SÄHKÖN PÖRSSIHINTOJEN VISUALISOINTI SÄHKÖNKÄYTÖN SUUNNITTELUN APUNA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tietotekniikan kandidaatintyö

2024

Severi Salonen

Tarkastaja: Apulaisprofessori Antti Knutas

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Tietotekniikan koulutusohjelma

Severi Salonen

SÄHKÖN PÖRSSIHINTOJEN VISUALISOINTI SÄHKÖNKÄYTÖN SUUNNITTELUN APUNA

Koulutusohjelmasi ja tutkielmasi: Tietotekniikan kandidaatintyö 2024

33 sivua, 8 kuvaa, 3 taulukkoa

Tarkastaja: Apulaisprofessori Antti Knutas, Tkt

Avainsanat: Datan visualisointi, Käyttöliittymäsuunnittelu, Sähkön pörssihinnat

Sähkön pörssihintojen visualisointi on keskeisessä roolissa sähkönkäytön suunnittelussa. Se auttaa kuluttajia optimoimaan kustannuksia sekä tekemään päätöksiä hintadatan perusteella. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin millaiset sähkön pörssihintojen visualisoinnin sekä käyttöliittymäsuunnittelun keinot toimivat sähkön pörssihinnan käyttöliittymässä energiaostopäätösten parantamiseksi.

Työssä kehitettiin käyttöliittymäartefakti käyttäen Research Through Design (RtD) - menetelmää. Suunnittelu- ja toteutusprosessi dokumentointiin ja valmiin käyttöliittymäartefaktin käytettävyyttä sekä datan visualisointia arvioitiin heuristisen arviointi menetelmän avulla, keskittyen käytettävyyteen ja datan visualisoinnin ymmärryttävyyteen.

Tutkimustulokset osoittivat, että sähkön pörssihintojen visualisointi tukee tehokkaasti kuluttajia havainnollistamaan hintavaihteluita sekä suunnittelemaan paremmin sähkön käyttöä. Työssä kehitetyn käyttöliittymäartefakti keräsi positiivista palautetta sen käytettävyydestä ja hintadatan visualisoinnin selkeydestä. Tuloksista kuitenkin huomattiin myös selkeitä kehityskohteita, jotka tarjoavat hyvän pohjan jatkotutkimukselle. Tämän tutkimuksen perusteella oikeat valinnat datan visualisoinnissa ja käyttöliittymän suunnittelussa sähkön pörssihintojen käyttöliittymässä auttaa edistämään sähkönkäytön suunnittelua.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Degree Program in Software Engineering

Severi Salonen

VISUALIZATION OF ELECTRICITY STOCK PRICES IN SUPPORT OF ELECTRICITY USAGE PLANNING

Bachelor's thesis

2024

33 pages, 8 figures, 3 tables

Examiners: Associate professor Antti Knutas, D.Sc

Keywords: Data visualization, User interface design, Electricity stock prices

The visualization of electricity stock prices plays a key role in support of electricity usage planning. It helps consumers optimize costs and make decisions based on price data. This study examined which visualization and user interface design methods are effective in improving decision-making through an electricity market price interface.

A user interface artifact was developed using the Research Through Design (RtD) methodology. The design and implementation process were documented, and the usability and comprehensibility of the data visualization in the final artifact were evaluated using heuristic evaluation methods.

The results indicate that the visualization of electricity market prices effectively helps consumers understand price fluctuations and better plan their electricity usage. The developed user interface artifact received positive feedback for its usability and the clarity of its price data visualization. However, the findings also revealed specific areas for improvement, providing a solid foundation for further research. Based on this study, well-designed data visualization and user interface solutions for electricity market price interfaces can significantly enhance electricity usage planning.

LYHENNELUETTELO

API	Application programming interface (Sovellusrajapinta)
CSS	Cascading Style Sheets
RtD	Research Through Design (Tutkimus suunnittelun kautta)
REST	Representational State Transfer
HCI	Human computer interaction (Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus)
HTML	Hypertext Markup Language (Hypertekstin merkintäkieli)
HTTP	Hypertext Transform Protocol (Hypertekstin siirtoprotokolla)
JSON	JavaScript Object Notation
XML	Extensible Markup Language (Laajennettava merkintäkieli)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1 Johdanto ... 7
1.1 Tavoitteet ja rajaukset ... 7
1.2 Työn rakenne ... 8
2 Kirjallisuuskatsaus ... 9
2.1 Sähkön pörssihinnan ja kulutusjouston merkitys sähkönkäytön suunnittelussa ... 9
2.2 Datan visualisointi sähkönkäytön suunnittelussa ... 10
2.3 Käyttöliittymäsuunnittelun ja käytettävyyden vaikutukset sähkönkäytön suunnittelussa 12
3 Tutkimusmenetelmä ... 15
3.1 Research Through Design -menetelmä ... 15
3.2 Heuristinen arviointi ... 16
3.2.1 Heuristiikat ... 17
4 Artefaktin toteutus ... 20
4.1 Käyttöliittymän suunnittelu ja vaatimusmäärittely ... 20
4.2 Toteutuksessa käytettävät työkalut ... 24
4.3 Sähkön pörssihinnan data ja API-rajapinta ... 25
4.3.1 Datan visualisointi ... 29
5 Tulokset ... 31
5.1 Artefaktin esittely ... 31
5.2 Käyttöliittymän käytettävyyden arviointi ... 33
7 Johtopäätökset ... 37
Lähteet ... 39

Kuvaluettelo

Kuva 1: Sähkön pörssihinnan muodostuminen kysyntä- ja tarjouskäyrien leikkauspisteessä.

Kuva 2: Foggin käyttäytymismalli

Kuva 3: Heuristisen arvioinnin laatumalli

Kuva 4: Vesiputousmalli kehitysprosessin vaiheista

Kuva 5: UML-sekvenssikaavio

Kuva 6: GET API -kutsu

Kuva 7: ENTSO-E palvelimelta vastaanotettu XML-data

Kuva 8: Työssä toteutettu artefakti sähkön pörssihinnan käyttöliittymästä

Taulukkoluettelo

Taulukko 1: Työssä toteutettavan heuristisen arvioinnin heuristiikat

Taulukko 2: Verkkopohjaisen sähkön pörssihinnan seurannan käyttöliittymän vaatimusmäärittely.

Taulukko 3: Heuristisen arvioinnin tulokset

1 Johdanto

Energiakriisi ja Suomen kylmät talvipakkaset ovat nostaneet sähkölämmityksen kustannukset otsikoihin. Sähkön tuntikohtainen hinta on vaihdellut ennätyskorkeista ennätysalhaisiin hintoihin, mikä on aiheuttanut paljon keskustelua pörssisähkön käytön suunnittelusta. (Nieminen, 2024) (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2024) Pörssisähkön tuntikohtaisen hintavaihtelun korkea volatiliteetti vaikuttaa merkittävästi kuluttajan sähkönkäytön suunnitteluun. Tämän tyylistä hintojen muutokseen perustuvaa sähkönkäyttöä kutsutaan kulutusjoustoksi. Suomessa sähkön pörssihintoja pystyy seuraamaan erilaisten käyttöliittymien avulla, joissa avoin tuntikohtainen hintadata on visualisoitu kuluttajille luettavaan muotoon. Näiden sovellusten sekä käyttöliittymien tarkoitus on lisätä kuluttajan tietoisuutta sähkön hinnan vaihtelusta ja sitä kautta luoda kiinnostusta sähkön suunnittelun avuksi (Fingrid, 2024a). Erilaisia sähkön pörssihinnan seurantaan tarkoitettuja visualisointeja sekä käyttöliittymiä on kehitetty markkinoille nopeaan tahtiin viimeisten vuosien aikana Suomessa (Heleskoski, 2023). Nykyiset visualisoinnit ja käyttöliittymät eivät kuitenkaan aina tarjoa riittävää ymmärrettävyyttä tai tarpeeksi tehokasta käyttökokemusta kuluttajalle. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, kuinka sähköpörssin tuntikohtaisia hintoja voidaan visualisoida ymmärrettävämmin, tehokkaammin sekä paremmalla käyttökokemuksella verkkokäyttöliittymässä sähkönkäytön suunnittelun apuna.

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan verkkokäyttöliittymän käytettävyyden sekä sähkön pörssihintojen visualisoinnin vaikutusta energiaostopäätösten parantamiseksi. Työn tavoitteena on tunnistaa keskeisimmät datan visualisoinnin ja käyttöliittymäsuunnittelun menetelmät, jotka edistävät pörssisähkön kuluttajien energiakulutuksen optimointia. Työssä toteutetaan artefakti eli käytännön ratkaisu sähkön pörssihintojen verkkopohjaisesta käyttöliittymästä, joka noudattaa työssä laadittua vaatimusmäärittelyä. Käyttöliittymäartefaktin toteutus dokumentoidaan vaiheittain suunnitteluprosessin seurannan helpottamiseksi. Työssä ei ole tarkoitus selvittää parhaita mahdollisia työkaluja verkkokäyttöliittymän toteuttamiseen, vaan käyttöliittymä toteutetaan yleisimmillä web-ohjelmoinnin työkaluilla.

Työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Miten sähkön pörssihintojen käyttöliittymän käytettävyyttä voidaan parantaa?
2. Millaiset visualisoinnit ovat tehokkaimpia sähköpörssin hintadatan esittämisessä?

Tutkimusmenetelmänä tässä kandidaatintyössä hyödynnetään Research Through Design -menetelmää, jonka avulla mahdollistetaan edellä mainittuihin tutkimuskysymyksiin vastaaminen. Research Through Design -tutkimusmenetelmässä tutkimus tehdään suunnittelemalla ja toteuttamalla artefakti sähkön pörssihinnan verkkokäyttöliittymästä. Lopuksi artefaktista toteutetaan käytettävyysarviointi, jossa tarkastellaan lopullisen työssä toteutetun verkkokäyttöliittymän käytettävyyttä heuristista arviointia apua käyttäen.

1.2 Työn rakenne

Tämä kandidaatintyö koostuu yhteensä seitsemästä luvusta. Ensimmäinen luku on johdantoosio, joka antaa lyhyen kuvauksen aiheesta sekä motiiveista tutkimukselle. Luvussa esitellään myös työn tutkimuskysymykset sekä työssä käytetty tutkimusmenetelmä. Johdannon jälkeen perehdytään tarkemmin taustatietoon aiheesta, sekä esitetään tuloksia aikaisemmista aiheeseen liittyvistä tutkimuksista. Kolmannessa luvussa esitellään työn menetelmäkuvaus, jonka lisäksi laaditaan käyttöliittymälle vaatimusmäärittely sekä käytettävyyden arvioinnissa esiintyvät kysymykset. Neljännessä luvussa esitellään tulokset eli artefakti käyttöliittymästä ja käytettävyysarvion tulokset. Tämän jälkeen keskustellaan tuloksista ja vastataan työn alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Työn viimeisessä luvussa käsitellään työn vaikutusta tuleville jatkotutkimuksille, sekä tehdään yhteenveto tehdystä tutkimuksesta.

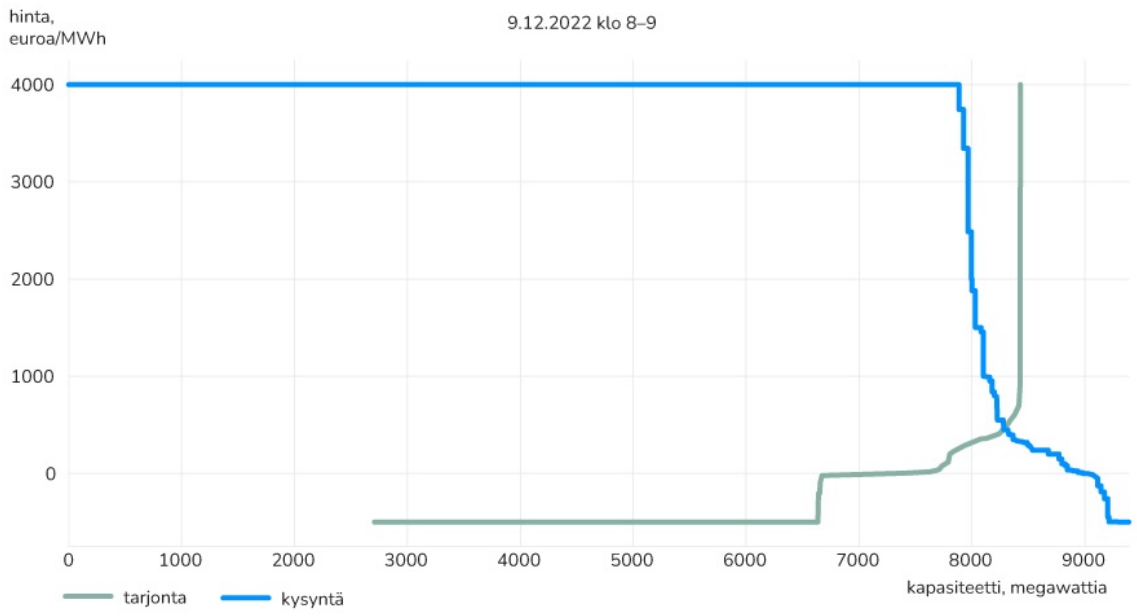
2 Kirjallisuuskatsaus

Tämä luku sisältää teoreettisen viitekehyksen sekä katsauksen aikaisempien tutkimuksen tuloksista, työhön oleellisesti liittyvistä aiheista. Ensiksi selvitetään kulutusjouston ja spot-hinnan merkityksen perusidea sähkönkäytön suunnittelussa. Tämän jälkeen esitellään datan visualisoinnin keskeisiä piirteitä sähkönkulutuksen optimoinnissa sekä erilaisia käyttöliittymäsuunnittelun ja käytettävyyden lähestymistapoja energiahinnan käyttöliittymissä.

Aikaisempien tutkimustuloksien ja analyysin perusteella, pyritään hahmottamaan myös perusajatus siitä, millaiset visualisointimenetelmät sekä käyttöliittymäsuunnittelun lähestymistavat olisivat teorian puolesta sopivimpia sähkön pörssihinnan kuvantamiseen verkkopohjaisessa käyttöliittymässä.

2.1 Sähkön pörssihinnan ja kulutusjouston merkitys sähkönkäytön suunnittelussa

Sähkön pörssihinnan vaihtelua ja kulutusjouston merkitystä sähkönkäytön suunnittelussa on tutkittu laajasti (Albadi and El-Saadany, 2008) (Muratori, Schuelke-Leech and Rizzoni, 2014). Suomen hinta-alueella sähkön pörssihinta (spot-hinta) määräytyy Nord Pool sähköpörssissä kysynnän ja tarjonnan perusteella. Hinta muodostuu marginaalihinnoitteluun pohjautuen kysyntä- ja tarjouskäyrien leikkauspisteessä. Leikkauspiste määräytyy kysyntäkäyrän halvimman tarjouksen ja tarjontakäyrän kalleimman tarjouksen kohtaus pisteessä (kuva 1). Nord Pool julkaisee päivittäin sähkön tuntihinnan Suomessa. (Fingrid, 2024b.)



Kuva 1. Sähkön pörssihinnan muodostuminen kysyntä- ja tarjouskäyrien leikkauspisteessä.

Kulutusjoustolla tarkoitetaan sähkön pörssihintojen vaihteluun perustuvaa sähkön kulutuksen optimointia. Kulutusjouston avulla kuluttaja voi hyötyä siirtämällä omaa sähkönkulutustaan korkeiden tuntihintojen sijasta ajankohdille, jolloin sähkön pörssihinta on alhaisempi. Tämä mahdollistaa kustannustehokkaampaa sähkönkäyttöä ja johtaa merkittäviin säästöihin sähkölaskussa. (Fingrid, 2024c.) Albadi ja El-Saadanyn esitettämän tutkimuksen tulosten perusteella, sähkön kulutusjousto muuttaa käyttäjien normaalia kulutuskäyttäytymistä perustuen sähkön tuntihintojen muutoksiin.

2.2 Datan visualisointi sähkönkäytön suunnittelussa

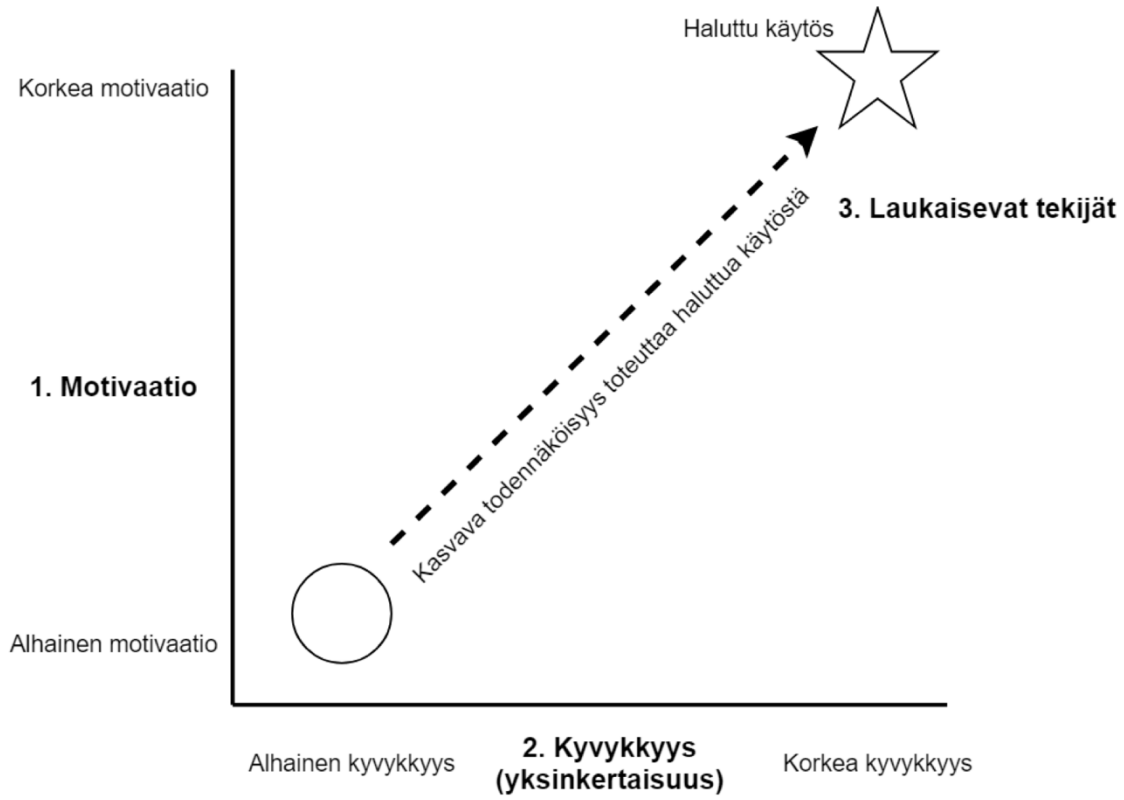
Datan visualisoinnilla tarkoitetaan joukkoa menetelmiä tietojen esittämiseksi graafisesti ymmärrettävällä ja suoraviivaisella tavalla. Visualisoinnit hyödyntävät erilaisia tekniikoita ja suunnitteluperiaatteita, jotka ohjaavat käyttäjiä helposti omaksumaan, ymmärtämään ja tekemään päätöksiä tietojen perusteella (Sinar, 2015). Visualisointi on myös enemmän kuin pelkkä tietokonegrafiikka ja se kattaakin näkökulmia useista eri tieteenaloista kuten ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksesta sekä havaintopsykologiasta (Ward, Grinstein and Keim, 2011).

Aikaisemmat tutkimukset osoittavat datan visualisoinnin merkityksen tärkeyttä sähkönkäytön suunnittelussa. Aikaisempien tutkimusten tärkein havainto on, että ihmisten tekemät johtopäätökset riippuvat pitkälti siitä, millaisella tavalla tieto on heille visualisoitu. Tiedon ymmärtäminen ja päätöksien tekeminen ovat voimakkaasti sidoksissa esitystapaan eli visualisointiin sekä käyttöliittymäsuunnitteluun (Murugesan, Hoda and Salcic, 2015) (Herrmann *et al.*, 2018). Tutkimuksessa (Rist and Masoodian, 2019) esiintyvän kyselyn tavoitteena oli tunnistaa visualisoinnin roolit sovelluksessa, joka on suunniteltu tukemaan ihmisten käyttäytymisen muutosta energiakulutuksen tehostamiseksi. Tutkimuksessa tarkasteltiin keskeisimpiä energiansäästö tavoitteita Foggin käyttäytymismallin mukaan. Malli jakautuu kolmeen päätekijään (kuva 2). Päätekijät ovat seuraavat:

Motivaatio; Tavoitteena vahvistaa käyttäjien halua käyttää ja säästää energiaa tehokkaammin ja pitää heidät motivoituneena kestävästä kehityksestä.

Laukaiseva tekijä; Tunnistaa tilanteet, joissa käyttäjän tulisi toteuttaa toimenpiteitä energian tehokkaan käytön edistämiseksi.

Kyky; Tarjota käyttäjille toiminnallisesti hyödyllisiä palveluita ja teknisiä alustoja, jotka tekevät energiansäästötoimenpiteiden suorittamisesta mahdollisimman vaivatonta.



Kuva 2. Foggin käyttäytymismalli

Tutkimuksen mukaan nämä tekijät ovat täytyttävä, missä tahansa visualisointityökalussa, joka pyrkii edistämään ja tukemaan käyttäytymisen muutosta energian optimoinnissa.

Aikaisempi tutkimus osoittaa datan visualisoinnin merkityksen tärkeyttä sähkönkäytön suunnittelussa sähkönkulutuksen näkökulmasta. Kuitenkaan aikaisempaa tutkimusta datan visualisoinnin merkityksestä pörssihintoihin perustuvan kulutusjouston näkökulmasta ei ole esitetty. Sähkönkulutuksen visualisoinnin positiiviset vaikutukset korreloivat kuitenkin oletettavasti sähkön hintadatan visualisoinnin vaikutuksiin.

2.3 Käyttöliittymäsuunnittelun ja käytettävyyden vaikutukset sähkönkäytön suunnittelussa

Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus (HCI) on monipuolinen käsite, joka tutkii sitä, miten ihmiset ovat vuorovaikutuksessa tietokonejärjestelmien kanssa. Sen piiriin kuuluvat käsitteet käyttöliittymäsuunnittelu sekä käytettävyys, jotka ovat keskeisiä osa-alueita ihmisen ja tietokoneen välisen vuorovaikutuksen suunnittelussa ja toteutuksessa.

Käyttöliittymäsuunnittelulla tarkoitetaan tietokonejärjestelmän osan suunnittelua, jonka kanssa käyttäjä on vuorovaikutuksessa tehtäviensä suorittamiseksi ja tavoitteidensa saavuttamiseksi. Käytettävyys on puolestaan määritelty ISO Standardin 19241–11 mukaan kuvaamaan: ”tarkoituksenmukaisuutta, tehokkuutta ja tyytyväisyyttä, jolla tuotteen määritellyt käyttäjät saavuttavat määritellyt tavoitteet tietyssä käyttöympäristössä”. (Stone *et al.*, 2005)

Useissa tutkimuksissa on käsitelty käyttöliittymäsuunnittelun ja käytettävyyden roolia sähkönkäytön suunnittelussa (Fensel, Kumar and Tomic, 2014) (Xu *et al.*, 2018) (Wilson, Hargreaves and Hauxwell-Baldwin, 2017). Artikkelissa (Xu *et al.*, 2018) esiintyvässä laajassa tutkimuksessa suunniteltiin, toteutettiin ja arvioitiin käyttöliittymää, joka keskittyy pääasiassa energian käytön suunnitteluun ja käyttömukavuuteen. Tutkimuksessa kehitetty käyttöliittymä määriteltiin täyttämään rakennusten käyttöjärjestelmille asetetut yleiset vaatimukset, jotka ovat seuraavat:

Etäkäytettävyys: Käyttöliittymän tulisi olla etäkäytettävä. Tämä tarkoittaa, että käyttöliittymän tulisi tarjota web-pohjainen graafinen käyttöliittymä, joka on riippumaton tietynlaisesta käyttöliittymästä tai käyttöjärjestelmästä. Tämä mahdollistaa käytön mistä tahansa internettiin yhdistetystä laitteesta selaimen kautta.

Reagointikyvykkyys: Käyttöliittymän tulisi olla responsiivinen. Se takaa käyttämisen erikokoisilla mobiililaitteilla sekä yhtenäisen käyttökokemuksen.

Mukautettavuus: Käyttöliittymän tulisi olla mukautettavissa käyttäjän tarpeiden ja mieltymysten mukaan. Se lisää käyttäjän hallinnan tunnetta sekä ottaa huomioon henkilökohtaiset mieltymykset ja erot kokemustasoissa, mikä johtaa korkeampaan käyttäjätyytyväisyyteen

Rooliperusteinen: Käyttöliittymän tulisi tukea erilaisia käyttäjärooleja ja niiden mukaisia käyttöoikeuksia. Roolipohjainen käyttöliittymä parantaa yksityisyyden suojaa ja käyttäjien hyväksyntää.

Joustavuus: Käyttöliittymän arkkitehtuuri on suunniteltava riittävän kevyesti taustalla olevaan rakennuksen käyttöjärjestelmään. Tämä mahdollistaa riittävän joustavuuden, mikä puolestaan tekee käyttöliittymästä sopivan erilaisiin kotitalousrakennuksiin.

Kattavuus: Käyttöliittymän tulisi kattaa laajoja älykodin kontekstiin liittyviä käyttötapauksia. Mitä monipuolisemmin käyttöliittymä pystyy tukemaan erilaisia toimintoja, sitä parempi se on.

Tutkimuksessa (Fensel ym. 2014) pyrittiin puolestaan tunnistamaan käyttöliittymien käytettävyysongelmia älykotien energian säästösovelluksissa ja antamaan ehdotuksia niiden parantamiseksi. Tutkimuksen mukaan käyttöliittymien monimutkaisuus aiheutti haasteita erityisesti silloin, kun käyttäjien tuli suorittaa monimutkaisia tehtäviä. Yleinen johtopäätös oli, että käyttöliittymät tulisi pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja jakaa monimutkaiset tehtävät useisiin yksinkertaisiin osatehtäviin. Yksinkertaisten ja intuitiiviset käyttöliittymät parantavat käyttäjien käyttäjäkokemusta sekä helpottaa tehtävien suorittamista.

Aikaisempi tutkimus osoittaa käyttöliittymäsuunnittelun ja käytettävyyden olevan merkittävässä roolissa sähkönkäytön suunnittelussa erilaisissa käyttöliittymissä. Aikaisempaa tutkimusta siitä, mitkä käyttöliittymäsuunnittelun keinot vaikuttavat käytettävyyteen sähkön pörssihintojen verkkokäyttöliittymässä ei ole esitetty. Aikaisempien tutkimusten tärkeitä löydöksiä voidaan hyödyntää artefaktin toteutuksessa.

3 Tutkimusmenetelmä

Tämä luku sisältää katsauksen työssä käytettäviin tutkimusmenetelmiin, joita käytetään osana käyttöliittymäartefaktin toteuttamista sekä sen arvioimista. Tässä luvussa esitellään kandidaatintyöhön valittu tutkimusmenetelmä. Ensin tarkastellaan työhön valittua suunnittelun kautta tapahtuvaa tutkimusmenetelmää (Research Through Design, RtD) sekä sen soveltuvuutta tutkimusongelmaan. Tämän jälkeen käsitellään heuristista arviointimenetelmää, joka toimii keskeisenä työkaluna työn aikana kehitetyn lopullisen artefaktin arvioinnissa sekä tutkimuskysymysten vastaamisessa. Tarkoituksena on arvioida, miten työn aikana toteutettu artefakti vastaa tutkimuskysymyksiin ja kuinka sen suunnitteluratkaisut tukevat tutkimuksen tavoitetta.

3.1 Research Through Design -menetelmä

Tässä kandidaatintyössä tutkimusmenetelmänä käytetään suunnittelun kautta tapahtuvaa tutkimusta (Research Through Design, RtD). Laajassa kirjallisuuskatsauksessa (Godin and Zahedi, 2014) selvennetään suunnittelun kautta tapahtuvan tutkimuksen eri osa-alueita. RtD-menetelmässä suunnittelutyötä käytetään tutkimusmenetelmänä, jossa uuden artefaktin luominen itsessään on osa tutkimusprosessia. Tutkimusmenetelmä muistuttaa ulkoisesti tavallista suunnitteluprojektia, mutta sen tavoitteet ovat kuitenkin erilaiset. Tutkimuskysymyksiin vastaaminen sekä oppiminen ovat keskiössä ja erityisen tärkeää on dokumentaatio projektista. RtD-menetelmän tavoitteena ei ole pelkästään artefaktin luominen, vaan ennen kaikkea tiedon ja ymmärtämisen tuottaminen. Tutkimusmenetelmässä ei myöskään pystytä täysin tuottamaan ennustettavuutta siitä millainen lopputulos on. Yhteenvetona RtD-tutkimusmenetelmä ei keskity pelkästään lopputuotteen luomiseen, vaan se korostaa enemmän oppimisprosessia ja tiedon tuottamista sekä dokumentaatiota suunnittelun kautta.

RtD-tutkimusmenetelmän valinta tähän kandidaatintutkielmaan, jossa suunnitellaan ja toteutetaan verkkopohjainen sähkönpörssihinnan seurannan käyttöliittymä, on perusteltu ja tarkoituksenmukainen. Tutkimusmenetelmä tukee käytännönläheistä kehittämisprosessia sekä yhdistää suunnittelun tutkimukseen toteutetun ratkaisun ymmärtämiseksi.

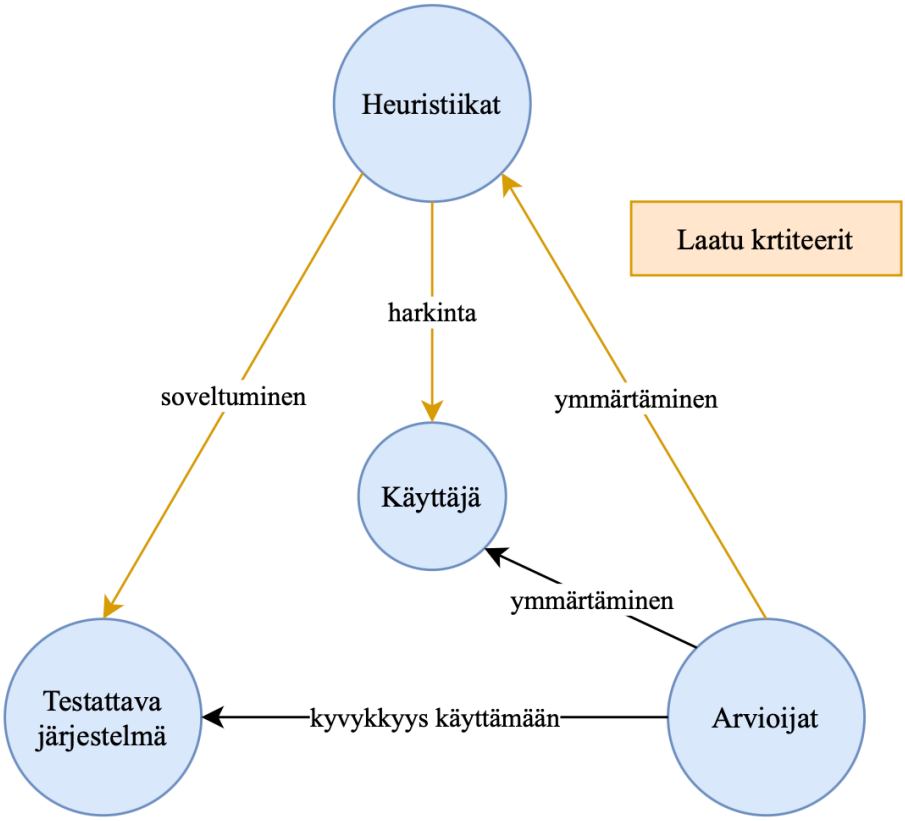
Tutkimusmenetelmä soveltuu myös tilanteisiin, joissa suunnitteluprosessi on iteratiivinen. Käyttöliittymän kehittäminen koostuu useista vaiheista, joten RtD-menetelmä luo mahdollisuuden dokumentoida sekä tutkia yksittäin jokaista vaihetta. Kuten tutkimuksessa (Godin and Zahedi, 2014) todettiin RtD-menetelmä ei keskity vain lopputuotteeseen, vaan oppimisprosessi ja tiedon dokumentointi ovat oleellisimmat aiheet. Tämän tutkielman lopputuote eli artefakti käyttöliittymästä on osa tutkimusprosessia ja sen avulla mahdollistetaan myös tutkimuskysymyksiin vastaaminen käytettävyydestä sekä visuaalisuuden vaikutuksesta. Pääpaino keskittyykin sähkönpörssihinnan käyttöliittymän suunnitteluun, datan visualisoinnin keinoihin, artefaktin toteutuksen dokumentointiin sekä valmiin artefaktin arviointiin.

3.2 Heuristinen arviointi

Tutkimuksessa toteutetaan myös lopputuotteen käytettävyyden arviointi, jotta saadaan tukea esitettyjen tutkimuskysymysten vastaamiseen. Arviointimenetelmänä hyödynnetään heuristista arviointia, jota käytetään arvioimaan työn lopputuotetta eli artefaktia sekä sen kykyä vastata asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Heuristisen arvioinnin avulla voidaan myös tunnistaa kehityskohteita, jotka luovat lisäarvoa mahdolliselle jatkotutkimukselle.

Heuristinen arviointi on laadullinen arviointimenetelmä, jota käytetään usein käyttöliittymien käytettävyyden arvioinnissa. Tässä arviointimenetelmässä toisistaan riippumattomat osallistujat arvioivat järjestelmän käytettävyyttä ennalta määrättyjen heuristiikkojen eli ohjenuorien perusteella. Heuristisen arvioinnin tärkein etu on sen helppous ja nopeus. Se on kustannustehokas, eikä se vaadi paljoa ennakkosuunnittelua. (Nilsen, 2006.) Tutkimuksen mukaan, yksittäinen arvioija ei pysty tunnistamaan kaikkia käytettävyysongelmia ja tulokset voivat olla epäluotettavia. Tulokset paranevat huomattavasti, kun useampi henkilö suorittaa arvioinnin. Kuitenkin tietyn pisteen jälkeen lisäarvioijien lisääminen ei enää huomattavasti paranna tuloksia, jonka vuoksi suositellaan, että arvioinnin suorittaa kolmesta viiteen henkilöä. Tutkimuksessa (Bader, Schön and Thomaschewski, 2017) kehitettiin laatumalli heuristiselle arvioinnille (kuva 3). Heuristisen arvioinnin laatumalli yhdistää arvioijat, käyttäjät, testattavan järjestelmän ja heuristiikat kokonaisuudeksi, joka takaa arvioinnin laadukkuuden. Mallin mukaan heuristiikkojen tulee soveltua testattavan järjestelmän ominaisuuksiin sekä käyttäjäryhmän tarpeisiin. Tämän lisäksi arvioijien ymmärtäminen heuristiikoista,

käyttäjän kyvyistä ja järjestelmän toiminnasta on ratkaisevaa, jotta pystytään takaamaan arvioinnin laadukkuus.



Kuva 3. Heuristisen arvioinnin laatumalli

3.2.1 Heuristiikat

Tutkimukselle oleellisten heuristiikkojen eli ohjenuorten määrittely perustuu tutkimuskysymyksiin ja kontekstiin, jossa sähkönpörssihinnan verkkokäyttöliittymä toimii. Sopivien heuristiikkojen määrittely alkaa tutkimuskysymysten analysoinnista, joissa käytettävyys sekä datan visualisointi sähkön pörssihinnan käyttöliittymässä ovat keskeisiä osa-alueita. Heuristiikkojen valinnassa hyödynnetään olemassa olevia laajalti tunnettuja käytettävyysperiaatteita sovittamalla ne sähkönpörssihinnan verkkokäyttöliittymään. Lisäksi huomioidaan erityisesti datan visualisoinnin tehokkuuteen liittyviä periaatteita. Heuristiikkojen

määrittelyssä on tärkeää tunnistaa myös käyttäjäryhmien tarpeet, jotta käyttöliittymä ja datan visualisointi tukee käyttäjien tarpeita sekä parantaa heidän mahdollisuuksiaan tulkita hinta-dataa käyttöliittymässä mahdollisimman tarkasti ja tehokkaasti.

Nielsenin käytettävyysheurestiikat ovat vakiintunut ja laajalti käytetty menetelmä käyttöliittymien käytettävyyden arvioinnissa (Jimenez, Lozada and Rosas, 2016). Tämän tutkimuksen käytettävyysheurestiikkojen valinnassa on yhdistetty Nielsenin laajalti tunnettuja käytettävyysheurestiikkoja sekä datan esittämiseen ja visualisointiin liittyviä periaatteita. Valittujen heuristiikkojen tavoitteena on tunnistaa sähkönpörssihinnan verkkokäyttöliittymän keskeisiä osa-alueita, käytettävyyttä sekä datan visualisoinnin tehokkuutta. Alla olevassa taulukossa on esitetty työssä käyttävät heuristiikat sekä lyhyt kuvaus heurestiikasta.

Taulukko 1: Työssä toteutettavan heuristisen arvioinnin heuristiikat

#	Heuristiikan nimi	Heuristiikan kuvaus
H1	Järjestelmän tilan näkyvyys	Käyttäjän tulee pystyä helposti näkemään ajantasainen tilanne sähkön pörssihinnoista.
H2	Vastaavuus järjestelmän ja todellisen maailman välillä	Käyttöliittymän tulisi viestiä käyttäjien kielellä ja käyttää standardisoituja sanoja, lauseita ja käsitteitä.
H3	Johdonmukaisuus ja standardit	Käyttöliittymän tulee noudattaa alan standardeja ja olla johdonmukainen kaikissa toiminnoissa, jotta käyttäjät eivät joudu arvaamaan, mitä eri sanat tai toiminnot tarkoittavat.
H4	Tunnistaminen ennemmin kuin muistaminen	Käyttöliittymän tulee minimoida käyttäjän kognitiivista kuormitusta, tekemällä valinnat, toiminnot ja elementit näkyviksi.
H5	Esteettinen ja minimalistinen suunnittelu	Käyttöliittymän ei tulisi sisältää tarpeettomia tietoja tai elementtejä, jotka vievät huomiota oleellisesta sisällöstä.
H6	Datan visualisointien selkeys ja tehokkuus	Datan visualisoinnin tulee olla selkeää, helposti tulkittavaa ja keskittyä korostamaan oleellisia asioita.
H7	Interaktiiviset elementit visualisoinneissa	Visualisointien tulee olla interaktiivisia, jotta käyttäjä voi tarkastella yksityiskohtia.
H8	Löydökset heuristiikkojen H1-H7 ulkopuolelta	

Heuristiikat H1-H7 tukevat tutkimuksen tavoitteita sähkön pörssihintojen käyttöliittymän käytettävyyden kehittämisestä sekä visualisointien tehokkuuden tunnistamisesta. Heuristiikka H8 otettiin käyttöön, ettei arvioinnissa sivuutettaisi olennaisia havaintoja käytettävyydestä.

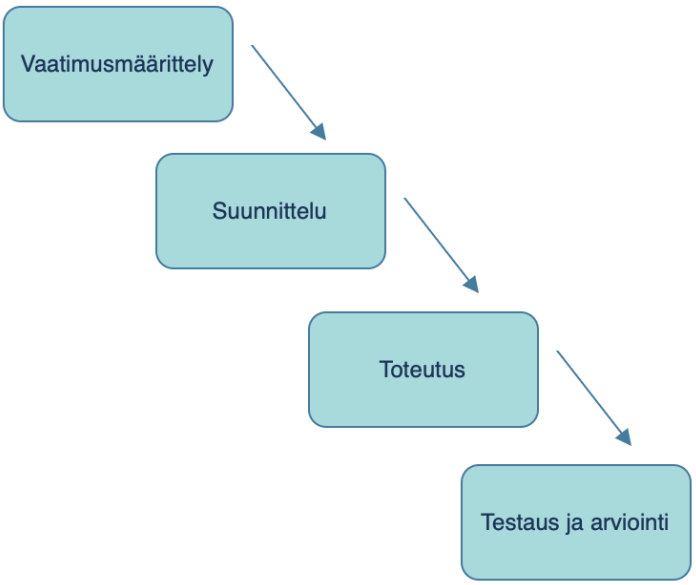
4 Artefaktin toteutus

Tässä luvussa käsitellään verkkopohjaisen käyttöliittymän toteutuksen suunnittelua ja toteutusta. Suunnitteluprosessi sisältää vaiheittaisen tarkastelun sekä dokumentaation verkkopohjaisen käyttöliittymän kehityksestä. Luvussa koodia käsitellään vain toteutuksen kannalta olennaisilta osilta, jotka tukevat käyttöliittymän toteutusta ja auttavat ymmärtämään toiminnan, ilman ylimääräisiä yksityiskohtia. Ensimmäisenä luodaan käyttöliittymälle vaatimusmäärittely, joka toimii pohjana koko kehitystyölle. Vaatimusmäärittelyn jälkeen käyttöliittymän toteutusta suunnitellaan sekä havainnollistetaan UML-mallin avulla. Tämän jälkeen esitellään lyhyesti työkalut, joita käytetään käyttöliittymän toteutuksessa, jonka jälkeen tutkitaan sähkön pörssihintadatan ominaisuuksia toteutuksen kannalta sekä erilaisten datan visualisoinnin rooleja käyttöliittymässä.

4.1 Käyttöliittymän suunnittelu ja vaatimusmäärittely

Sähkönpörssihinnan verkkokäyttöliittymän suunnittelussa keskitytään tarjoamaan selkeä ja käyttäjäystävällinen työkalu pörssisähkön hintadatan seurantaan eri aikavälillä. Sen tarkoituksena on auttaa käyttäjiä sähkönkäytön suunnittelussa. Käyttöliittymän suunnittelussa tehokas järjestelmän toimintasuunnitelma sekä vaatimusten määrittely ovat keskeisessä roolissa ja ne mahdollistavat toimivan järjestelmän toteutukseen.

Käyttöliittymän toimintasuunnitelma aloitetaan laatimalla järjestelmän projektinhallinan kehitysprosessinvaiheet. Kehitysprosessin lähestymistavaksi valittiin vesiputousmalli. Se on ohjelmistokehityksessä paljon käytetty staattinen malli, joka lähestyy järjestelmän kehitystä lineaarisesti ja peräkkäin, yhden toiminnon suorittamiseksi ennen toista. Vesiputousmalli hajottaa projektin pienempiin kokonaisuuksiin, niiden toimintojen perusteella. (Adenowo and Adenowo, 2013.) Artefaktin toteutuksen kehitysprosessin vaiheet ovat kuvattu vesiputousmallin muodossa (kuva 4). Ensiksi järjestelmälle laaditaan vaatimusmäärittely. Tämän jälkeen vaatimusmäärittelyn pohjalta siirrytään suunnittelu vaiheeseen, jossa käyttöliittymä suunnitellaan UML-kaavion avulla. Suunnittelun jälkeen aloitetaan artefaktin toteutus ja lopuksi suoritetaan käyttöliittymän testaus ja arviointi.



Kuva 4. Vesiputousmalli kehitysprosessin vaiheista

Vaatimusmäärittely toimii perustana koko kehitysprosessille, sillä se määrittelee tarkasti järjestelmän tehtävät sekä keskeiset toiminnallisuudet (Nuseibeh and Easterbrook, 2000). Vaatimusmäärittelyprosessin avulla listataan järjestelmän käyttäjävaatimukset, toiminnalliset- ja ei-toiminalliset vaatimukset sekä rajoitteet ja tekniset vaatimukset. Vaatimusmäärittelyprosessi on tarkka ja yksityiskohtainen prosessi, jossa kuvataan selkeästi mitä järjestelmän tulee pitää sisällään sekä millaisia ominaisuuksia käyttöliittymältä vaaditaan, jotta lopputulos on käyttäjäystävällinen ja luotettava. Sähkön pörssihintojen verkkokäyttöliittymän vaatimusmäärittelyssä tunnistettiin keskeisimmät käyttäjävaatimukset, toiminnalliset- ja ei-toiminnalliset vaatimukset sekä rajoitteet ja tekniset tiedot, jotka ovat esitetty taulukossa 2. Vaatimusmäärittely toteutettiin käymällä vaatimukset läpi sähkömarkkinasiantuntijan kanssa. Asiantuntijan avustuksella kerätyt vaatimukset rajattiin kymmeneen tärkeimpään, sillä tavoitteena on luoda yksinkertainen versio käyttöliittymästä. Taulukossa 2 esitetyt vaatimukset sisältävät kuvauksen siitä, mitä kukin vaatimus tarkoittaa sekä miten ne liittyvät järjestelmän toiminnallisuuteen. Vaatimusluokka sisältää kuvauksen mihin vaatimusluokkaan vaatimus kuuluu ja vaatimuksen priorisointi sisältää arvon siitä kuinka kriittinen vaatimus on järjestelmän toteutuksen kannalta.

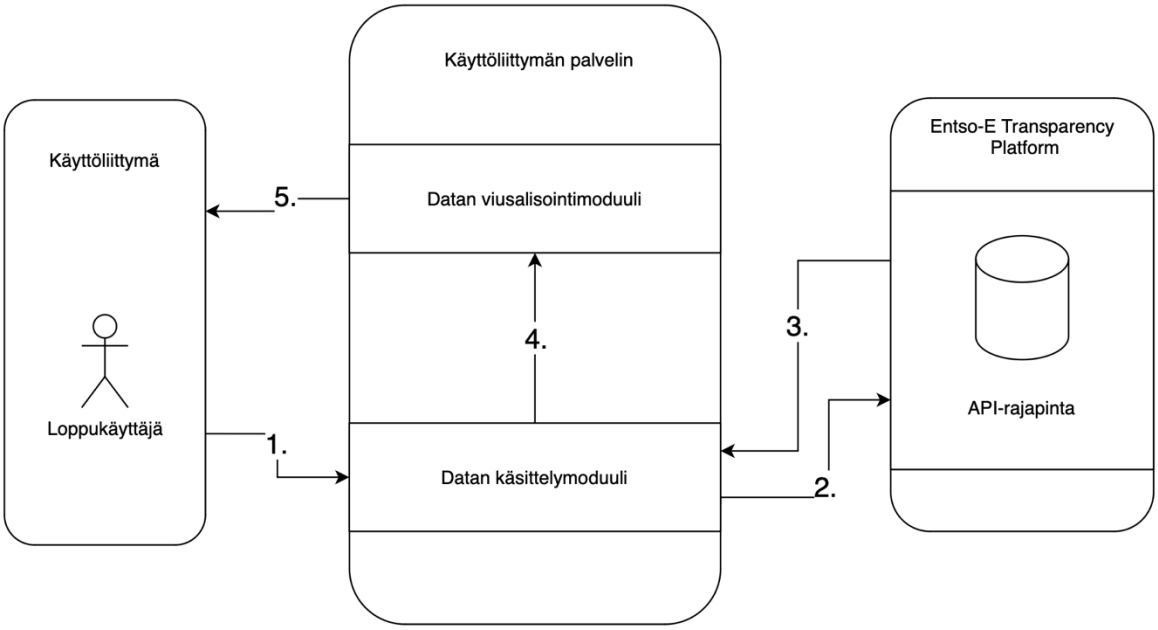
Taulukko 2: Verkkopohjaisen sähkön pörssihinnan seurannan käyttöliittymän vaatimusmäärittely.

ID	Vaatimus	Vaatimuksen kuvaus	Vaatimusluokka	Prioriteetti
1	Reaaliaikainen hinnan näyttö	Käyttäjien täytyy pystyä seuraamaan reaaliaikaisia sähkön pörssihintoja käyttöliittymässä helposti ymmärrettävässä muodossa.	Käyttäjävaatimus	Korkea
2	Intuitiivisuus	Käyttöliittymän tulee olla intuitiivinen sekä helposti omaksuttavissa myös käyttäjille, joilla ei ole syvempää teknistä osaamista.	Käyttäjävaatimus	Korkea
3	Hintadatan monipuolinen vertailu ja tarkastelu	Käyttäjän täytyy pystyä vertailemaan ja tarkastelemaan hintadataa monipuolisesti.	Käyttäjävaatimus	Korkea
4	Nykyisen päivän sekä huomisen päivän hintojen haku	Järjestelmässä on pystyttävä valitsemaan päivä, jolta hintatietoja näytetään	Käyttäjävaatimus	Keskitaso
5	Yksinkertaistettu hintatietojen esitys	Käyttöliittymän on esitettävä päivän keskimääräinen hinta, alhaisin hinta ja korkein hinta ilman tarvetta syvemmälle analyysille.	Toiminnallinen vaatimus	Keskitaso
6	Tiedon visualisointi graafisesti	Käyttöliittymän on esitettävä hintatiedot myös graafisesti.	Toiminnallinen vaatimus	Keskitaso
7	Selkeä aikajanan näyttö	Käyttöliittymän on tarjottava selkeä aikajana sähkön hintojen kehitykseen ja vaihteluun, helposti luettavassa muodossa.	Toiminnallinen vaatimus	Korkea
8	Responsiivisuus	Käyttöliittymän tulee olla responsiivinen ja toimia saumattomasti.	Ei-toiminnallinen vaatimus	Korkea
9	API-integraatio	Järjestelmän integraatio reaaliaikaisen sähkön pörssihinnan API-rajapinnan kanssa on toimittava ja hintatiedot on haettava vähintään päivittäin.	Rajoite- ja tekninen vaatimus	Korkea
10	Nopeus ja tehokkuus	Tiedon lataus ja käsittely on tapahduttava nopeasti, jotta	Rajoite- ja tekninen vaatimus	Keskitaso

		käyttäjät saavat hintadatan ilman merkittävää viivettä.		

Vaatimusmäärittelystä huomataan, että suurin osa käyttöjärjestelmän ominaisuuksista on luokiteltu korkealla tai keskitason prioriteetilla. Käyttöliittymän vaatimuksissa korostuvat erityisesti ne käyttäjävaatimusten ominaisuudet, jotka ovat luokiteltu korkealla prioriteetilla.

UML-sekvenssikaavio tarjoaa visuaalisen lähestymistavan järjestelmän rakenteen ja toiminnallisuuksien hahmottamiseen. UML-sekvenssikaavio kuvaa toteutettavan järjestelmän pääasiallisen toiminnan vaiheittain sekä esittää vuorovaikutuksen järjestelmän komponenttien välillä, mikä auttaa selkeyttämään prosessien kulkua. UML-kaavioiden luominen ohjelmistokehitysprosessin suunnitteluvaiheessa on todettu parantamaan tehokkuutta, laatua ja ymmärrettävyyttä. (Al-Fedaghi, 2021.) Kuvassa 5 esitetty UML-sekvenssikaavio kuvaa työssä toteutettavan järjestelmän pääasiallisen toiminnan vaiheittain.



Kuva 5. UML-sekvenssikaavio

Loppukäyttäjä aloittaa prosessin avaamalla käyttöliittymän ja lähettämällä pyynnön sähkönpörssihintojen päivittämiseksi (Nuoli 1). Järjestelmän palvelin vastaanottaa tiedon hintojen päivityspyynnöstä ja lähettää tietopyynnön Entso-E API-rajapintaan hakeakseen ajantasaisia sähkön hintatietoja (Nuoli 2).

Seuraavaksi Entso-E API-rajapinta palauttaa raakadatana, sähkön ajankohtaiset pörssihinnat. Tämä raakadata ohjautuu palvelimen datan käsittelymoduuliin, jossa se muunnetaan käyttökelpoiseen muotoon datan visualisointia varten (Nuoli 3). Käsitelty data siirretään tämän jälkeen palvelimen visualisointikomponentille, jossa sähkönpörssihinnan data järjestetään graafiseen muotoon (Nuoli 4).

Lopuksi visualisoitu data sähkönpörssihinnoista lähetetään takaisin käyttöliittymään, jossa se esitetään selkeänä visuaalisena elementtinä loppukäyttäjälle (Nuoli 5).

Yhteenvetona UML-sekvenssikaavio esittelee järjestelmän pääkomponentit, niiden väliset tietovirrat sekä järjestelmän yleisen toimintalogiikan. Kaavio korostaa erityisesti eri komponenttien välistä yhteistyötä ja tiedonsiirtoa, mikä on olennaista toimivan ja tehokkaan järjestelmän toteutuksen kannalta. Kaavio auttaa myös hahmottamaan datan kulun loppukäyttäjän pyynnöstä visuaaliseen esitykseen asti. Tämä ennalta laadittu selkeä rakenteen ja tietovirtojen kuvaaminen antaa hyvän pohjan verkkopohjaisen sähkönpörssihintojen käyttöliittymän toteutukseen.

4.2 Toteutuksessa käytettävät työkalut

Verkkopohjainen käyttöliittymä toteutetaan perinteisillä web-ohjelmoinnin työkaluilla ja kirjastoilla. Toteutuksen työkalujen valintaan vaikuttivat niiden aikaisempi käyttö ja osaaminen. Toteutettiin lokaalissa ympäristössä. Työkalut, joita käytettiin, olivat Node.js, Express.js, CORS, JavaScript-, CSS-ohjelmointikielet sekä React, Dotenv -ja Chart.js-kirjastot.

Node.js tarjoaa tehokkaan ja joustavan JavaScriptin palvelinpuolen kehitysympäristön, joka on rakennettu Googlen V8-runtime ympäristöön. Node.js on suorituskykyinen ja skaalautuva, joka soveltuu hyvin verkkokäyttöliittymän toteutukseen. (Tilkov and Vinoski, 2010.)

Express.js eli Express on Node.js rakennettu web-kehys, joka toimii palvelimen ja API-rajapintojen luonnissa. Se yksinkertaistaa erityisesti HTTP-pyyntöjen käsittelyä ja yleisiä palvelinpuolen toimintoja. (Theel, 2017.)

JavaScript-ohjelmointikieli on dynaaminen ohjelmointikieli, jota käytetään laajalti nykyaikaisten verkkosovellusten kehittämiseen. Se mahdollistaa verkkosivun dynaamisista päivityksistä ilman sivun uudelleenlatausta sekä sen monipuoliset kirjastot ovat myös käytettävissä lähes kaikissa verkkoselaimissa. Näiden ominaisuuksien ansiosta JavaScript on olennainen osa vuorovaikutteisen verkkokehityksen parissa. (Mikkonen & Alasaari.)

React.js on komponenttipohjainen JavaScript-kirjasto, jota käytetään interaktiivisten käyttöliittymien kehittämiseen. Se mahdollistaa verkkosovellusten kehittämisen, jotka voivat päivittää tietojaan ilman sivun uudelleenlatausta. React käyttää JSX-syntaksia, joka hyödyntää HTML ja JavaScriptin tyylisiä elementtejä. (Aggarwal, 2018.)

CSS-ohjelmointikieltä käytetään verkkosivujen ulkoasun sekä asettelun määrittämiseen. Sen avulla voidaan määritellä verkkosivujen visuaaliset ominaisuudet ja tyylit, kuten fontit, värit ja asettelun. (Geneves, Layaida and Quint, 2012.)

Datan visualisointiin hyödynnetään suosittua ja helppokäyttöistä avoimen lähdekoodin JavaScriptin Chart.js kirjastoa, joka soveltuu interaktiivisten ja reagoivien kaavioiden luomiseen verkkosivuille.

4.3 Sähkön pörssihinnan data ja API-rajapinta

Verkkokäyttöliittymässä käytetään Suomen sähkön pörssihinnan tuntikohtaista avointa hintadataa. Data haetaan ENTSO-E Transparency platformista, joka on keskeinen sähkömarkkinatiedon julkaisupaikka. Se tarjoaa kattavaa ja reaaliaikaista tietoa Euroopan sähkömarkkinoista. ENTSO-E tarjoaa RESTful API-rajapinnan sekä dokumentaation sen käytöstä, mikä mahdollistaa alustan tietojen sekä datan hyödyntämistä monipuolisesti sovelluskehityksessä. (Hirth, Mühlenpfordt and Bulkeley, 2018.) ENTSO-E Transparency platform tarjoaa tämän tutkimuksen verkkokäyttöliittymän toteutukseen sopivan rajapinnan hintatietojen hakemiseen.

RESTful API -rajapinnan käyttö edellyttää rekisteröinnin ENTSO-E:n Transparency Platformille, josta käyttäjä saa oman henkilökohtaisen API-avaimen. API-avain toimii tunnisteena, jota käytetään ohjelmistorajapinnan turvalliseen käyttämiseen. RESTful API on rajapinta, jonka avulla käyttäjät voivat tehdä HTTP-pyyntöjä, kuten GET- ja POST-metodien avulla sekä saada tietoja sähkömarkkinoinnin liittyvistä muuttujista JSON- tai XML-muodossa. Rajapinnan käyttö perustuu HTTP-pyyntöihin, joissa käytetään kohdennettuja parametrejä sekä rajapinnan päätepisteitä. API-kutsu käyttää http GET-metodia datan pyyntöön ENTSO-E palvelimelta. Esimerkki API-kutsusta, jolla haetaan Suomen pörssisähkön tuntikohtainen hintadata (kuva 6).

```
const fullURL = `https://web-api.tp.entsoe.eu/api?
        securityToken=${API_KEY}&
        documentType=A44&
        in_Domain=10YFI-1--------U&
        out_Domain=10YFI-1--------U&
        periodStart=${formattedStartDate}&
        periodEnd=${formattedEndDate}`;
try {
    const response = await fetch(fullURL);
```

Kuva 6. GET API -kutsu

Selitys GET API-kutsun parametreistä:

- Kutsun perusosoite *https://web-api.tp.entsoe.eu/api?* on ENTSO-E API-rajapinnan päätepiste, johon pyyntö datan hausta lähetetään.
- *securityToken=${API_KEY}* parametri on käyttäjän henkilökohtainen API-avain, joka toimii valtuutustunnisteena rajapinnan käyttöön.
- *documentType=A44* parametri määrittää hakuehdon markkinahinnoille. Arvo A44 viittaa sähkönhintatietoihin.

- *in_Domain=10YFI-1--------U* ja *out_Domain=10YFI-1--------U* parametrit määrittävät markkina-alueen, josta hintatietoja haetaan. *10YFI-1--------U* tunniste viittaa Suomen markkina-alueeseen.
- *periodStart=${}* ja *periodEnd=${}* parametrit määrittelevät ajanjakson aloitus- ja päättymisajan jolta tuntikohtaista hintadataa pyydetään.
- *await fetch()* funktio lähettää asynkronisen HTTP GET-pyynnön *fullURL* osoitteeseen, jonka jälkeen ENTSO-E palvelimelta saatu vastaus tallennetaan *response*-muuttujaan.

Onnistuneen API-kutsun jälkeen ENTSO-E palvelimelta saadaan vastaus XML-muotoisena datana, joka sisältää tuntikohtaiset hinnat määritellylle ajanjaksolle aikaleimojen kanssa. Jokainen aikaväli on yksilöity tunnin tarkkuudella ja hintatiedot on ilmoitettu euroina per megawattitunti. XML-formaatti mahdollistaa tiedon strukturoinnin sekä dokumentoinnin, mikä tekee siitä helposti käsiteltävää ja analysoitavaa eri ohjelmointikielillä. Esimerkki rajapinnan palauttamasta XML-muodossa olevasta vastauksesta (kuva 7).

```
▼<Publication_MarketDocument xmlns="urn:iec62325.351:tc57wg16:451-3:publicationdocument:7:0">
  <mRID>2960629aa5254a35b0803c0613975a6b</mRID>
  <revisionNumber>1</revisionNumber>
  <type>A44</type>
  <sender_MarketParticipant.mRID codingScheme="A01">10X1001A1001A450</sender_MarketParticipant.mRID>
  <sender_MarketParticipant.marketRole.type>A32</sender_MarketParticipant.marketRole.type>
  <receiver_MarketParticipant.mRID codingScheme="A01">10X1001A1001A450</receiver_MarketParticipant.mRID>
  <receiver_MarketParticipant.marketRole.type>A33</receiver_MarketParticipant.marketRole.type>
  <createdDateTime>2024-09-26T09:47:59Z</createdDateTime>
 ▼<period.timeInterval>
    <start>2024-09-25T22:00Z</start>
    <end>2024-09-26T22:00Z</end>
  </period.timeInterval>
 ▼<TimeSeries>
    <mRID>1</mRID>
    <businessType>A62</businessType>
    <in_Domain.mRID codingScheme="A01">10YFI-1--------U</in_Domain.mRID>
    <out_Domain.mRID codingScheme="A01">10YFI-1--------U</out_Domain.mRID>
    <currency_Unit.name>EUR</currency_Unit.name>
    <price_Measure_Unit.name>MWH</price_Measure_Unit.name>
    <curveType>A01</curveType>
   ▼<Period>
    ▼<timeInterval>
       <start>2024-09-25T22:00Z</start>
       <end>2024-09-26T22:00Z</end>
     </timeInterval>
     <resolution>PT60M</resolution>
    ▼<Point>
       <position>1</position>
       <price.amount>-1.21</price.amount>
     </Point>
    ▼<Point>
       <position>2</position>
       <price.amount>-1.77</price.amount>
     </Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▶<Point>...</Point>
    ▼<Point>
       <position>24</position>
       <price.amount>36.30</price.amount>
     </Point>
   </Period>
  </TimeSeries>
</Publication_MarketDocument>
```


Kuva 7. ENTSO-E palvelimelta vastaanotettu XML-data

Selitetys XML-tiedoston keskeisimmistä elementeistä:

- *<Point>* elementit sisältävät tiedot tietyn tunnin sähkön hinnasta
- *<position>* elementti sisältää arvon tunnin ajanakohdalle.
- *<price.amount>* elementti sisältää sähkönhinnan arvon megawattitunteina

Onnistuneen API-kutsun jälkeen saatu data varastoidaan järjestelmään, jonka jälkeen se voidaan jatkokäsitellä visualisointia ja analysointia varten. Datan jatkokäsittelyssä XML data muunnetaan JSON-muotoon, jonka jälkeen tuntikohtainen sähkönhinta kerätään talteen. Tämän jälkeen tuntikohtainen hintadata analysoidaan. Analysoinnin aikana datan avulla lasketaan päivän alin -, korkein -ja keskihinta. Tämän jälkeen analysoitu data visualisoidaan käyttäen JavaScript Chart.js kirjastoa, joka soveltuu interaktiivisten ja reagoivien kaavioiden luomiseen verkkosivuille.

4.3.1 Datan visualisointi

Käytettävyyden sekä käyttöliittymäsuunnittelun kannalta oleellinen asia on tiedon esittämisen työkalut. Kuten kirjallisuuskatsauksessa huomattiin, että aikaisemmat tutkimukset osoittavat datan visualisoinnin olevan keskeisessä roolissa päätöksenteossa. Käyttöliittymän on esitettävä tiedot nopeasti ja ymmärrettävässä muodossa käyttäjille, jotta käyttäjät voivat tehdä päätöksiä datan perusteella luotettavasti ja tehokkaasti. Sähkön pörssihintojen visualisoinnin tavoitteena on tarkoituksena tarjota käyttäjälle selkeä ja helposti tulkittava näkymä hintojen vaihtelusta, mikä on tärkeää sähkömarkkinoiden hintamuutosten suuren volatiliteetin vuoksi.

Tämän vuoksi datan visualisoinnin mallin suunnittelussa pyritään tukemaan käyttäjiä heidän päätöksenteossaan. Sähkön pörssihintadata koostuu ajallisesti muuttuvista arvoista, jotka vaihtelevat tuntitasolla sekä päivittyvät päivittäin. Hintadatan korkea volatiliteetti vaikuttaa suuresti visualisointiin, sillä käyttäjän on pystyttävä havaitsemaan nopeasti merkittävimmät muutokset hinnankehityksessä.

Tutkimuksessa (Midway, 2020) datan visualisoinnista kommunikaation työkaluna vertaillaan yleisimpiä kaaviotyyppejä datan visualisoinnissa. Tutkimuksen mukaan viivakaaviot ovat erityisen tehokkaita silloin, kun on tarve tarkastella datan vaihtelua aikajanalla sekä tunnistaa erilaisia hintatrendejä. Viivakaavio yhdistää datapisteiden sijainnin suhteessa toisiinsa, kun ne vaihtelevat aikajanalla trendin, kiihtyvyyden, hidastuvuuden ja volatiliteetin paljastamiseksi. Tämän perusteella viivakaavio soveltuu erinomaisesti sähkön pörssihintojen visualisointiin. Viivakaavion avulla käyttäjä pystyy seuraamaan hinnan vaihtelua päivän aikana ja tunnistaa mahdollisia hintojen nousu- tai laskutrendejä.

Artikkelissa (Bagchi, 2024) käsitellään datan visualisointia ja väriteoriaa, jonka avulla datan esityksestä saadaan vaikuttavampia ja tehokkaampia. Tutkimuksen mukaan väriteoria on tieteellinen ja subjektiivinen tapa tutkia värejä ymmärtääkseen värien vaikutuksista ihmisen havainnointiin ja kuinka sitä voidaan käyttää parantamaan ymmärrettävyyttä ja suunnittelupäätöksiä. Sopivan värimallin valinta on oleellinen osa onnistunutta visuaalista esitystä. Värimallien avulla voidaan rakentaa visuaalista hierarkiaa ja kiinnittää katsojan huomiota haluttuihin kohtiin. Esimerkiksi punainen ja vihreä ovat toisiaan täydentäviä väripareja, koska niiden voimakas kontrasti viestii selkeää vastakkainasettelua, joka auttaa havainnollistamaan vastakkaisia ilmiöitä tehokkaasti. Tämän havainnon perusteella punaisen ja vihreän värin käyttö soveltuu sähkön pörssihinnan datan visualisointiin. Punainen väri kuvaa koreaa hintaa ja vihreä väri matalaa hintaa.

5 Tulokset

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen tulokset, jotka perustuvat käyttöliittymän kehitystyöhön ja sen käytettävyyden arviointiin. Tulosten perusteella pyritään vastaamaan tutkimuksen tavoitteisiin verkkokäyttöliittymän käytettävyydestä sekä sähkön pörssihintojen visualisoinnin vaikutuksesta energiaostopäätösten parantamiseksi. Tulosten analysointi keskittyy kahteen osaan, toteutetun käyttöliittymäartefaktin esittelyyn ja sen käyttävyyden sekä visuaalisten ominaisuuksien arviointiin heuristisen arvioinnin avulla. Ensimmäisenä esitellään luvussa neljä dokumentoitu RtD-menetelmän suunnittelutyön tulos eli artefaktin esittely. Tämän jälkeen esitellään käyttöliittymän heuristisen arvioinnin tulokset. Näiden tulosten perusteella pystytään vastaamaan tutkimuskysymyksiin siitä, miten sähkön pörssihintojen käyttöliittymän käytettävyyttä voidaan parantaa sekä millaiset visualisoinnit ovat tehokkaimpia sähköpörssin hintadatan esittämisessä.

5.1 Artefaktin esittely

Tässä kandidaatintyössä kehitettiin verkkopohjainen käyttöliittymä sähkön pörssihintojen visualisointiin. Toteutus perustui luvussa neljä laadittuun vaatimusmäärittelyyn, UML-suunnitteluun ja datan käsittelyn sekä visualisoinnin valintaan. Valmis käyttöliittymä täytti kaikki luvun neljä asetetut vaatimusmäärittelyt onnistuneesti. Yleiset ja suositut web-ohjelmoinnin työkalut soveltuivat erinomaisesti sähkön pörssihinnan käyttöliittymän toteutukseen. Työkalut mahdollistivat artefaktin toteutuksen sujuvasti ilman suurempia haasteita. Valmis käyttöliittymäartefakti on esitelty kuvassa 8.

Kuva 8. Työssä toteutettu artefakti sähkön pörssihinnan käyttöliittymästä

Käyttöliittymän rakenne ja toiminnallisuus koostuu kolmesta pääelementistä. Ensimmäinen pääelementti koostuu käyttöliittymän yläosassa olevasta tervetulo-osiosta (1) sekä päivän valinta valikosta (2). Käyttäjä toivotetaan tervetulleeksi sähkön pörssihinnan käyttöliittymään, jonka avulla selvennetään artefaktin toiminnan kontekstia. Tämän avulla käyttäjä havainnollistaa nopeasti mistä käyttöliittymästä on kyseessä. Päivän valinta valikosta käyttäjä voi valita, tarkastellaanko kuluvan päivän vai huomisen päivän hintatietoja. Valinta

suoritetaan kahden merkityn painikkeen avulla, jotka hakevat hintatiedot valitun päivän mukaan. Sähkön pörssihinnat ovat saatavilla seuraavalle päivälle n. klo 14:00 jälkeen, pörssin suljettua. Jos hintatietoja ei ole saatavilla siitä ilmoitetaan käyttäjälle.

Toinen pääelementti koostuu keskeisistä hintatiedoista. Keskeiset hintatiedot esitellään käyttäjälle käyttöliittymän keskiosassa (3). Käyttäjälle esitetään ensimmäiseksi reaaliaikainen hinta keskellä ruutua. Tämä tieto auttaa nopeaan ymmärtämiseen sähkön reaaliaikaisesta hinnasta. Reaaliaikaisen hinnan alapuolella on esitetty vierekkäin kyseisen päivän halvin -, kallein -ja keskihinta. Kaikki hintatiedot ovat esitetty omana korttielementtinään, joiden ulkoreuna on rajattu kuvaamaan hinnan arvoa. Päivän halvin hinta on rajattu vihreällä, keskihinta sinisellä ja kallein hinta punaisella. Reaaliaikaisen hinnan korttielementin taustaväri ja ulkoreunan rajaus vaihtelee sen mukaan, kuinka lähellä hinta on halvinta, kalleinta tai keskihintaa.

Kolmas elementti koostuu hintagraafista, joka on esitetty käyttöliittymän alaosassa (4). Päivän aikainen sähkön pörssihintojen kehitys esitetään käyttäjälle interaktiivisen viivakaavio graafin avulla. Hintagraafin aikajana (x-akseli) näyttää kellonajat, kattaen kokopäivän. Hintataso (y-akseli) ilmaisee hinnan senteissä per kilowattitunti. Hintagraafiin on merkitty päivän alin ja korkein hinta korostamalla näitä datapisteitä. Vihreä piste osoittaa päivän alinta hintaa ja punainen korkeinta. Päivän keskihinta on merkitty hintagraafiin vaakasuorana katkoviivana y-akselilla, se ilmaisee päivän keskiarvo hinnan. Reaaliaikainen hinta on esitetty hintagraafissa x-akselilla pystysuorana viivana, se kertoo nykyhetken tarkasteltavan hinnan.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tässä työssä kehitetty käyttöliittymäartefakti toteutettiin onnistuneesti täyttämällä kaikki luvussa neljä asetetut vaatimusmääritykset. Luvussa neljä suoritettu RtD-menetelmän suunnittelutyö ja sen dokumentointi mahdollisti käyttöliittymän toteutuksen mutkattomasti.

5.2 Käyttöliittymän käytettävyyden arviointi

Käyttöliittymän käytettävyyden arviointiin hyödynnettiin tutkimuksen luvussa kolme valittuja käytettävyysheuristiikkoja. Käytettävyyden ja visualisoinnin arviointiin valittiin heuristiikkapohjainen arviointimenetelmä, sillä sitä hyödynnetään usein käyttöliittymien arvioinnissa ja se on kustannustehokas sekä nopea.

Tutkimukseen valittiin kolme käyttöliittymän kohderyhmään sopivaa asiantuntijaa arvioimaan käyttöliittymän käytettävyyttä. Asiantuntijat perehdytettiin ensin tutkimuksen kolmannessa luvussa määriteltyihin heuristiikkoihin. Tämän jälkeen heuristiikkojen soveltamiseen käyttöliittymän yhteydessä sekä tutkimuksen tavoitteisiin. Käyttöliittymä annettiin asiantuntijoille arvioitavaksi, jonka aikana heitä pyydettiin tarkastelemaan käyttöliittymän vastaavuutta heuristisiin periaatteisiin. Arvioinnissa hyödynnettiin 5-portaista Likert-asteikkoa. Kunkin yksittäisen heuristiikan kohdalla asiantuntijoita ohjattiin antamaan arvosana asteikolla 1–5:

1- Kriittinen käytettävyysongelma. Käyttöliittymä ei täytä lainkaan heuristiikan vaatimuksia.

2- Vakava käytettävyysongelma. Käyttöliittymä täyttää heuristiikan vaatimukset vain osittain.

3- Kohtalainen käytettävyys. Käyttöliittymä noudattaa heuristiikan perusvaatimuksia.

4- Hyvä käytettävyys. Käyttöliittymä täyttää lähes kaikki heuristiikan vaatimukset.

5- Täydellinen käytettävyys. Käyttöliittymä täyttää täydellisesti heuristiikan vaatimukset.

Arvosanan lisäksi asiantuntijoita pyydettiin tekemään vapaamuotoisia havaintoja heuristiikoista. Havaintoihin tarjottiin kaksi apukysymystä, joiden avulla pyrittiin tuomaan lisäarvoa ja tarkentamaan arviointia:

1- Mitkä ovat käyttöliittymän vahvuudet heuristiikan näkökulmasta?

2- Mitkä ovat käyttöliittymän heikkoudet heuristiikan näkökulmasta?

Käytettävyystestauksen aikana syntyneet heuristiset arviot ja havainnot dokumentoitiin analysointia varten. Kerätyt tulokset ovat koottu taulukkoon 3, jossa asiantuntijoiden antamat arvosanat sekä heidän havaintonsa on esitetty jokaiselle heuristiikalle. Arvosanat näkyvät taulukossa Likert-asteikon arvona (1–5) ja lisätty vapaamuotoinen havainto on lisätty taulukkoon ”+”-merkillä.

Taulukko 3: Heuristisen arvioinnin tulokset

	Arvioija 1		Arvioija 2		Arvioija 3	
#	Arvio	Havainto	Arvio	Havainto	Arvio	Havainto
H1	4	+	4	+	4	+
H2	5		4	+	5	
H3	5		5	+	5	+
H4	4	+	5		4	
H5	5		5	+	5	
H6	4	+	4		3	+
H7	4	+	4		5	
H8	-	+	-	+	-	+

Asiantuntijoiden antamien kaikkien heuristiikkojen H1-H7 arvosanojen yhteenlaskettu keskiarvo Likert-asteikkoa hyödyntäen oli 4,43, mikä viittaa siihen, että käyttöliittymän yleinen käytettävyys arvioitiin olevan hyvä. Keskiarvon perusteella käyttöliittymä täyttää lähes kaikki heuristiikkojen vaatimukset, mutta kehityskohteita löytyy silti. Tarkempi analyysi yksittäisistä heuristiikoista toi esiin vahvuuksia sekä myös selkeitä kehittämisen kohteita.

Parhaiten käyttöliittymä vastasi heuristiikkoja johdonmukaisuus ja standardit (H3) ja esteettinen ja minimalistinen suunnittelu (H5). Molempien keskiarvo oli tasan 5,00, mikä viittaa siihen, että käyttöliittymä täytti molempien heuristiikkojen vaatimukset täydellisesti. Asiantuntijat havaitsivat, että käyttöliittymän kaikki elementit olivat johdonmukaisia ja standardeja noudattavia. Havaintojen perusteella käyttöliittymä oli toteutettu yksinkertaiseksi, joka helpotti käyttäjiä löytämään tarvitsemansa tiedon nopeasti. Turhien elementtien onnistunut välttäminen korostui myös havainnoissa.

Toisaalta käyttöliittymä vastasi vähiten heuristiikkoja datan visualisoinnin selkeys ja tehokkuus (H6) ja järjestelmän tilan näkyvyys (H1). Joiden keskiarvot olivat 3,66 (H6) ja 4,00 (H1). Datan visualisoinnissa erityisesti reaaliaikaisen hinnan esittäminen graafissa olisi havaintojen mukaan voinut olla vielä selkeämpää ja korostettua. Järjestelmän tilan näkyvyyteen tieto päivämäärästä, jota tarkastellaan, olisi tuonut lisäarvoa käytettävyyteen sekä luotettavuuteen.

Loput heuristiikat vastaavuus järjestelmän ja todellisen maailman välillä (H2), Tunnistaminen ennemmin kuin muistaminen (H4) ja interaktiiviset elementit visualisoinnissa (H7) saivat keskiarvot 4,66 (H2), 4,33 (H3) ja 4,33 (H7). Havainnoista tunnistettiin keskeisimmät elementit kyseisille heuristiikoille. Tunnistaminen ennen kuin muistaminen heuristiikka olisi voinut havaintojen perusteella tarjota käyttäjälle lisäinformaatiota omasta sähkönkulutuksesta. Kun taas interaktiiviset elementit visualisoinnissa olisi kaivannut interaktiivisia elementtejä kustannuksista kuluttajatyypeillä.

Heuristiikkaa H8 ei arvioitu Likert-asteikolla, vaan siihen kerättiin vain havaintoja käytettävyydestä heuristiikkojen H1-H7 ulkopuolelta. Keskeinen huomio heuristiikkojen ulkopuolelta oli historiallisten sähköpörssihintojen tarkastelun mahdollisuus. Mahdollisuus verrata reaaliaikaista hintadataa viimeisimpien viikkojen keskiarvoon tai muuhun historialliseen hintadataan, olisi antanut käyttäjälle enemmän informaatiota ja avustusta sähkön käytön suunnittelussa.

Yhteenvetona heuristisen arvioinnin tuloksista voidaan todeta, että työssä toteutetun suunnittelun kautta tapahtuvan tutkimuksen lopputuote eli käyttöliittymäartefakti oli käytettävyydeltään kokonaisuudessaan hyvä. Käyttöliittymässä oli kuitenkin selkeitä parannuskohteita, jotka liittyvät erityisesti datan visualisoinnin selkeyteen ja järjestelmän tilan näkyvyyteen. Näiden kehittäminen tukisi tutkimuskysymysten tavoitteita auttaisi saavuttamaan entistä paremman käytettävyyden ja tehokkaamman datan visualisoinnin sähkönpörssihinnan käyttöliittymässä.

7 Johtopäätökset

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin verkkokäyttöliittymän käytettävyyden sekä sähkön pörssihintojen visualisoinnin vaikutusta energiaostopäätösten parantamiseksi. Tutkimuksessa käytettiin Research Through Design (RtD) tutkimusmenetelmää, jonka avulla suunniteltiin ja toteutettiin sähkön pörssihintojen esittämiseen tarkoitettu verkkokäyttöliittymä. Lopputuloksena syntynyt käyttöliittymäartefakti arvioitiin käyttämällä heuristista arviointia, jossa asiantuntijat antoivat palautetta käytettävyyden ja visualisuuden eri osa-alueista.

Tutkimus toi esiin useita keskeisiä havaintoja. RtD-menetelmän käyttö tutkimusmenetelmänä mahdollisti havaintojen keräämisen suunnitteluprosessin eri vaiheista, mikä rikastutti tutkimusprosessia sekä ymmärrettävyyttä siitä, miten erilaiset suunnitteluratkaisut voivat vaikuttaa lopullisen artefaktin käytettävyyteen ja visuaaliseen tehokkuuteen. RtD-tutkimusmenetelmän tarjoaman lähestymistavan avulla tutkimus ei keskittynyt pelkästään lopputuotteeseen ja sen arviointiin, vaan myös dokumentoitu suunnitteluprosessi tarjosi arvokasta tietoa ja oppimista. Heuristisen arviointi käyttöliittymästä todisti työssä toteutetun käyttöliittymän käytettävyyden hyväksi sekä antoi myös arvokasta tietoa sen kehityskohteista.

Tutkimuksessa suoritutetussa kirjallisuuskatsauksessa löydettiin useita havaintoja, datan visualisoinnista sekä käyttöliittymäsuunnittelun ja käytettävyyden vaikutuksista sähkönkäytön suunnittelussa. Aikaisempien tutkimusten tulosten vertailussa tämän tutkimuksen tuloksiin voidaan löytää yhtäläisyyksiä sekä uusia näkökulmia.

Aikaisemmat tutkimukset datan visualisoinnista sähkönkäytön suunnittelussa osoittivat visualisoinnin olevan merkittävässä roolissa sähkönkäytön suunnittelussa sähkön kulutuksen näkökulmasta. Aikaisempia tutkimuksia sähkön pörssihintojen visualisoinnin vaikutuksista ei ollut saatavilla. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella myös sähkön pörssihintojen visualisoinnin kannalta datan visualisointi on erittäin tärkeää. Aikaisemmat tutkimukset käyttöliittymäsuunnittelusta osoittivat ominaisuuksia, joita käyttöliittymän tulisi sisältää, jotta se olisi käytettävyydeltään soveltuva sähkönkäytön suunnittelussa. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat ominaisuuksien kuten etäkäytettävyyden, reagointikyvykkyyden ja yksinkertaisuuden olevan toimivia ominaisuuksia sähkön pörssihinnan käyttöliittymässä.

Ominaisuuksien kuten muokattavuus ja rooliperusteisuus hyötyä ei tämän tutkimuksen avulla pystytty todistamaan, sillä tämä olisi vaatinut lisäaikaa artefaktin kehitystyölle.

Tutkimuksen sisälsi rajoitteita, koska tarkoituksena oli luoda yksinkertainen versio sähkön pörssihinnan käyttöliittymästä ja vaatimusmäärittelyssä vaatimukset rajattiin kymmeneen keskeisimpään vaatimukseen. Tämä takia joitain käytettävyyden kannalta mahdollisesti hyödyllisiä ominaisuuksia jäi mahdollisesti toteuttamatta, jotka eivät näkynyt arvioinnin tuloksissa.

Jatkotutkimuksen kannalta tutkimusta voisi laajentaa käyttäjäkeskeiseen arviointiin, jossa käyttöliittymää testataan useilla eri kuluttajatyypeillä. Arvioiden määrää voisi lisätä tarkempien tulosten havainnollistamiseksi. Erityistä huomiota jatkotutkimuksen kannalta olisi keskittyminen reaaliaikaisen hintatietojen visualisointiin ja sen selkeyden parantamiseen. Tämän tutkimusten tuloksista huomatut havainnot historiallisen hintatiedon lisäämisestä käyttöliittymään ja sen vertailusta reaaliaikaiseen hintatietoon voisi verrata tämän tutkimuksen tuloksiin. Myös informaation lisääminen käyttäjän omasta sähkönkulutuksesta voisi olla mielenkiintoinen lisäys käyttöliittymään.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tutkimuksessa kehitetty käyttöliittymäartefakti täytti kaikki sille asetetut tavoitteet ja onnistui tarjoamaan käytettävyydeltään hyvän pohjan sähkön pörssihintojen esittämiseen visuaalisesti sekä avustamaan sähkönkäytön suunnittelussa. Vaikka käyttöliittymä arvioitiin kokonaisuudeltaan hyväksi käytettävyyden sekä visuaalisen esityksen kannalta, huomattiin myös olennaisia kehittämiskohteita, jotka osoittavat selkeitä mahdollisuuksia käytettävyyden sekä sähkön pörssihintojen visualisoinnin vaikutuksesta energiaostopäätösten parantamiseksi. Tulevaisuuden kehitystyön ja laajempien käyttäjätestauksien avulla voidaan saavuttaa entistä tehokkaampi käyttöliittymä, joka palvelee sähkön hinnan seuraajia entistä paremmin.

Lähteet

Adenowo, A.A.A. and Adenowo, B.A. (2013) 'Software Engineering Methodologies: A Review of the Waterfall Model and Object-Oriented Approach', 4(7).

Aggarwal, S. (2018) 'Modern Web-Development using ReactJS', 5(1).

Albadi, M.H. and El-Saadany, E.F. (2008) 'A summary of demand response in electricity markets', *Electric Power Systems Research*, 78(11), pp. 1989–1996. Available at: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.04.002.

Al-Fedaghi, S. (2021) 'UML Sequence Diagram: An Alternative Model', *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(5). Available at: https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120576.

Bader, F., Schön, E.M. and Thomaschewski, J. (2017) 'Heuristics Considering UX and Quality Criteria for Heuristics', *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(6), p. 48. Available at: https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.05.001.

Bagchi, D.S. (2024) 'The Role of Colour Theory in Data Visualisation', *Words in Motion* [Preprint].

Fensel, A., Kumar, V. and Tomic, S.D.K. (2014) 'End-user interfaces for energy-efficient semantically enabled smart homes', *Energy Efficiency*, 7(4), pp. 655–675. Available at: https://doi.org/10.1007/s12053-013-9246-2.

Geneves, P., Layaida, N. and Quint, V. (2012) 'On the analysis of cascading style sheets', in *Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web*. *WWW 2012: 21st World Wide Web Conference 2012*, Lyon France: ACM, pp. 809–818. Available at: https://doi.org/10.1145/2187836.2187946.

Godin, D. and Zahedi, M. (2014) 'Aspects of Research through Design: A Literature Review'.

Herrmann, M.R. *et al.* (2018) 'Does data visualization affect users' understanding of electricity consumption?', *Building Research & Information*, 46(3), pp. 238–250. Available at: https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1356164.

Hirth, L., Mühlenpfordt, J. and Bulkeley, M. (2018) 'The ENTSO-E Transparency Platform – A review of Europe's most ambitious electricity data platform', *Applied Energy*, 225, pp. 1054–1067. Available at: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.048.

Jimenez, C., Lozada, P. and Rosas, P. (2016) 'Usability heuristics: A systematic review', in *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*. *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*, Popayan, Colombia: IEEE, pp. 1–8. Available at: https://doi.org/10.1109/ColumbianCC.2016.7750805.

Midway, S.R. (2020) ‘Principles of Effective Data Visualization’, *Patterns*, 1(9), p. 100141. Available at: https://doi.org/10.1016/j.patter.2020.100141.

Muratori, M., Schuelke-Leech, B.-A. and Rizzoni, G. (2014) ‘Role of residential demand response in modern electricity markets’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, pp. 546–553. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.027.

Murugesan, L.K., Hoda, R. and Salcic, Z. (2015) ‘Design criteria for visualization of energy consumption: A systematic literature review’, *Sustainable Cities and Society*, 18, pp. 1–12. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.009.

Nieminen, K. (2023) ‘Sähkön hinnan nousu jatkunut voimakkaana — kolme näkökulmaa sähkön hintakehitykseen’.

Nilsen, J. (2006) ‘How to Conduct a Heurestic Evaluation’.

Nuseibeh, B. and Easterbrook, S. (2000) ‘Requirements engineering: a roadmap’, in *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. *ICSE00: 22nd International Conference on Software Engineering*, Limerick Ireland: ACM, pp. 35–46. Available at: https://doi.org/10.1145/336512.336523.

Rist, T. and Masoodian, M. (2019) ‘Promoting Sustainable Energy Consumption Behavior through Interactive Data Visualizations’, *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(3), p. 56. Available at: https://doi.org/10.3390/mti3030056.

Sinar, E.F. (2015) ‘Data Visualization’.

Stone, D. *et al.* (2005) *User interface design and evaluation*. Amsterdam: Elsevier (The Morgan Kaufmann series in interactive technologies).

Theel, O. (2017) ‘Rich Internet Applications w/HTML and Javascript’.

Tilkov, S. and Vinoski, S. (2010) ‘Node.js: Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs’, *IEEE Internet Computing*, 14(6), pp. 80–83. Available at: https://doi.org/10.1109/MIC.2010.145.

Ward, M., Grinstein, G.G. and Keim, D. (2011) *Interactive data visualization: foundations, techniques, and applications*. First edition. Boca Raton, FL: Taylor and Francis, an imprint of A K Peters/CRC Press.

Wilson, C., Hargreaves, T. and Hauxwell-Baldwin, R. (2017) ‘Benefits and risks of smart home technologies’, *Energy Policy*, 103, pp. 72–83. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.047.

Xu, H. *et al.* (2018) ‘A generic user interface for energy management in smart homes’, *Energy Informatics*, 1(1), p. 55. Available at: https://doi.org/10.1186/s42162-018-0060-0.