/Linux -jakeluiden sekä myös Windows 10:n asentamisen. (7.)



*KUVA 5. Raspberry Pi 2 Model B (7)*

Raspberry Pi kehitettiin alun perin halvaksi ja pieneksi tietokoneeksi lähinnä ohjelmoinnin opetteluun, mutta sen laajat käyttömahdollisuudet ovat tehneet siitä monen ohjelmointi-, elektroniikka- ja tietokoneharrastelijan ykkösvaihtoehdon kaikenlaisien projektien ytimenä. Laite ei ole pelkästään harrastelijoiden käytössä, vaan sen ominaisuudet ja kilpailukykyinen hinta ovat saaneet monet yritykset käyttämään sitä ammattimaisissa sovelluksissa. Alla on listattuna Raspberry Pin erilaisia käyttökohteita. Nämä eivät liity työhön suoraan vaan ovat vain esimerkkinä laitteen moninaisista mahdollisuuksista. (8.)

- Olohuoneen medialaite.

- VPN-palvelin - VPN-palvelimella voi muun muassa suojata oman liikenteen käytettäessä suojattomia verkkoja.
- Sähköposti-palvelin.
- Bitcoin - vähävirtainen louhintakone.
- Älypuhelin.
- VoIP-palvelin.
- FM-radiolähetin.

## **2.2 Reititin**

Reititin yhdistää tuotannontestaus-PC:n ja Raspberry Pin yhteiseen Ethernet-verkkoon. Reitittimen vaatimuksista tärkeimpänä on mahdollisuus konfiguroida se toimimaan testiympäristössä vaaditulla tavalla.

## **2.3 Tuotannontestaus-PC**

Tietokoneena toimii tällä hetkellä Lenovon kannettava PC, johon on asennettu Kubuntu versio 15.04. Kubuntu on eräs GNU/Linux-käyttöjärjestelmän jakelupaketti. Se on Ubuntu-käyttöjärjestelmän rinnakkaisversio, jossa oletustyöpöytäympäristö on KDE. Se on saatavilla x86- ja AMD64-suoritinarkkitehtuureille. Kubuntussa, kuten Ubuntussakin, tavoitteena on helppokäyttöisyys ja laaja tuki erilaisille laitteistoille. (9.)

## **2.4 Java-ohjelmointikieli**

Laitteen asiakasversion ohjelmisto sekä Cleboxin käyttöliittymä ja palvelinohjelmisto on toteutettu Javalla. Java-tuki löytyy Raspberry Pistä valmiina. Lisäksi Raspberry Pin Javalle löytyy hyvin dokumentoitu I/O API ja kirjastot GPIO:n ohjaamiseen, The Pi4J Project. (10.) Testausohjelmiston toteuttaminen Javalla tuntuikin hyvältä vaihtoehdolta heti alusta alkaen. Samalla mahdollisesti pystyttäisiin hyödyntämään ja uudelleenkäyttämään jo olemassa olevaa koodikantaa.

### **2.4.1 Spring Framework**

Spring Framework on avoimeen lähdekoodiin perustuva sovelluskehys Java-sovelluksille. Se pyrkii helpottamaan sovelluskehitystä tarjoamalla apuvälineitä niin käyttöliittymän kuin liiketoiminta- ja tietovarastokerroksen toteuttamiseen. (11.)

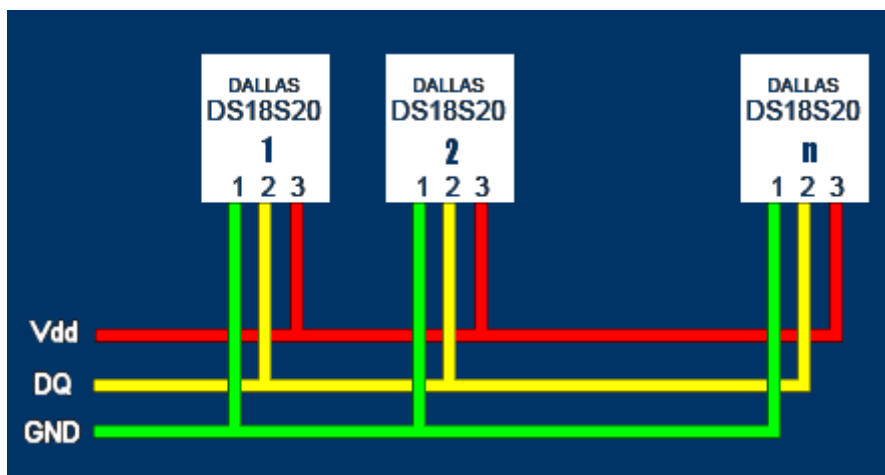
Clebox-palvelun käyttöliittymä ja palvelinpuoli on toteutettu käyttäen Spring Frameworkiä. Olikin luontevaa käyttää tuotannontestausohjelmistolle samaa sovelluskehystä.

### **2.4.2 Spring Tool Suite**

Ohjelmointiympäristöksi valittiin Spring Tool Suite, joka on Eclipse-pohjainen ohjelmointiympäristö. Spring Tool Suite auttaa rakentamaan yksinkertaisia, toiselle alustalle siirrettäviä, nopeita ja joustavia JVM-pohjaisia järjestelmiä ja sovelluksia. (12.)

## **2.5 1-Wire-väylä**

Laitteen lämpötila-anturit toimivat 1-Wire-väylällä. 1-Wire on Dallas Semiconductor Corporationin kehittämä väyläratkaisu, joka nimestään huolimatta tarvitsee toimiakseen vähintään kaksi johdinta, maan ja datajohtimen. 1-Wire-laite saa tarvittaessa käyttöjännitteensä isännän eli yleensä tietokoneen lähettämän signaalin mukana. (13.) Clebox käyttää kuitenkin lisäksi kolmatta johdinta jännitteen syöttöön, joten lämpötila-anturin kytkentä on kuvan 7 mukainen. Raspberry Pille löytyy valmiina laiteajurit 1-Wire-väylälle.



KUVA 7. Tyypillinen 1-Wire-väylä, jossa monta lämpötilasensoria (14)

## 2.6 Apache Tomcat -sovelluspalvelin

CleboxTestServerin suorittaminen vaatii erillisen sovelluspalvelimen asentamisen tuotantotesti-PC:lle. Apache Tomcat valittiin käyttöön, koska se on tunnetusti luotettava avoimen lähdekoodin HTTP-yhteensopiva Web-sovelluspalvelin, joka tarjoaa sovelluskehittäjille tuen muun muassa Java Servlet- ja Java Server pages-sovellusten tekemiseen. (15.)

## 2.7 Testaustietokanta

Testaustulosten tallettamiseen tuotannontestaus-PC:lle tarvitaan tietokanta. Koska kaikki muutkin ohjelmistokomponentit ja työkalut ovat perustuneet avoimen lähdekoodin projekteihin ja tuotteisiin, niin sama linja on hyvä säilyttää myös tietokantamoottoria valittaessa.

PostgreSQL on SQL-kieltä tukeva avoimen lähdekoodin tietokantamoottori. Sitä on kehitetty jo 1980-luvulta lähtien. Se on tehokas ja toteuttaa monia tietokantastandardeja monilla palvelinalustoilla. Tietokannan kokoa ei ole rajoitettu, ja taulun kokoa voidaan kasvattaa 32 teratavuun asti. Se on saatavissa binääripaketina ja lähdekoodeina FreeBSD:lle, Linuxille, Mac OS X:lle, Solarikselle ja Windowsille. (16.)

## 2.8 Käyttöliittymä

Testausohjelmiston käyttöliittymänä toimii Web UI, jonka saa avattua selaimella. Käyttöliittymän toteutuksessa on tarkoitus käyttää HTML5-merkintäkieltä ja tarvittaessa Thymeleafiä sekä JavaScriptiä. Thymeleaf on Java-kirjasto ja se on myös XML/XHTML/HTML5 mallimoottori (template engine), joka tukee Spring MVC:tä. (17.) Thymeleafin avulla palvelimelta käyttöliittymälle tulevan tiedon päivittäminen on helppoa. Thymeleaf voidaan upottaa HTML:n sekaan kuvassa 6. näkyvällä tavalla. Vihreänä näkyvät osat ovat Thymeleafiä.

```
1 <table>
2 <thead>
3 <tr>
4 <th th:text="#{msgs.headers.name}">Name</th>
5 <th th:text="#{msgs.headers.price}">Price</th>
6 </tr>
7 </thead>
8 <tbody>
9 <tr th:each="prod : ${allProducts}">
10 <td th:text="${prod.name}">Oranges</td>
11 <td th:text="${#numbers.formatDecimal(prod.price,1,2)}">0.99</td>
12 </tr>
13 </tbody>
14 </table>
```

KUVA 8. Esimerkki Thymeleafin käytöstä (17)

## 3 TUOTANTOTESTIT

Tuotannotestausohjelmiston kantavana ideana, alusta asti, oli automatisoida testejä mahdollisimman paljon. Testit on toteutettu siten, että testien tulokseksi tulee joko hyväksytty tai hylätty.

### 3.1 Kanavaohjaukset

Kanavaohjauksien testeihin tehtiin erillinen releyksikkö, jossa jokaiselle kanavalle on oma rele, jota ohjataan. Osalle releistä testaus toteutettiin niin, että releen toisella puolella on 1-Wire-lämpötila-anturi ja toisella puolella liityntä RePen 1-Wire-liitäntään, joka on yhteydessä Raspberry Pin 1-Wire-liitäntään. Osalle testeistä taas tehtiin koekytkentä, jossa vastusketjun toiseen päähän tuotiin jännite ja vastuksien väliltä kytkettiin releen ohjaamana mittapisteeseen. Tarkoituksena oli mitata jännite ja varmistua jännitteen mittaustuloksen muutoksen avulla releen toiminta ja jännitteen oikeellisuus.

Yhteistä molemmille testeille on, että niiden avulla selvitetään, onko kanavaohjaus kunnossa. Vikatilanteiden yleisimpiä syitä ovat oikosulut ja juottamatta jääneet kohdat, jotka tällä testillä saadaan selville.

#### 3.1.1 Lämpötila-antureiden avulla tehtävät kanavaohjaustestit

1-Wire-lämpötila-antureiden testeissä kytketään yksi anturi kerrallaan releen avulla 1-Wire-liitäntään ja käydään lukemassa anturin yksilöllinen ID-tunnus. Samalla luetaan myös kaikkien muiden väylältä löytyvien antureiden ID-tunnukset. Tässä vaiheessa niitä ei pitäisi löytyä, jos löytyy, seurauksena testi keskeytetään ja raportoidaan virhe. Ainoastaan kytkettyjen antureiden ID-tunnukset tulee löytyä.

Kun kaikki lämpötila-anturit on käyty yksitellen läpi, on ID-tunnuksista saatu kerättyä lista. Lopuksi tehdään vielä testi, jossa kaikki anturit kytketään väylälle yhtä aikaa ja luetaan jokaisen löytyvän anturin ID-tunnus. Tätä listaa verrataan ensimmäisessä vaiheessa saatuun listaan ja jos ne ovat yhteneväiset, niin testi on hyväksytty.

### **3.1.2 Jännitemittausten avulla tehtävät kanavaohjaustestit**

Jännitemittauksille tehtiin koekytkentä, jonka avulla tehtävissä kanavatesteissä ohjataan yksi kanava päälle ja mitataan jännitelukema (jännitteen jakoon perustuvan) vastusketjun avulla. Jos lukema on hyväksytyissä rajoissa, kytketään ensimmäisen kanavan lisäksi toinen kanava päälle. Jännite mitataan nyt jänniteketjun kahden vastuksen yli. Tätä jatketaan kaikkien jännitemittaustavalla testattavien kanavien kanssa. Kuten edellisessä testissä, virhe tai onnistuminen raportoidaan.

### **3.2 1-Wire-väylä ja lämpötila-anturit**

Edellisessä testissä luettiin jo lämpötila-antureita ja saatiin varmuus myös 1-Wire-väylän toimivuudesta. Tämän testin tarkoituksena on testata RePe-kortilla kiinteästi sijaitsevan lämpötila-anturin toimivuus. Se tapahtuu yksinkertaisesti lukemalla anturin yksilöllinen ID-tunnus ja lämpötila-arvo.

Tästä testistä on hyötyä myös, jos edellisessä kanavatestissä on havaittu virhe. Esimerkiksi, jos 1-Wire-väylä toimii ja kanavatestit eivät ole toimineet odotetulla tavalla, voidaan olettaa, että mahdollinen vika on kanavien ohjauksessa.

### **3.3 Jännitemittaukset**

Erillisiä jännitemittauksia ei kanavatestien lisäksi tässä vaiheessa tuotannontestausohjelmistoon lisätty. Jatkosuunnitelmia tuotannontestausohjelmiston laajentamiseen on, mutta niistä lisää yhteenvedossa.

### **3.4 LED-testit**

RePe-kortilla sijaitsee kaksi lediä. Niiden testaus yhdistettiin kotona/pois-kytkimen testaukseen. Kun kotona/pois-kytkintä painetaan, ledit syttyvät vuorotellen sekunnin ajaksi, välissä sekunnin tauko. Ledien toiminta tarkastetaan visuaalisesti, ja kun kumpikin valo on vuorollaan palanut, kuittaa testiä operoiva henkilö testin toimivuuden manuaalisesti Käyttöliittymältä löytyvän painonapin avulla.

Testin automatisointi ei olisi kylläkään vaikea toteuttaa. Siihen yksinkertaisimmillaan riittäisi valotransistori kummallekin ledille ja niiden avulla päätettäisiin toimivuus.

### **3.5 Kotona/pois-kytkin**

Kotona/pois-kytkimen testaus on yhdistetty ledien testauksen kanssa. Testien yhdistäminen on hyvä idea, mutta nyt testin epäonnistuessa ei heti tiedetä mikä osan komponenteissa tai liitännöissä vika oikeasti on.

## 4 SUUNNITTELUTYÖN KULKU

Opinnäytetyön alussa moni valituista teknologioista ei ollut entuudestaan tuttua. Työ alkoi intensiivisellä opetteluajalla, jossa tuli perehdyttyä Java-ohjelmoinnin saloihin, Linuxin toimintaan kuin myös Raspberry Pin sielunelämään.

Aluksi sovittiin, että lähdetään tekemään yksinkertaista prototyyppisovellusta, jolla Clebox lähettää palvelimelle sarjanumeronsa ja lämpötila-anturin tiedon. Palvelin lähettää vastauksen, joka ohjaa muutaman ohjauskanavan päälle. Näiden lisäksi sovittiin tehtäväksi myös yksinkertainen Web UI, jossa näkyy Cleboxin tiedot. Tämä toimisi hyvänä harjoitteluna, jolla tarvittavat tekniikat tulisivat heti alkuun tutuksi ihan käytännössä. Prototyyppisovelluksen rinnalla alkoi samaan aikaan myös tuotannontestiympäristön suunnittelu ja toteutus.

### 4.1 Testiympäristön rakentaminen

Testiympäristön muodostavat PC, reititin ja Raspberry Pi, johon testattava RePe-kortti liitetään. Kaikkiin testiympäristön osiin tarvitsi asentaa jotain tai tehdä konfigurointeja, jotta ne saatiin toimimaan yhdessä.

#### 4.1.1 Reitittimen konfigurointi

Palvelinkone ja Raspberry Pi saatiin samaan verkkoon reitittimen avulla. Reititin on konfiguroitu siten, että se antaa PC:lle aina saman IP-osoitteen, 192.168.1.12. Reititin päättelee PC:n MAC-osoitteen perusteella. Tällä halutaan varmistaa, että Raspberry Pi saa muodostettua joka kerta yhteyden palvelimelle, joka sijaitsee aina tietyssä IP-osoitteessa.

#### 4.1.2 Raspberry Pin käyttöönotto

Testien alustana käytettyyn Raspberry Pihin tuli myös asentaa käyttöjärjestelmä. Käyttöjärjestelmän asentaminen tapahtui käyttämällä apuna NOOBS-asennusohjelmistoa. Käyttöjärjestelmäksi valikoitui Raspbian.

Seuraavaksi Raspberry Pille täytyi ladata 1-wire-laiteajurit. Tämä onnistui helposti Linuxin modprobe-komennolla:

```
sudo modprobe w1-gpio
```

```
sudo modprobe w1-therm
```

Lisäksi /boot/config.txt-tiedostoon tuli lisätä seuraava rivi, jonka avulla käyttöjärjestelmä tietää 1-Wire-väylän olevan käytössä.

```
dtoverlay=w1-gpio
```

Raspberry Pin GPIO:n tulo- ja lähtötietojen lukemiseen ja kirjoittamiseen käytetään avuksi pi4j-kirjastoa. Sen asentaminen sujui helposti yhdellä komennolla.

```
curl -s get.pi4j.com | sudo bash
```

#### **4.1.3 Tuotannotestaus-PC:n asentaminen ja konfigurointi**

Tuotannotestaus-PC:n toimintakuntoon saattaminen alkoi Kubuntun asentamisella. Kubuntun versio on 15.04, joka oli asentamishetkellä uusin. Sovelluspalvelimeksi valittiin Apache Tomcat 8. Sen asentaminen ja toimintaan saattaminen olivat aika yksinkertaisia, varsinkin hyvien ohjeiden avulla.

Palvelinohjelmiston asentamisen jälkeen vuorossa oli varsinaisen Clebox-TestServer-sovelluksen käynnistäminen. Palvelinsovellus talletetaan Eclipse-ohjelmointiympäristössä war-päätteiseksi tiedostoksi. Sen jälkeen avataan palvelinkoneelta selaimella localhost:8080-osoitteesta löytyvä Web Application Manager. Managerointi-sovelluksesta valitaan CleboxTestServer.war ja käynnistetään se deploy-komennolla. Nyt tuotantopalvelin on käynnissä ja Raspberry Pillä oleva CleboxTestClient saa siihen tarvittaessa yhteyden ja pystyy lähettämään tietojaan. Palvelin-sovellus käynnistyy aina automaattisesti, kun PC käynnistetään.

#### **4.2 Asiakas/Palvelin-toiminnallisuus**

Ohjelmiston perustoiminta tapahtuu seuraavalla tavalla. Raspberry Pillä oleva Asiakas lähettää Palvelimelle tiedon 1-Wire-väylällä olevista lämpötila-

antureista, niiden sarjanumeron ja lämpötilatiedon. Tuotannontestaus-PC:llä oleva palvelin vastaanottaa viestin ja lähettää vastausviestin asiakkaalle. Vastausviesti sisältää tietoa testien käynnistämiseksi ja niiden avulla asiakas pystyy aloittamaan halutun testin suorittamisen.

Palvelimen tehtävänä on myös vastaanottaa tietoa käyttöliittymältä, esimerkiksi testien aloittaminen, keskeytys tai testitulosten nollaaminen. Sen tehtävänä on myös pitää kirjaa testien suorittamisesta, onko testi mennyt läpi vai onko testitulokset hylätty. Kun kaikki testit on suoritettu, talletetaan lopullinen testitulos vielä testitietokantaan. Tietokantaan talletetaan laitteen sarjanumero, testien aloitus- ja lopetusaika ja testitulos.

Raspberry Pillä sijaitseva asiakassovellus käynnistyy automaattisesti, kun laite on käynnistynyt. Tämä on mahdollista toteuttaa Linuxin crontab-toiminnallisuudella. Sillä on mahdollista ajastaa sovellusten ajoa. Tässä tapauksessa crontabilla ohjataan jokaisen uudelleenkäynnistyksen jälkeen suoritettavaksi cleboxtestclient.jar, joka on siis asiakas. Crontab-toiminnallisuuden saa käyttöön editoimalla crontab-tiedostoa, *sudo crontab -e*. Tiedostoon lisätään seuraava rivi:

```
@reboot java -debug -jar /home/pi/cleboxtestclient.jar
```

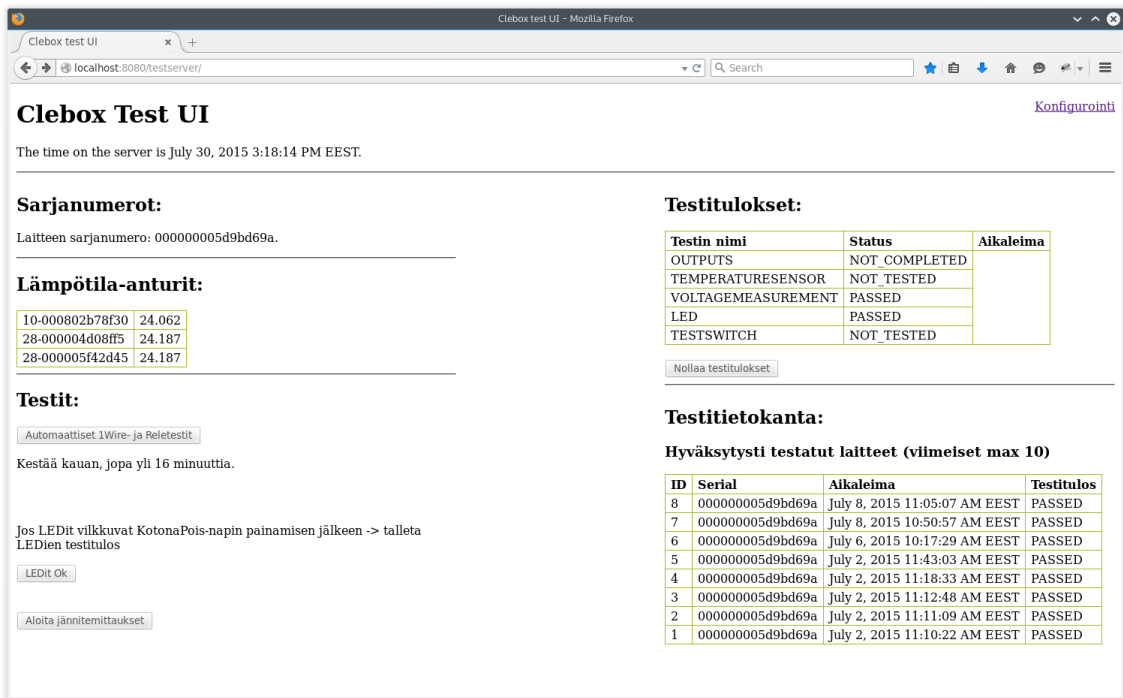
Palvelin käynnistyy myös automaattisesti Tuotannontestaus-PC:n käynnistyessä.

Ohjelmistoon on myös lisätty toiminnallisuus, jolla voidaan nopeasti varmistaa, että asiakas ja palvelin ovat molemmat käynnissä, ne ovat samassa verkossa ja viestien välitys niiden välillä toimii ongelmitta. Kun asiakas käynnistyy, se sytyttää RePe-kortilla olevat kaksi lediä. Kun palvelin on saanut ensimmäisen, lämpötila-antureiden tilan sisältävän viestin, se lähettää asiakkaalle paluuviestin. Viesti sisältää tiedon, jolla RePe-kortilla olevat ledit sammutetaan. Testaaja näkee siis Raspberry Pin käynnistyessä, että ledit syttyvät, jolloin asiakas on kunnossa. Kun ne noin sekunnin päästä sammuvat, niin myös palvelimen oletetaan olevan toimintakunnossa.

## 4.3 Käyttöliittymä

Käyttöliittymänä toimii Web UI. Kuten kuvassa 9 näkyy, käyttöliittymän saa avatua selaimella osoitteesta localhost:8080/CleboxTestServer. Käyttöliittymä sisältää

- testattavan kortin sarjanumeron (RePe-kortilla olevan lämpötila-anturin ID-tunnus)
- lämpötila-antureiden sarjanumeron ja lämpötilan mittaustiedon
- testien käynnistykseen tarvittavat painonapit
- testitulokset ja niiden nollaamisen mahdollistavan painonapin
- testaustietokannan kymmenen viimeisintä testitulosta, niiden juoksevan ID-numeron, laitteen sarjanumeron ja aikaleiman.



**Clebox Test UI** [Konfigurointi](#)

The time on the server is July 30, 2015 3:18:14 PM EEST.

**Sarjanumerot:**  
Laitteen sarjanumero: 00000005d9bd69a.

**Lämpötila-anturit:**

10-000802b78f30	24.062
28-000004d08ff5	24.187
28-000005f42d45	24.187

**Testit:**  
  
Kestää kauan, jopa yli 16 minuuttia.

Jos LEDit vilkkuvat KotonaPois-napin painamisen jälkeen -> talleta LEDien testitulos

**Testitulokset:**

Testin nimi	Status	Aikaleima
OUTPUTS	NOT_COMPLETED	
TEMPERATURESENSOR	NOT_TESTED	
VOLTAGEMEASUREMENT	PASSED	
LED	PASSED	
TESTSWITCH	NOT_TESTED	

**Testitietokanta:**  
**Hyväksytysti testatut laitteet (viimeiset max 10)**

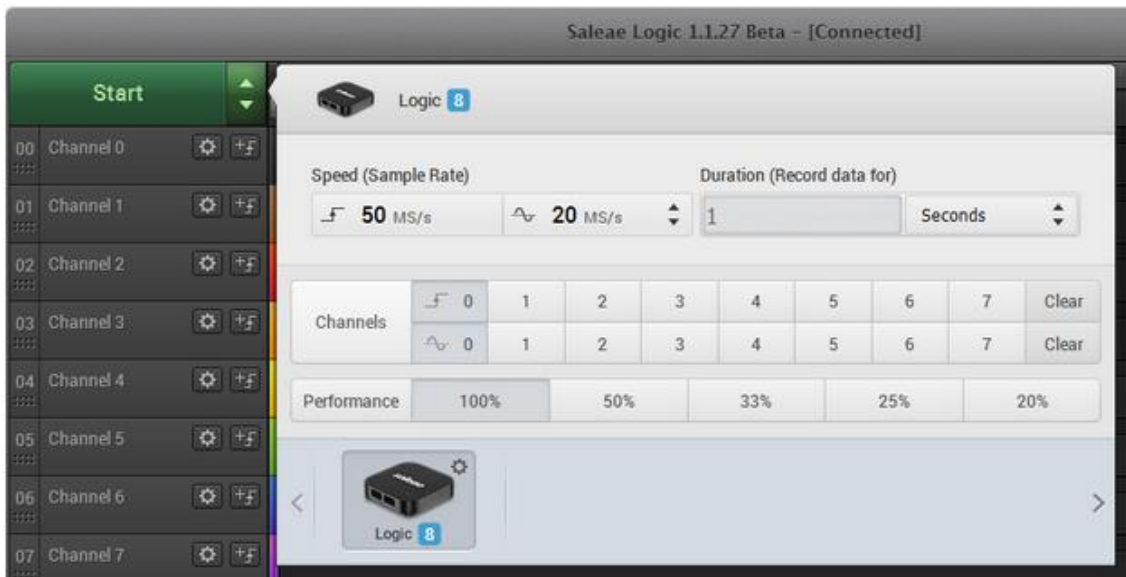
ID	Serial	Aikaleima	Testitulos
8	000000005d9bd69a	July 8, 2015 11:05:07 AM EEST	PASSED
7	000000005d9bd69a	July 8, 2015 10:50:57 AM EEST	PASSED
6	000000005d9bd69a	July 6, 2015 10:17:29 AM EEST	PASSED
5	000000005d9bd69a	July 2, 2015 11:43:03 AM EEST	PASSED
4	000000005d9bd69a	July 2, 2015 11:18:33 AM EEST	PASSED
3	000000005d9bd69a	July 2, 2015 11:12:48 AM EEST	PASSED
2	000000005d9bd69a	July 2, 2015 11:11:09 AM EEST	PASSED
1	000000005d9bd69a	July 2, 2015 11:10:22 AM EEST	PASSED

KUVA 9. Selaimella avattu käyttöliittymä

## 4.4 Jännitemittaukset

Jännitemittausta tarvittiin kanavaohjaustesteissä, vastuksien yli vaikuttavan jännitteen mittaamiseksi. Jännitemittaus oli tarkoitus toteuttaa Saleaen valmistamalla logiikka-analysointilaitteella, jolla on mahdollista suorittaa perinteisen logiikka-

analysaattorin toimintojen lisäksi myös analogiamittauksia. Kuvassa 10 näkyy, kuinka Saleaeen Logic-sovelluksessa on Channels-kohdassa valittavissa mitauskanavan asetus joko digitaal- tai analogiamittaukselle.



*KUVA 10. Kuvaruutukaappaus Saleae Logic -logiikka-analysaattorisovelluksen asetuksista.*

Saleae tarjoaa ohjelmointirajapinnan, Scripting Socket API, jonka avulla logiikka-analysaattoria voidaan ohjata sovelluksesta käsin ja sen sisäisiin toimintoihin pääsee käsiksi (18).

Jännitemittausten toteuttaminen jäi kuitenkin kesken. Käytössä olleesta versiosta puuttui, jostain selviämättömästä syystä, juurikin tuo tärkeä analogiamittausvalinta.

Jännitemittausten toiminnot on kuitenkin implementoitu, niin pitkälle kuin se on mahdollista. Tarvittavat funktiot ovat olemassa ja ne on testattu käyttäen satunnaislukugeneraattorin muodostamia, oikeita mitaustuloksia simuloivia jännitearvoja. Testit on helppo saada toimimaan oikeiden jännitemittaustulosten avulla. Testiympäristöön tarvitsee vain lisätä laite, jonka avulla jännitemittaukset voidaan toteuttaa ohjelmallisesti. Tällaisia voisi olla esimerkiksi helpoimmillaan ja halvimmillaan jokin hyvän ohjelmointirajapinnan tarjoava USB:hen liitettävä

yleismittari tai hintahaitarin toisesta päästä löytyvä GPIB-väylään liitettävä yleismittari, joka siis vaatisi lisäksi GPIB-kortin tuotannon testaus-PC:hen.

#### 4.5 Testitulosten siirtäminen tietokantaan

Testitietokannan tietokantamoottoriksi valittiin PostgreSQL. Sen asentaminen oli suoraviivainen toimenpide. Tietokannan luominen ja tarvittavien asetusten teko sen sijaan vaati hieman enemmän perehtymistä.

Tietokannan luominen tapahtui seuraavalla tavalla. Ensin täytyi kirjautua postgres käyttäjänä.

```
sudo - su postgres.
```

Tämän jälkeen käynnistetään postgres

```
psql.
```

Luodaan tietokanta ja käyttäjä sekä annetaan käyttöoikeudet.

```
postgres=# create database testcleserver;
```

```
postgres=# create user testcleserver with password 'testcleserver';
```

```
postgres=# grant all on DATABASE testcleserver to testcleserver;
```

Nyt tietokanta on käytettävissä.

## 4.6 Kehityskohteita

Työn tekemisen aikana tuli mieleen myös joitakin jatkokehitysideoita. Osa kehitysideoista tuli työn teettäjältä ja osa valkeni itselle työn tekemisen edetessä. Alle listattuja kehitysideoita ei sisällytetty työhön, koska aikataulu oli jo muutenkin tiukka ja opinnäytetyö olisi laajentunut monilta osin turhan suureksi kokonaisuudeksi.

- Tulisi tarkemmin miettiä, mitä tietoja tuotantotesti-tietokantaan halutaan tallettaa. Nykyisellään sinne talletetaan ID-numero (joka laitteelle oma juoksevalla numeroinnilla), sarjanumero, aikaleima ja testitulos.
- Testien konfiguroinnin toteutus. Nykyisessä toteutuksessa käyttöliittymältä voidaan avata konfigurointi-ikkuna, mutta siellä ei ole vielä toiminnallisuutta. Tulisi selvittää, mitä olisi tarvetta konfiguroida.
- Testattavan piirilevyn ollessa oikeasti viallinen tulisi viasta ottaa ylös enemmän tietoa sekä näyttää tieto testaajalle. Kaikki mahdollinen tieto testien suorittamisen ajalta olisi hyvä olla saatavilla vianhakua varten.
- Testien suorittaminen loppuu nykyisessä toteutuksessa heti, kun vika havaitaan. Tämän voisi muuttaa toimimaan siten, että vikatilanteessa testejä ei lopeteta kesken vaan suoritetaan ne loppuun, jos se vain on mahdollista. Vikatilanteessa testausraporttiin koostettaisiin tiedot kaikista vioista, jolloin ne voitaisiin korjata kaikki yhdellä kertaa.
- Testausohjelmiston omien vikatilanteiden käsittely ja hallinta ovat vielä aika prototyyppiasteella, eli poikkeustilanteiden käsittelyä ei ole vielä riittävästi, jos kohta ollenkaan.
- Käyttöliittymälle tulisi saada näkyville enemmän tietoa ajettavana olevasta testistä. Jotkin testit kestävät pitkäänkin, joten tällöin olisi hyvä näyttää testiä operoivalle henkilölle, että testit ovat etenemässä eikä mikään ole keskeytyksissä.

- Jännitemittauksille voitaisiin tehdä opetteluvaihe, jossa saataisiin selville jännitteen normaali vaihteluväli, minimistä maksimiin.
- Nykyisessä toteutuksessa Raspberry Pi saa käyttöjännitteen RePe-kortin kautta. Tämä tarkoittaa, että joka kerta kun testattavaksi otetaan uusi RePe-kortti, on Raspberry Pi käynnistettävä uudelleen. Testejä olisi mahdollista nopeuttaa huomattavasti, jos testattavan kortin voisi vaihtaa ilman Raspberry Pin uudelleenkäynnistystä.

## 5 LOPPUSANAT

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli kehittää tuotannontestausjärjestelmä Cleworks Oy:n suunnitteleman ja valmistaman Clebox-laitteelle. Työssä keskityttiin tuotannontestausohjelmiston kehittämiseen ja sen vaatimien laitteiden yhteensovittamiseen.

Ensimmäiseksi työssä selvitettiin, mitä halutaan testata ja miten testit tulisi toteuttaa. Seuraavaksi päätettiin, mitä ohjelmointikieltä ja -ympäristöä tulisi käyttää. Java oli luonteva valinta, sillä se oli jo käytössä testattavan tuotteen kehityksessä. Kun tarvittavat ohjelmointirajapinnat, -kirjastot sekä testauksen vaatimat fyysiset laitteet olivat tiedossa, oli aika tutustua niiden toimintaan ja saada aikaiseksi ensimmäinen prototyyppi. Tutustuminen tapahtui pääasiassa lukemalla kirjallisuutta, tutustumalla internetistä löytyvään aineistoon sekä kollegojen asiantuntevalla avustuksella.

Työn tavoitteet toteutuivat hyvin. Ainoastaan jännitemittauksien kanssa oli ongelmia, joita ei toimivien mittalaitteiden puuttumisen vuoksi saatu työn aikataulun puitteissa täysin testattua. Alun perin oli tavoitteena testata RePe-piirikortin tiettyä versiota, mutta projektin aikataulumuutosten takia päätettiin keskittyä tekemään testit työn aikana saatavilla olleelle versiolle. Työn tuloksena syntyi tuotannontestausohjelmisto, jossa on toteutettuna kaikki vaaditut toiminnallisuudet.

Työssä käytetyt teknologiat olivat erityisen mielenkiintoisia ja monelta osin todella ajankohtaisia. Java-ohjelmointi ei ollut entuudestaan kovinkaan tuttua, mutta aikaisempi olio-ohjelmointikokemus auttoi pääsemään nopeasti sisään. Linux-maailmasta oli jonkin verran kokemusta, mutta työn aikana tuli opittua siitakin paljon uutta.

Työn kohteena oleva Clebox-laite palveluineen on mielenkiintoinen. Laitteen käyttömahdollisuudet nykyiselläänkin ovat todella monipuoliset. Raspberry Pin tarjoamien mahdollisuuksien avulla niitä voi tulevaisuudessa tulla vielä roppakaupalla lisää. Cleboxin uudet versiot tulevat tarvitsemaan tuotannontestausohjelmiston ja -järjestelmän jatkokehittelyä uusien ominaisuuksien ja toiminnalli-

suuksien testaamiseksi. Opinnäytetyöni toimii toivottavasti myös hyvin oppaana tuotannontestausohjelmiston jatkokehittelylle.

## LÄHTEET

1. Piipponen, Ilkka. 2014. Asiantuntijapalvelut. Saatavissa: [http://www.oamk.fi/hankkeet/bioologia/docs/materiaalit/Pekka\\_Kotila-Cleworks.pdf](http://www.oamk.fi/hankkeet/bioologia/docs/materiaalit/Pekka_Kotila-Cleworks.pdf). Hakupäivä 12.8.2015.
2. Spot-hinnat. 2015. Oulun Energia. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoa-kotiin/sahkon-hinta/spot-hinnat>. Hakupäivä 31.8.2015.
3. Käytössä olevat lämpöpumput. 2015. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/Lämpöpumpputilasto2014.pdf>. Hakupäivä 7.10.2015.
4. Kolvanki, Jouni. Toimitusjohtaja, Cleworks Oy. Clebox-palvelun esittely palaverissa 4.5.2015.
5. Kolvanki, Jouni 2015. VS: Kuvia kulutusprofiilista. Sähköpostiviesti. Vastaaottaja: Heikki Alajuuma, Pentti Palo. 16.9.2015.
6. What is a Raspberry Pi?. 2015. Raspberry Pi Foundation. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>. Hakupäivä 14.8.2015.
7. Raspberry Pi 2 Model. 2015. Raspberry Pi Foundation. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>. Hakupäivä 14.8.2015.
8. Raspberry Pi. 2015. Linux.fi-wiki. Saatavissa: [http://www.linux.fi/wiki/Raspberry\\_Pi](http://www.linux.fi/wiki/Raspberry_Pi). Hakupäivä 25.8.2015.
9. Kubuntu. 2015. Wikipedia, vapaa tietosanakirja. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kubuntu>. Hakupäivä 25.8.2015.
10. Connecting Java to the Raspberry Pi. 2015. The Pi4J Project Saatavissa: <http://www.pi4j.com>. Hakupäivä 27.8.2015.

11. Spring Framework. 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Spring\\_Framework](https://en.wikipedia.org/wiki/Spring_Framework). Hakupäivä 28.8.2015.
12. Spring Tool Suite. 2015. Pivotal Software. Saatavissa: <https://spring.io/>. Hakupäivä 28.8.2015.
13. 1-Wire. 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/1-Wire>. Hakupäivä 4.10.2015.
14. Introduction to 1-Wire networks. 2015. Jon00. Saatavissa: <http://www.jon00.me.uk/onewireintro.shtml>. Hakupäivä 28.8.2015.
15. Apache Tomcat. 2015. The Apache Software Foundation. Saatavissa: <http://tomcat.apache.org/>. Hakupäivä 28.8.2015.
16. PostgreSQL. 2015. Linux.fi-wiki. Saatavissa: <http://www.linux.fi/wiki/PostgreSQL>. Hakupäivä 29.8.2015.
17. Thymeleaf. 2015. The Thymeleaf Team. Saatavissa: <http://www.thymeleaf.org/>. Hakupäivä 29.8.2015.
18. Using the SDK. Scripting Socket API. 2015. Saleae Inc. Saatavissa: <http://blog.saleae.com/using-the-sdk/>. Hakupäivä 14.9.2015.

