



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Milla Laiteenmäki

HCI ja rebound-ilmiön vähentäminen energiatehokkuuden parantamisessa

Palautteen ja käyttäytymisenohjauksen rooli

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen
akateeminen yksikkö
Kandidaatintutkielma
Automaatio ja tietotekniikka

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

| | | | |
|--------------------------|---|-------------------|----|
| Tekijä: | Milla Laiteenmäki | | |
| Tutkielman nimi: | HCI ja rebound-ilmiön vähentäminen energiatehokkuuden parantamisessa: Palautteen ja käyttäytymisohjauksen rooli | | |
| Tutkinto: | Tekniikan kandidaatti | | |
| Oppiaine: | Automaatio ja tietotekniikka | | |
| Työn ohjaaja: | Janne Koljonen | | |
| Valmistumisvuosi: | 2026 | Sivumäärä: | 25 |

TIIVISTELMÄ:

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on tarkastella, kuinka Human-Computer Interaction (HCI) -periaatteita ja erityisesti palautteenantoa voidaan hyödyntää rebound-ilmiön vähentämistä energiatehokkuuden parantamiseksi. Rebound-ilmiöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa energiatehokkuuden parantaminen johtaa käyttökustannusten laskemiseen ja sitä kautta lisääntyneeseen kulutukseen. Tämän seurauksena odotettu energiansäästö jää toteutumatta. Tutkielmassa tarkastellaan energiatehokkuuden ja käyttäytymistieteiden suhdetta sekä analysoidaan, millaisia mahdollisuuksia HCI tarjoaa käyttäjien ohjaamiseen kohti kestävämpiä energiavalintoja.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa hyödynnettiin ajankohtaista HCI-, energiatehokkuus- ja käyttäytymistutkimusta. Tulokset osoittavat, että oikein suunnitellut palautejärjestelmät, kuten reaaliaikainen energiakulutuksen visualisointi, vertailu muihin sekä käyttäytymistä ohjaavat käyttöliittymäratkaisut, voivat lisätä käyttäjien tietoisuutta kulutuksestaan ja ehkäistä rebound-ilmiön synty. Erityisesti älykötiteknologioissa HCI:llä on keskeinen rooli, sillä automaation mahdollistama mukavuuden lisääntyminen voi johtaa kulutuksen kasvuun. Analyysin perusteella rebound-ilmiön hallinta edellyttää käyttäjakeskeistä suunnittelua, joka huomioi käyttäjien motivaation lisäksi myös heidän arkensa päätöksenteon rakenteen.

Johtopäätöksenä todetaan, että HCI tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia energiatehokkuuden edistämiseen, mutta vaikutusten saavuttaminen edellyttää kokonaisvaltaista suunnittelua, jossa teknologian tehokkuus yhdistyy käyttäytymisen ohjaamiseen. Palautejärjestelmien tulee olla helposti tulkittavia ja motivoivia, jotta ne tukevat pitkäaikaista energiansäästöä ja vähentävät rebound-ilmiön riskiä.

AVAINSANAT: ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus, älytekniikka, energiankulutus, käyttäjäkokemus, palaute

Sisällys

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 2 | Energiatehokkuus, käyttäytyminen ja teknologian vaikutus | 7 |
| 2.1 | Human-Computer Interaction | 7 |
| 2.2 | Rebound-ilmiö | 9 |
| 2.3 | Energiakäyttäytyminen | 11 |
| 2.4 | Energiatehokkuutta HCI-tutkimusmenetelmien avulla | 12 |
| 3 | HCI:n rooli energiatehokkuuden parantamisessa | 15 |
| 3.1 | HCI-pohjaiset palautejärjestelmät | 15 |
| 3.2 | Käyttäjäkeskeinen suunnittelu | 18 |
| 4 | Pohdinta ja analyysi | 20 |
| 4.1 | Rebound-ilmiön haasteet energiansäästössä | 20 |
| 4.2 | HCI:n rooli rebound-ilmiön vähentämisessä | 21 |
| 5 | Johtopäätökset | 22 |
| | Lähteet | 23 |

Kuvat

| | |
|--|---|
| Kuva 1 Sähkönkäyttöhistoria OmaHelen-sovelluksesta | 8 |
|--|---|

Kuviot

| | |
|--|----|
| Kuvio 1 Käyttäjälähtöisen suunnittelun vaiheet | 19 |
|--|----|

Taulukot

| | |
|---|----|
| Taulukko 1 Rebound-ilmiö tyypit | 10 |
| Taulukko 2 Energiakäyttämisen keskeiset käsitteet | 12 |
| Taulukko 3 HCI tutkimusmenetelmien soveltaminen energiatehokkuuteen | 14 |
| Taulukko 4 Pelillistämisen elementtien vaikutus energiansäästöön | 18 |

Lyhenteet

| | |
|-----|--|
| HCI | Human-Computer Interaction, ihmisen ja tietokoneen välinen vuorovaikutus |
| LED | Light Emitting Diode, energiatehokas valodiode |

1 Johdanto

Energiankulutuksen optimointi on kestävä kehityksen keskeinen haaste. Energian kysyntä kasvaa jatkuvasti, mikä pakottaa sähköyhtiöt lisäämään tuotantoa (Perumal, Prabukumar & Kumar, 2020). Samalla kasvava energiankulutus lisää päästöjä ja luonnonvarojen kulutusta, mikä vaikeuttaa ilmastonmuutoksen hillintää ja ympäristötavoitteiden saavuttamista. Tässä yhteydessä energiansäästö ja energiatehokkuuden parantaminen ovat keskeisiä keinoja vähentää energiankulutusta ja pienentää ihmisen toiminnan aiheuttamaa ekologista jalanjälkeä.

Rebound-ilmiö energiansäästöissä on ajankohtainen aihe kestävä kehityksen kannalta. Tehokkuuden parantuessa saadaan kustannussäästöjä ja kustannussäästöt antavat mahdollisuuden ostaa enemmän sekä paranneltua tuotetta että muita tuotteita ja palveluita. Tämän ilmiön tutkiminen auttaa selvittämään, millainen on käyttäjien käyttäytymisen ja tehokkuuden välinen suhde ja miten voimme kehittää parempaa energiapolitiikkaa (Walzberg ja muut, 2020).

Havainnollistavia esimerkkejä rebound-ilmiöstä ovat energiatehokkaat autot ja LED-valaistus. Polttoainetehokkuuden parantuessa ajokustannukset pienenevät. Tämä saattaa johtaa siihen, että autolla ajetaan enemmän, jolloin kokonaiskulutus ei vähene, vaikka auto on vaihdettu energiankäytön kannalta tehokkaampaan. Samoin LED-lamppujen pienempi energiankulutus ja alhaisemmat kustannukset voivat johtaa siihen, että valaistusta käytetään enemmän. Näissä tapauksissa tehokkuusparannus itsessään ei riitä takaamaan energiakulutuksen laskua, ellei myös kulutustottumuksia tarkastella kriittisesti.

Älykodeissa, joissa energiatehokkuus on usein korkealla tasolla, rebound-ilmiö voi korostua entisestään. Älykodit sisältävät laitteita, joita voidaan ohjata etänä internetin välityksellä. Näihin kuuluvat esimerkiksi termostaatit, valaistus ja kodinturvajärjestelmät (Hayes, 2024). Vaikka nämä laitteet voisivat vähentää energiankulutusta, ne voivat myös

johtaa energian lisääntyneeseen käyttöön, esimerkiksi mukavuuden lisääntymisen ja automaation mahdollistaman jatkuvan käytön myötä. Tällöin osa saavutetuista säästöistä voi kumoutua.

Energiatehokkuus on tärkeä tekijä ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, sillä se tarjoaa nopeita ja kustannustehokkaita keinoja päästöjen vähentämiseen. Se mahdollistaa myös resurssien vastuullisemman käytön ja sen avulla voidaan saavuttaa taloudellisia ja ympäristöllisiä etuja. Kuitenkin ilman käyttäjälähtöistä suunnittelua, energiatehokkuuden hyödyt voivat jäädä vajaiksi. Tämän vuoksi rebound-ilmiö on tärkeää ottaa huomioon jo energiatehokkuusteknologioiden kehitysvaiheessa.

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää, kuinka HCI eli Human Computer Interaction, voi auttaa vähentämään rebound-ilmiötä, jotta energiatehokkuus paranisi. Johdannon jälkeen käydään läpi peruskäsitteet, kuten HCI ja rebound-ilmiö. Luvussa 3 syvennyttään siihen, miten energiatehokkuutta voidaan parantaa HCI:n avulla. Tarkastelussa ovat palautejärjestelmät, tietoisuuden lisääminen rebound-ilmiöstä, sekä käyttäytymiseen perustuvat ratkaisut. Luvussa 4 Tämän pohditaan ja analysoidaan rebound-ilmiön haasteita, sekä pohditaan mahdollisia ratkaisukeinoja. Tutkielman lopuksi luvussa 5 esitetään yhteenveto ja johtopäätökset.

2 Energiatehokkuus, käyttäytyminen ja teknologian vaikutus

Teknologian kehitys tuo uusia mahdollisuuksia tehostaa energiankäyttöä. Ihmisen ja tietokoneen välisen vuorovaikutuksen tutkimus auttaa kehittämään järjestelmiä, jotka auttavat käyttäjiä tekemään parempia energiavalintoja. Seuraavassa osiossa käydään läpi tutkielman kannalta keskeisiä käsitteitä.

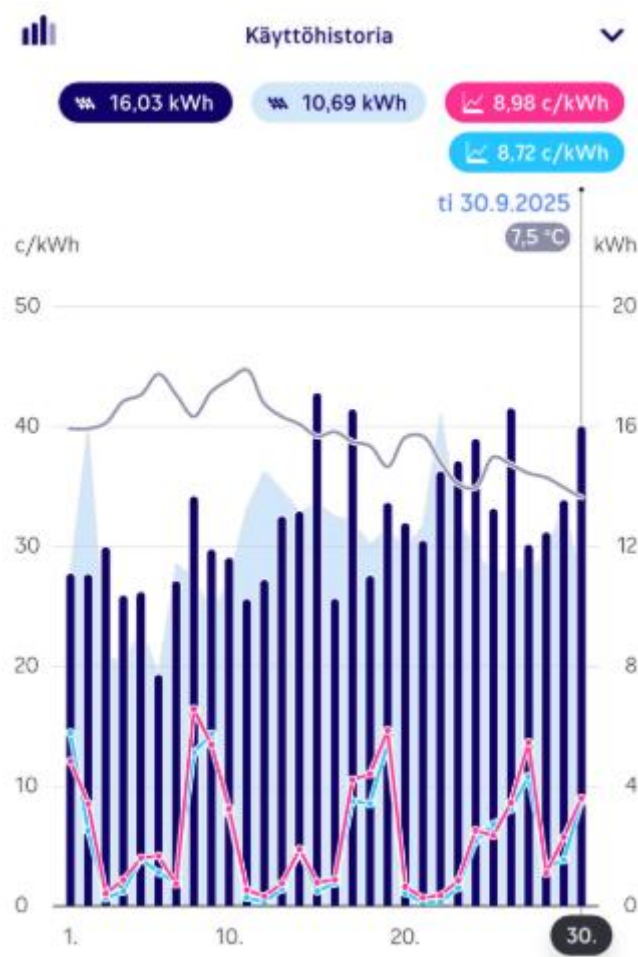
2.1 Human-Computer Interaction

Ihmisen ja tietokoneen välinen vuorovaikutus eli HCI tarkoittaa tieteenalaa, joka tutkii ihmisten eli käyttäjien ja tietokonejärjestelmien välistä vuorovaikutusta. Tavoitteena on kehittää luonnollinen ja luonteva vuorovaikutustekniikka, joka ottaa huomioon ihmisen piirteitä (Interaction Design Foundation, 2016). HCI:llä on tärkeä rooli energiatehokkuuden edistämässä. Hyvin suunnitellut järjestelmät auttavat käyttäjiä tunnistamaan, miten he käyttävät energiaa ja tekemään palautteen perusteella parempia energiavalintoja (Froehlich, 2009).

HCI:llä on merkittävä rooli energiatehokkuuden edistämässä, sillä sen avulla voidaan suunnitella järjestelmiä, jotka eivät pelkästään optimoi energiankulutusta vaan myös ohjaavat käyttäjiä tekemään energiatehokkaampia päätöksiä (Strengers, 2011). Esimerkiksi järjestelmät, jotka visualisoivat energiankulutusta, pystyvät vaikuttamaan käyttäjän tietoisuuteen. Visuaalinen palaute omasta energiankäytöstä voi herättää havahtumisen ja motivoida toimimaan ekologisemmin (Froehlich ja muut, 2010). Tällaisia järjestelmiä käytetään esimerkiksi älymittareissa, jotka näyttävät sähkönkulutuksen reaaliajassa.

HCI:n soveltaminen älyteknologioissa on konkreettinen esimerkki siitä, kuinka teknologialla voidaan vaikuttaa ihmisen käyttäytymiseen. Älyvalot, jotka sammuvat automaattisesti, perustuvat käyttäytymiseen vaikuttamiseen passiivisesti ja käyttäjän puolesta. Mukautuvat järjestelmät vähentävät tarvetta käyttäjän aktiiviselle päätöksenteolle. Älytermostaatit oppivat käyttäjän rytmin ja pystyvät säästämään

lämpötilaa automaattisesti. Tämä vähentää energiankulutusta huomaamatta (Lumme-energia, 2022). Koska useat älylaitteet pystyvät antamaan tietoa ja palautetta, pystyvät ihmiset tekemään parempia päätöksiä. Visuaaliset palautteet energiankulutuksesta voivat motivoida säästämään energiaa (Froehlich, 2009). Kodin kokonaissähkönkulutuksen näkeminen reaaliaikaisesti voi saada käyttäjän sammuttamaan turhat laitteet. Kuvassa 1 on esimerkki OmaHelen-sovelluksen sähkökäyttöhistoriasta, jossa kulutus on esitetty visuaalisesti selkeässä muodossa. Tällainen reaaliaikainen ja helposti tulkittava palaute auttaa käyttäjää hahmottamaan oman energiankulutuksensa ja voi motivoida tekemään energiatehokkaampia valintoja.



Kuva 1 Sähkönkäyttöhistoria OmaHelen-sovelluksesta

Lisäksi HCI-järjestelmät voivat hyödyntää erilaisia käyttäytymiseen vaikuttavia tekniikoita, kuten palautteen antamista ja käyttäjien motivointia. Näiden avulla energiankulutuksen seuraamisesta voidaan tehdä kiinnostavampaa ja käyttäjät saadaan sitoutumaan pitkäaikaisiin energiatarpeisiin (Johnson ja muut, 2017).

2.2 Rebound-ilmiö

Tässä tutkielmassa rebound-ilmiö tarkoittaa tilannetta, jossa teknologian kehitys parantaa laitteiden energiatehokkuutta, mutta saavutetut säästöt eivät toteudu täysin. Tämä johtuu siitä, että energiatehokkuuden parantuessa käyttökustannukset laskevat, joka saattaa lisätä laitteen käyttöä. Esimerkiksi, kun auto kuluttaa vähemmän polttoainetta kilometriä kohden, ajaminen muuttuu halvemmaksi. Tämä johtaa ajokilometrien kasvuun ja kumoaa osittain energiansäästön (Berkhout ja muut, 2000).

On kuitenkin huomioitava, että rebound-ilmiöllä on muitakin merkityksiä. Terveyskirjaston lääketieteen sanaston mukaan rebound-ilmiö voi tarkoittaa myös, ilmiön tilapäistä voimistumista siihen kohdistuneen eston poistumisen jälkeen. Esimerkiksi unilääkkeen pitkäaikaisen käytön lopettamisen jälkeen ilmenevä unettomuus on esimerkki tällaisesta rebound-ilmiöstä (Terveyskirjasto, 2021).

Rebound-ilmiötä on suoraa ja epäsuoraa (Taulukko 1). Suora rebound-ilmiö ilmenee, kun jokin laite tai palvelu muuttuu energiatehokkaammaksi ja halvemmaksi käyttää, sen käyttö lisääntyy. Esimerkiksi, jos kodinkoneet kuluttavat vähemmän sähköä, niitä saatetaan käyttää enemmän, jolloin osa energiansäästöstä menetetään. Epäsuora rebound-ilmiö syntyy, kun energiansäästön ansiosta säästyneet rahat käytetään muihin asioihin, jotka kuluttavat resursseja. Esimerkiksi, jos kotitalous säästää sähköä tehokkaamman jääkaapin ansiosta, säästyneet rahat voidaan käyttää lomamatkaan tai uusien tavaroiden ostamiseen. Tämä myös lisää kokonaiskulutusta. Sekä suorat että

epäsuorat rebound-ilmiöiden vaikutukset vaikeuttavat resurssien säästämistä (Umweltbundesamt, 2019).

Taulukko 1 Rebound-ilmiö tyypit

| Rebound-ilmiö tyyppi | Kuvaus | Esimerkki |
|-----------------------------|--|---|
| Suora rebound | Energiatehokas laite tai palvelu tulee halvemmaksi käyttää, jolloin sen käyttö lisääntyy | Energiatehokkaan auton myötä ajetaan enemmän, jolloin osa säästöstä menetetään |
| Epäsuora rebound | Energiatehokkuuden ansiosta säästetyt rahat käytetään muihin resursseja kuluttaviin asioihin | Sähkölaskun pienentyessä kotitalous käyttää rahat lomamatkaan, joka lisää kokonaiskulutusta |

Rebound-ilmiö voidaan nähdä eräänlaisena käyttäytymismekanismina, joka on osittain tiedostamatonta. Ihmiset eivät välttämättä huomaa, että energiatehokkuuden parantuessa he muuttavat kulutustottumuksiaan, koska päätökset tehdään arjen kiireessä ilman tarkkaa harkintaa. Yksittäisen laitteen käytössä ilmenevä rebound-ilmiö voi tuntua pieneltä, mutta suuren käyttäjämäärän vaikutukset voivat kumuloitua merkittäviksi. Erityisesti kehittyvissä maissa, joissa teknologinen kehitys tuo uusia kulutusmahdollisuuksia, rebound-ilmiö voi estää merkittävää energiansäästöä. Teknologian kehittäminen ilman ihmisten käyttäytymisen tutkimista saattaa johtaa tuloksiin, jotka eivät ole haluttuja. Siksi rebound-ilmiön huomioiminen on keskeinen osa energiapolitiikkaa ja energiatehokkuuden suunnittelua. Jos toimenpiteen energiansäästön parantamiseen keskittyvät vain teknologian kehittämiseen ilman kulutuksen seuranta ja käyttäytymisen ohjaamista, todellisia päästövähennyksiä ei saavuteta (Umweltbundesamt, 2019).

2.3 Energiakäyttäytyminen

Energiakäyttäytymisellä tarkoitetaan yksilöiden ja kotitalouksien tapoja ja tottumuksia, jotka vaikuttavat energiankulutukseen. Näitä voivat olla esimerkiksi sähkölaitteiden käyttö, lämmitystottumukset, valaistuksen käyttö ja liikkumistavat. Sekä tietoisilla, että tiedostamattomilla valinnoilla on vaikutuksia energiankulutukseen. Keskeisimmät energiakäyttäytymiseen liittyvät käsitteet on koottu taulukkoon (Taulukko 2), joka havainnollistaa eri tekijöitä ja niiden vaikutustapoja. Ihmisten valistaminen ja tiedon lisääminen energiansäästöistä on todettu olevan huono keino vähentää yksittäisten ihmisten energiankäyttöä. Tehokkain vaikutus on muiden ihmisten ympäristötekoihin vertaaminen ja siitä syntyvä sosiaalinen paine. Ihmiset haluavat mukautua sosiaalisiin normeihin. Siksi naapurin sähköauto saattaa aiheuttaa passiivisen paineen päivittää myös oma auto sähköiseen (Aronen, 2023). Sosiaalista painetta pystyttäisiin luomaan myös käyttämällä palautejärjestelmiä, joiden avulla pystytään seuraamaan, käyttääkö enemmän vai vähemmän sähköä, kuin samankokoiset kotitaloudet.

Pelkkä tieto ei usein riitä muuttamaan käyttäytymistä, vaan tarvitaan taloudellisia kannustimia. Suorat säästöt motivoivat kuluttajia. Yksi esimerkki kuluttajia motivoivasta energiansäästöistä on sähkön dynaaminen hinnoittelu. Sähkön hinta vaihtelee vuorokaudenajan tai kysynnän mukaan, mikä kannustaa kuluttajia käyttäjiä vähentämään sähkön käyttöä huipputunneilla, jolloin sähkö on kaikista kalleinta. Muita hyviä esimerkkejä taloudellisista kannustimista on sähköautojen hankintatuki ja sähkönkulutusjousto-ohjelmat.

Teknologialla on iso rooli energiakäyttäytymisessä älykodeissa. Älyjärjestelmät, kuten termostaatit voivat mukautua käyttäjän tapoihin ja optimoida energiankäyttöä ilman, että käyttäjän tarvitsee itse tehdä mitään. Älytermostaatti pystyy oppimaan rakennuksen huoneet sekä niiden ominaisuudet ja valitsemaan niiden perusteella tarvittavan tehon, jotta saavutetaan jokaisen huoneen toivottu lämpötila (Nyberg, 2023). Käyttäjien osallistaminen ja sitouttaminen teknologian käyttöön on tärkeää. Kun käyttäjät ymmärtävät, miten ja miksi energiansäästö tapahtuu, he todennäköisesti

sitoutuvat pitkäaikaiseen muutokseen. Tämä korostaa HCI-suunnittelun merkitystä. Käyttäjäystävälliset ja informatiiviset järjestelmät voivat pysyvästi vaikuttaa energiakäyttäytymiseen.

Taulukko 2 Energiakäyttäytymisen keskeiset käsitteet

| Käsite | Selitys | Esimerkki |
|--|--|--|
| Tietoinen energiakäyttäytyminen | Energian käytön vähentämistä harkituilla valinnoilla | Valojen sammutus huoneesta poistuessa |
| Tiedostamaton energiakäyttäytyminen | Energian käyttö ilman tietoista harkintaa | Laturin jättäminen seinään, vaikka sitä ei käytetä |
| Sosiaalinen paine | Ympäristön vaikutus energiansäästötoimiin | Naapurin sähköauto motivoi oman auton vaihtamiseen |
| Taloudellinen kannustin | Rahaohjaus energiatehokkaaseen käyttäytymiseen | Sähkön dynaaminen hinnoittelu saa siirtämään pyykinpesun yöhön |
| Teknologian tuki | Teknologian tarjoama apu energiansäästöön | Älytermostaatti optimoi huonelämpötilat automaattisesti |

2.4 Energiatehokkuutta HCI-tutkimusmenetelmien avulla

HCI-tutkimusmenetelmillä pyritään ymmärtämään, miten ihmiset voivat olla vuorovaikutuksessa teknologisten järjestelmien kanssa ja miten tätä vuorovaikutusta pystytään suunnittelemaan entistä käyttäjäystävällisemmäksi. Energiatehokkuuden edistämiseksi HCI:n tutkimusmenetelmillä on tärkeä rooli, sillä ne mahdollistavat sen

arvioimisen, kuinka hyvin käyttäjät omaksuvat ja hyödyntävät teknologiaa energiankulutuksen hallintaan ja muutokseen. Tutkimusmenetelmien esittelyn jälkeen ne on koottu taulukoksi (Taulukko 3).

Käytettävyydestä testaukset ovat yksi keskeisimmistä HCI-menetelmistä. Niissä käyttäjille annetaan tehtäviä, joita heidän tulee suorittaa järjestelmän avulla samalla, kun heidän toimintaansa seurataan. Tavoitteena on selvittää, kuinka intuitiivinen ja tehokas järjestelmä on todellisessa käytössä. Energiatehokkuuden näkökulmasta voidaan arvioida esimerkiksi sitä, ymmärtävätkö käyttäjät järjestelmän antamaa visuaalista palautetta energiankulutuksesta ja muuttavatko he tämän perusteella tietoisia valintojaan. Energiatehokkuusratkaisuissa testataan esimerkiksi, ymmärtävätkö käyttäjät palautteen energiankulutuksesta ja toimivatko he sen pohjalta (Contentsquare, 2024).

Käyttäjähastatteluiden ja -kyselyiden avulla voidaan kerätä suoraan käyttäjiltä palautetta heidän kokemuksistaan energiaa säästävien teknologioiden suhteen. Näin voidaan tunnistaa sekä energiatehokkuuden kannalta hyödyllisiä ajureita että mahdollisia esteitä. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi teknologian koettu monimutkaisuus tai epäluottamus järjestelmiin. Haastattelut voivat paljastaa käyttäjien arvoja ja elämäntyyliä, mitkä voivat vaikuttaa heidän halukkuuteensa muuttaa käyttäytymistään (Paetz ja muut, 2012).

A/B-testaus on kokeellinen menetelmä, jossa kahdelle käyttäjäryhmälle esitetään kaksi versiota samasta järjestelmästä, jotta pystytään selvittämään, kumpi on parempi (Interaction Design Foundation, 2021). A/B-testausta voidaan hyödyntää esimerkiksi vertaamalla, lisääkö pelillistetty palaute, esimerkiksi pisteet tai saavutukset, enemmän käyttäjien energiansäästöä kuin perinteinen numeerinen tai graafinen palaute.

Simuloinnilla ja prototyypin tekemisellä mahdollistetaan järjestelmien arvioiminen jo ennen niiden käyttöönottoa. Simuloinnin avulla voidaan mallintaa ja testata erilaisia käyttötilanteita. Prototyyppejä voidaan käyttää todellisissa tai simuloituissa

ympäristöissä, jotta voidaan nähdä, miten käyttäjät reagoivat uuteen järjestelmään (Interaction Design Foundtion, 2016).

Taulukko 3 HCI tutkimusmenetelmien soveltaminen energiatehokkuuteen

| Menetelmä | Tarkoitus | Sovellus energiatehokkuudessa |
|--|---|---|
| Käytettävyytestaus | Arvioida järjestelmän käytettävyyttä ja käyttäjän vuorovaikutusta | Testataan, ymmärtääkö käyttäjät energiavisualisointeja ja reagoivatko he niihin. |
| Käyttäjähastattelut ja -kyselyt | Selvittää käyttäjien mielipiteitä, kokemuksia ja motivaatiotekijöitä | Paljastavat esteitä ja ajureita energiatehokkaalle käyttäytymiselle |
| A/B-testaus | Verrata kahta versiota samasta järjestelmästä | Selvittää, mikä palaute johtaa suurimpaan säästöön |
| Simulointi ja prototyyppien testaus | Ennakoida käyttäjien reaktioita uusiin järjestelmiin ennen kuin ne otetaan käyttöön | Mallinnetaan järjestelmän vaikutuksia käyttäytymiseen ja rebound-ilmiöön ennen kehittämistä |

3 HCI:n rooli energiatehokkuuden parantamisessa

Energiatehokkuutta voidaan yrittää parantaa hyödyntämällä käyttäjäkeskeistä suunnittelua. Käyttäjien vuorovaikutus järjestelmien kanssa on keskeisessä osassa energiatehokkuuden parantamisessa. HCI:n avulla pystytään luomaan järjestelmiä, jotka tekevät energiatehokkaista päätöksistä helpompia ja houkuttelevampia käyttäjilleen.

Automaattiset järjestelmät vähentävät käyttäjän aktiivisen päätöksenteon tarvetta. Palautejärjestelmät auttavat käyttäjiä ymmärtämään energiankulutustaan ja lisäksi sen vaikutuksia. Pelillistämisen ja käyttäytymisen muokkauksen avulla voidaan kannustaa energiatehokkaampiin tapoihin. Myös käyttäjäystävällisen visualisoinnin avulla pystytään helpottamaan säästötoimia.

3.1 HCI-pohjaiset palautejärjestelmät

Erilaisilla palautejärjestelmillä pystytään vaikuttamaan ihmisten energiakäyttäytymiseen. Järjestelmien avulla pystytään tunnistamaan energiansäästömahdollisuuksia, sekä motivoimaan kestävään kulutukseen.

Ben Fosterin ja Susan Mazur-Stommenin (2012) ACEEE:n raportti ”Results from real-time feedback studies” tarkastelee erilaisia reaaliaikaisia palautejärjestelmiä ja niiden vaikutuksia energiansäästöön. Raportissa tutkittiin yhdeksää reaaliaikaista palautepilottia, joita olivat esimerkiksi kodinsisäiset näyttölaitteet, jotka näyttivät sähkönkulutuksen reaaliaikaisesti ja käteismaksulliset sähkömittarit reaaliaikaisella näytöllä, jotka näyttävät jäljellä olevan saldon ja kulutuksen reaaliajassa. Reaaliaikaisen palautteen vaikutus vaihteli 0 %:n ja 19,5 %:n välillä. Suurin säästö saavutettiin, kun etukäteismaksulliset sähkömittarit vaihdettiin reaaliaikaisella palautteella varustetuilla versioilla. Palautteen tehokkuuteen vaikutti palautelaitteiden helppokäyttöisyys ja

visuaalisuus, sekä laitteiden yksinkertaisuus. Reaaliaikainen palaute voi siis johtaa merkittäviinkin energiansäästöihin, mutta tehokkuus riippuu käytetystä teknologiasta ja käyttäjien sitoutumisesta.

Yksi HCI:n sovellusalueista energiatehokkuuden tukemisessa on kulutuksen ja kustannusten visualisointi. Käyttäjät ymmärtävät usein huonosti omaa energiankulutustaan ja sen määrää sekä jakautumista eri laitteille tai ajankohdille. Tieto, joka on esitetty visuaalisesti selkeässä muodossa, auttaa käyttäjää hahmottamaan omaa kulutuskäyttäytymistään ja tekemään sen perusteella päätöksiä. Graafinen esitys, kuten ajallinen kulutuskäyrä tai rahallinen arvio päivän energiakulutuksesta, voi lisätä tietoisuutta ja ohjata käyttäytymistä tehokkaampaan suuntaan. Kun energiankulutus tehdään näkyväksi ja helposti tulkittavaksi, käyttäjät pystyvät paremmin hahmottamaan, milloin ja mihin energiaa kuluu (Froehlich, 2009).

Hiilijalanjäljen ja ympäristönvaikutusten näyttäminen on osa HCI-pohjaisia palautejärjestelmiä. Pelkkä energiankulutuksen määrä tai sähkölaskun suuruus ei riitä motivoimaan käyttäjiä muutokseen, mutta kun energiankäyttö yhdistetään konkreettisiin ja helposti ymmärrettäviin ympäristövaikutuksiin, kuten hiilidioksidipäästöihin tai luonnonvarojen kulutukseen, voidaan käyttäjän tunnetasolla vaikuttaa tehokkaammin (Froehlich, Findlater & Landay, 2010).

Pelillistäminen tarkoittaa peliominaisuuksien, kuten pisteiden, tasojen ja haasteiden hyödyntämistä ei-peliin liittyvissä olosuhteissa. Pelillistämällä pystytään lisäämään käyttäjien motivaatiota ja sitoutumista (Interaction Design Foundation, 2016.). Pelillistäminen toimii energiankulutuksen hallinnassa käyttäytymisenmuokkaustyökaluna. Se tekee energiankäytön seuraamisesta ja vähentämisestä konkreettista ja samalla palkitsevaa. Kotitalouksien energiankulutusta käsittelevissä sovelluksissa pelillistämisen keskeiset elementit ovat reaaliaikainen

palaute, tavoitteiden asettaminen ja sosiaalinen vertailu. Nämä voivat lisätä energiansäästöä kokonaan ilman taloudellisia kannustimia. Käyttäjä saa välittömän palkinnon, kun saa kerättyä pisteitä ja erilaiset haasteet auttavat saavuttamaan pitkäaikaisen muutoksen (Johnson ja muut, 2017). Casals ym. (2019) tarkastelivat artikkelissaan pelillistämisen vaikutuksia kotitalouksien energiankulutukseen. Tarkoituksena oli selvittää, voiko pelillistäminen auttaa vähentämään energiankulutusta. Projektissa "Energy Cat" antoi käyttäjille palautetta energiankäytöstä ja käyttäjät pystyivät etenemään pelissä tekemälle energiatehokkaampia valintoja. Projektin tulokset osoittivat, että käyttäjien sähkönkulutus väheni keskimäärin noin 3,5%. Tulokset olivat siis positiivisia, mutta eivät tilastollisesti merkittäviä (Casals, 2019).

Käyttäytymisen muuttamisessa sosiaalinen puoli on erityisen tärkeä. Kun ihmiset voivat verrata omaa energiankäyttöään naapureihin tai ystäviin, syntyy kilpailua ja halua toimia paremmin. Tämä saattaa vaikuttaa pysyvämmiin kuin pelkkä kulutuslukujen näyttäminen (Interaction Design Foundation, 2016). HCI-suunnittelussa hyvä pelillistäminen tarkoittaa selkeää ja reaaliaikaista palautetta, jotta käyttäjä näkee heti, miten omat teot vaikuttavat energiankulutukseen ja omaan ympäristöön.

Seuraavaksi pelillistämisen eri elementtien konkreettiset vaikutukset energiansäästöön on koottu taulukoksi (taulukko 4). Taulukko havainnollistaa, miten pisteet, tasot, sosiaalinen vertailu ja haasteet ohjaavat käyttäjiä säästämään energiaa.

Taulukko 4 Pelillistämisen elementtien vaikutus energiansäästöön

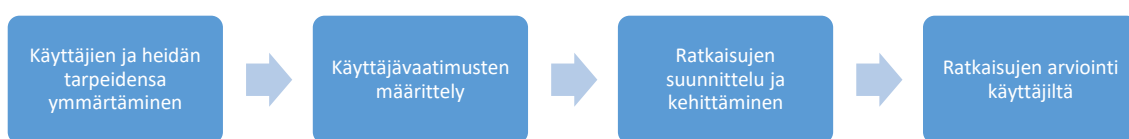
| Pelillistämisen piirre | Kannustava tekijä | Esimerkki |
|------------------------|-------------------------------|--|
| Pisteet | Välitön palkinto | ”Saat pisteitä, kun päivän kulutuksessa päästään tavoitteeseen” |
| Tasot | Pitkän aikavälin motivaatio | ”Nouset seuraavalle tasolle, kun vähennät kulutusta 10%” |
| Sosiaalinen vertailu | Sosiaalinen paine | ”Kotitalouksien vertailussa, sijoituit sijalle 4/100 vähäisimmän kulutuksen perusteella” |
| Haasteet | Tavoiteorientoitunut toiminta | ”yritä säästää 4% enemmän ensiviikolla” |

3.2 Käyttäjakeskeinen suunnittelu

Käyttäjakeskeisen suunnittelun tarkoitus on suunnitella järjestelmät käyttäjien tarpeiden mukaan (Interaction Design Foundation, 2016). Kun energiatehokkuutta tukevat järjestelmät suunnitellaan käyttäjälähtöisesti ja ne perustuvat arjen käytäntöihin, ne on helpompi ottaa käyttöön ja ne toimivat pidemmällä aikavälillä paremmin (Strengers, 2011). Käyttäjät sitoutuvat teknologian käyttöön, jos se tukee heidän olemassa olevia tapojaan ja tuo hyötyä ilman ylimääräistä vaivaa. Energiatehokkuuden parantaminen ei onnistu vain teknologian avulla, vaan myös ymmärtämällä käyttäjien arkea ja pyrkimällä parantamaan sitä.

Käyttäjakeskeinen suunnittelu etenee vaiheittain ja sen tavoitteena on varmistaa, että järjestelmät vastaavat käyttäjien tarpeisiin. Tutkimusvaiheessa selvitetään käyttäjien tarpeet ja mieltymykset. Näiden tietojen avulla määritetään seuraavassa vaiheessa

vaatimukset eli ne ongelmat ja haasteet, joita järjestelmän pitäisi ratkaista. Kun käyttäjien ongelmat on selvitetty, siirrytään suunnitteluvaiheeseen, jossa kehitetään ratkaisuja. Lopuksi arviointivaiheessa testataan ratkaisuja oikeilla käyttäjillä. Testauksen avulla tunnistetaan käytettävyysongelmia ja kehityskohteita. Palautetta aletaan parantaa saadun palautteen perusteella, jotta lopullinen järjestelmä on käyttäjäystävällinen. (Interaction Design Foundation, 2016). Käyttäjälähtöisen suunnittelun neljä keskeistä vaihetta on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1 Käyttäjälähtöisen suunnittelun vaiheet

Käyttäjälähtöistä suunnittelua on hyödynnetty esimerkiksi älykkäiden valaistusjärjestelmien kehittämisessä. Seničar ja Gabrijelčič Tomc tutkivat käyttäjäkeskeisen suunnittelun soveltamista älykkään valokytkimen kehittämisessä. Tutkimuksessa Käyttäjien tarpeita ja tottumuksia kartoitettiin ennen suunnittelua ja niiden pohjalta kehitettyyn prototyyppi, jota testattiin todellisilla käyttäjillä. Käytettävyydestien tulokset osoittavat, että käyttäjälähtöinen suunnittelu teki laitteen käytöstä intuitiivista ja tehokasta. 97,7% käyttäjistä onnistui perustoiminnoissa ilman lisäohjeita. Tutkimus osoittaa, että kun käyttäjien näkökulma otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa, teknologia on helpompi omaksua ja se tukee paremmin energiatehokasta käyttöä (Seničar & Gabrijelčič Tomc, 2019).

4 Pohdinta ja analyysi

Tässä luvussa pohditaan, mitä aiemmista luvuista voidaan päätellä rebound-ilmiöstä ja HCI:n merkityksestä energiatehokkuuden parantamisessa. Aiemmissä osioissa on selitetty, mitä rebound-ilmiö tarkoittaa, miten ihmisten energiakäyttäytyminen muodostuu ja millaisia HCI:hin perustuvia ratkaisuja on olemassa.

Tässä luvussa verrataan myös teoreettisia ratkaisuja arjen käytäntöihin. Tavoitteena on selvittää, riittääkö teknologian kehitys yksin vähentämään energian kulutusta ja lopuksi tarkastellaan vielä tulevaisuuden näkymiä.

4.1 Rebound-ilmiön haasteet energiansäästöissä

Rebound-ilmiö osoittaa, että energiatehokkuuden parantaminen ei ole yksinkertainen ratkaisu energiankulutuksen vähentämiseen. Vaikka teknologia mahdollistaa energiansäästön, käyttäjien toiminta voi usein kumota osan saavutetuista hyödyistä. Aiemmissä luvuissa esitellyt esimerkit, kuten energiatehokkaammat autot ja LED-valaistus havainnollistavat tätä hyvin. Kun energiatehokkuus paranee ja käyttökustannukset pienenevät, ihmisillä on taipumus käyttää laitteita enemmän, koska ne tuntuvat edullisemmilta ja ympäristöystävällisemmiltä.

Rebound-ilmiötä voidaan tarkastella myös käyttäytymistieteellisestä näkökulmasta. Ihmiset tekevät arjen energiavalinnat usein automaattisesti, eivätkä aina ymmärrä, miten heidän toimintansa vaikuttaa kokonaiskulutukseen. Lisäksi ihmisillä on taipumus oikeuttaa omaa kulutustaan sillä, että he käyttävät tehokasta teknologiaa. Tämä on yksi syy siihen, miksi energiatehokkuus ei aina johda energiansäästöön.

Rebound-ilmiön hallintaa vaikeuttaa myös se, että sen vaikutuksia on hankala mitata. Suorat vaikutukset, kuten laitteen lisääntynyt käyttö, voidaan havaita helpommin, mutta epäsuorat vaikutukset esimerkiksi se, että säästetyt rahat käytetään muihin kulutustarpeisiin, jäävät usein piiloon. Tämä tekee ilmiön tutkimisesta ja sen ehkäisemisestä monimutkaista.

Kokonaisuudessaan rebound-ilmiö haastaa ajatuksen siitä, että teknologia yksin ratkaisee energiankulutuksen ongelmat. Energiatehokkuuden todelliset hyödyt voidaan saavuttaa vain, kun otetaan huomioon ihmisten käyttäytyminen, motivaatio ja arjen valinnat. Siksi energiatehokkuuden kehittämisessä tarvitaan innovaatioiden lisäksi myös sosiaalista ymmärrystä siitä, miksi ihmiset toimivat tietyllä tavalla.

4.2 HCI:n rooli rebound-ilmiön vähentämisessä

HCI tarjoaa uusia keinoja vähentää rebound-ilmiötä, koska se keskittyy siihen, miten ihmiset käyttävät teknologiaa. Rebound-ilmiö syntyy käyttäjien toiminnasta, joten ihmisen rooli on siis keskeinen. Yksi tärkeä HCI:n sovellus on palautejärjestelmät, jotka näyttävät käyttäjälle reaaliaikaisesti, kuinka paljon energiaa kuluu. Kun kulutus on näkyvää, ihmiset ymmärtävät paremmin toimintansa vaikutuksia ja he voivat muuttaa käytöstään, esimerkiksi sammuttamalla turhia laitteita tai siirtämällä kulutusta halvemmille tunneille. Toinen keino on pelillistäminen, joka tekee energiansäästöä motivoivaa ja hauskaa. Pisteet, saavutukset ja vertailu muihin motivoi käyttäjiä säästämään energiaa pitkällä aikavälillä. Myös käyttäjä keskeinen suunnittelu on tärkeää. Kun laitteet suunnitellaan käyttäjien tarpeiden mukaan, ne ovat mielekkäämpiä käyttää.

5 Johtopäätökset

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli selvittää, miten HCI:n eli ihmisen ja tietokoneen välisen vuorovaikutuksen avulla voidaan vähentää rebound-ilmiötä ja parantaa energiatehokkuutta. Tutkielman perusteella voidaan todeta, että pelkkä teknologian kehittäminen ei yksinään riitä ratkaisemaan energiansäästön haasteita, vaan käyttäjien toiminta ja päätöksenteko ovat ratkaisevassa asemassa.

Rebound-ilmiö osoittaa, että energiatehokkuus voi joskus jopa lisätä energiankulutusta, jos käyttäjät alkavat käyttämään tehokkaampia laitteita enemmän tai käyttävät säästynyt rahat muuhun kulutukseen. Tämä tekee ilmiöstä monimutkaisen ja vaikeasti hallittavan. Ratkaisu ei ole pelkästään teknisessä suunnittelussa, vaan myös käyttäytymisen ja motivaation ymmärtämisessä.

Tutkimuskysymykseen ”Kuinka HCI voi auttaa vähentämään rebound-ilmiötä energiatehokkuuden parantamiseksi?” löytyi vastaus. HCI voi vähentää rebound-ilmiötä palautejärjestelmillä, pelillistämällä ja käyttäjäkeskeisellä suunnittelulla. Palautejärjestelmät lisäävät tietoisuutta energiankulutuksesta, pelillistäminen motivoi käyttäjiä säästötoimiin ja käyttäjäkeskeinen suunnittelu varmistaa, että teknologia tukee käyttäjien toimintatapoja. Näiden avulla energiatehokkuus voidaan yhdistää jokapäiväiseen elämään.

Tulevaisuudessa HCI:n rooli energiatehokkuuden tukemisessa todennäköisesti tulee kasvamaan. Älykotien ja automaation yleistyessä tarvitaan ratkaisuja, jotka tekevät energiansäästöstä helpompaa. Tekoälyn avulla voidaan todennäköisesti kehittää järjestelmiä, jotka oppivat käyttäjän tavat ja antavat yksilöllistä palautetta, mikä entisestään vähentäisi rebound-ilmiötä. Lisäksi olisi tärkeää tutkia, miten kulttuuriset ja sosiaaliset tekijät vaikuttavat käyttäjien käyttäytymiseen ja siihen, millaiset HCI-ratkaisut toimivat eri käyttäjäryhmillä.

Lähteet

- Aronen, J. (2.11.2023). *“Sosiaalinen paine tuottaa ilmastotekoja”* Ulkoministeriö. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://kehityslehti.fi/sosiaalinen-paine-tuottaa-ilmastotekoja/>
- Berkhout, P. H. G, Muskens, J. C., & Velthuisen, J. W. (18.5.2000). *Defining the rebound effect. Energy Policy*. Noudettu 14.1.2025 osoitteesta [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00022-7)
- Casals, M., Gangolells, M., Forcada, N., Macarulla, M., Fuertes, A. & Jones, R. (1.3.2020). *“Assessing the effectiveness of gamification in reducing domestic energy consumption: Lessons learned from the EnerGAware project”* Noudettu 18.1.2026 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109753>
- Contentsquare (7.11.2024). *“Usability Testing: what it is, its benefits, and why it matters”* Noudettu 29.4.2025 osoitteesta <https://contentsquare.com/guides/usability-testing/>
- Foster, B., & Mazur-Stommen, S. (2012). *Results from real-time feedback studies. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)*.
- Froehlich, J. (2009). Promoting energy efficient behaviors in the home through feedback: The role of Human-Computer Interaction. University of Washington. Noudettu 13.10.2025 osoitteesta: https://makeabilitylab.cs.washington.edu/media/publications/Promoting_Energy_Efficient_Behaviors_in_the_Home_through_Feedback_The_Role_of_Human-Computer_Interaction_mnfyndD.pdf
- Froehlich, J., Findlater, L & Landay, J. (2010). The design of eco-feedback technology. Conference on Human Factors in Computing Systems. Noudettu 13.10.2025 osoitteesta: <https://doi.org/10.1145/1753326.1753629>
- Hayes, A. (5.7.2024). *“Smart home: Definition, how they work, pros and cons.” Investopedia*. Noudettu 10.1.2025 osoitteesta <https://www.investopedia.com/terms/s/smart-home.asp>

- Interaction Design Foundation (5.6.2016). *What is User Centered Design (UCD)?* Noudettu 14.10.2025 osoitteesta <https://www.interaction-design.org/literature/topics/user-centered-design>
- Interaction Design Foundation (6.6.2016). *Human-Computer Interaction (HCI)*. Noudettu 25.2.2025 osoitteesta <https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-computer-interaction>
- Interaction Design Foundation (29.6.2016). *What is Gamification?*. Noudettu 21.9.2025 osoitteesta <https://www.interaction-design.org/literature/topics/gamification>
- Interaction Design Foundation (11.11.2021). *“What is A/B Testing?” Interaction Design Foundation*. Noudettu 29.4.2025 osoitteesta <https://www.interaction-design.org/literature/topics/a-b-testing>
- Johnson, D., Horton, E., Mulcahy, R., & Foth, M. (2017). *Gamification and serious games within the domain of domestic energy consumption: A systematic review*. Noudettu 8.4.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.134>
- Lumme-energia (10.10.2022). *”Älypatterit säästävät sähköä – olisiko jo aika vaihtaa vanhat uusiin?”* Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://www.lumme-energia.fi/blogi/alypatterit-saastavat-sahkoa>
- Nyberg, K. (2023). *”Tekoälyllä helpotusta rakennusten lämmittämiseen”* [Opinnäytetyö, Haaga-Helia ammattikorkeakoulu]. Noudettu 25.2.2025 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/802632>
- Paetz, A.-G., Dütschke, E. & Fichtner, W. (2012). *Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A study of Consumer Perceptions*. Noudettu 25.2.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1007/s10603-011-9177-2>
- Perumal, K., Prabukumar, M., & Barathkumar, E. (2020). Smart home: Energy measurement and analysis. 2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE). Noudettu 10.1.2025 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/340998559_SMART_HOME_Energy_Measurement_and_Analysis

- Seničar, V. & Gabrijelčič Tomc, H. (2019). *User-Centred Design and Development of an Intelligent Light Switch for Sensor Systems*. Noudettu 11.11.2025 osoitteesta <https://hrcak.srce.hr/file/320403>
- Signify (14.11.2022). "Personalized Philips Hue lighting helps to save energy" Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-releases/2022/20221114-personalized-philips-hue-lighting-helps-to-save-energy>
- Strengers, Y. (2011). Designing eco-feedback systems for everyday life. *Digital library*. Noudettu 14.10.2025 osoitteesta <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1978942.1979252>
- Terveyskirjasto (3.9.2021). "rebound-ilmiö" Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt04443>
- Umweltbundesamt (17.9.2019). *Rebound effects*. Noudettu 4.2.2025 osoitteesta <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/economic-legal-dimensions-of-resource-conservation/rebound-effects>
- Walzberg, J., Dandres, T., Merveille, N., Cheriet, M., & Samson, R. (2020). *Should we fear the rebound effect in smart homes?* Renewable and Sustainable Energy Reviews. Noudettu 10.1.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109798>