

Sakari Uusitalo, Pirkko Harsia

Kotitalouslaitteiden ohjaus

1 Laitteiden jaottelu ¹

Tehonhallinnan näkökulmasta kotitalouksien sähkölaitteet voidaan jaotella karkeasti jaksottaisesti käytettäviin laitteisiin, ulkoisen kuorman lämpölaitteisiin sekä sisäisen kuorman lämpölaitteisiin. Jaksottaisesti käytettävien laitteiden joustovarallisuus tehonohjaukseen muodostuu mahdollisuudesta vaikuttaa laitteiden käyntijaksoihin siten, että ne eivät ole käytössä samanaikaisesti. Tyypillisiä jaksottaisesti käytettäviä kotitalouslaitteita ovat esimerkiksi astianpesukone, pyykinpesukone sekä kuivausrumpu.

Ulkoisen kuorman lämpölaitteilla tarkoitetaan sellaisia laitteita, joiden avulla on tarkoitus vaikuttaa laitteiden ulkopuolisen kuorman lämpötilaan, kuten huonelämpötilaan, tuloilman lämpötilaan tai käyttöveden lämpötilaan. Tämän tyyppisillä laitteilla tehonohjaus muodostuu mahdollisuudesta vaikuttaa kyseisen kuorman lämpötilan asetusarvoon esimerkiksi sallimalla sen poiketa jonkin verran tavoitearvostaan. Tehojoustavuus on siis sidottu johonkin ulkopuoliseen kuormaan kuten rakennuksen massa- ja sitoutuneeseen lämpöenergiaan. Tehonohjauksessa on huomioitava vaikutukset rakennuksen olosuhteisiin. Tyypillistä tällaisille järjestelmille on, että niitä voidaan ohjata myös ulkoisella ohjausjärjestelmällä kuten rakennusautomaatiojärjestelmällä.

Sisäisen kuorman lämpölaitteille tyypillistä on, että niiden ohjaus, joustovarallisuus ja sähkönkulutus ovat samaa laitekokonaisuutta. Tällä tarkoitetaan laitteita, jotka varaavat lämpöenergiaa itsessään. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi jääkaappi ja pakastin sekä lämpöä varaavat sähköpatterit ja lämpöpumppujen sisältämät vesivaraajat. Termostaattisesti ohjattavat kuormat sopivat hyvin kysynnänjouston tarpeisiin, niiden lämpöä varastoivien ominaisuuksien johdosta. Esimerkiksi sähköpattereilla lämmitetty huoneilma ei jäähdy dramaattisesti, vaikka sähköpatterit olisivat hetken aikaa pois päältä. Kuormien ohjaukseen käytettävien ohjaus- ja säätömenetelmien tehokkuus riippuu käytettävissä olevien järjestelmärakenteiden ja kommunikointimenetelmien tasosta.

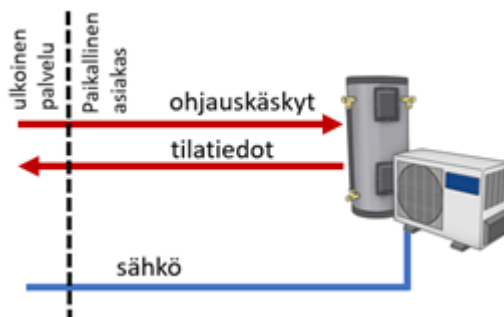
¹ Preparatory study on Smart Appliances (Lot 33), Task7 Policy and Scenario analysis, Study accomplished under the authority of the European Commission DG Energy under framework contract ENER.C3.2012-418-lot 1 2014/TEM/R/, Versio: 21.8.2017

2 Ohjaustavat

2.1 Laitteiden suora ohjaus

Suorassa ohjauksessa tehonohjaukseen osallistuva laite kommunikoi suoraan ulkopuolisen ohjausoperaattorin kanssa. Laite välittää ohjausoperaattorille nykyisen tilansa sekä mahdollisuuden osallistua tehonohjaukseen. Ohjausoperaattori määrittelee tarpeen tehon ohjaukselle ja lähettää laitteelle pyynnön osallistua esimerkiksi kysynnänjoustoon. Tarvittaessa laitteelle voidaan määritellä käyttäjän toimesta tiettyjä rajoitteita, jonka puitteissa sen sallitaan osallistua tehonohjaukseen. Tämänkaltaisessa ohjausmallissa laitteiden tulee sisältää kaksisuuntaisen kommunikoinnin mahdollistava liityntärajapinta, oman tilansa lähettämiseksi ja ohjaukäskeyjen vastaanottamiseksi.

Esimerkkinä tällaisesta laitteesta voisi olla älykäs pyykinpesukone, joka voidaan ohjelmoida pesemään pyykki tietyllä aikavälillä. Käyttäjä voi määritellä, että pyykin tulee olla pestynä klo 7.00 seuraavana aamuna. Pesukone arvioi pesuajan kestoksi 3 tuntia, joten sen tulisi käynnistyä viimeistään klo 4.00. Pesukone välittää tiedon tilastaan ohjausoperaattorille ja ilmoittaa käynnistävänsä pesuohjelman klo 4.00. Ohjausoperaattori voi kuitenkin pyytää pesukonetta käynnistymään aikaisemmin, jos se katsoo sen **olevan tarpeellista**.

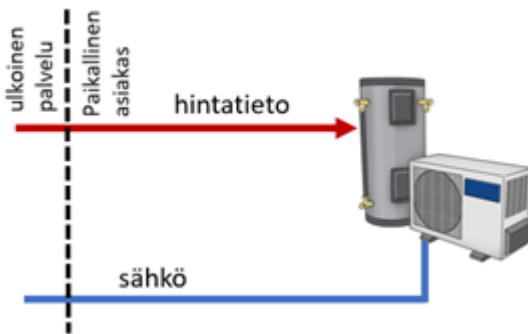


Kuva 2.1 Laitteen suora ohjaus

2.2 Laitteiden epäsuora ohjaus

Epäsuorassa ohjaustavassa ohjausoperaattori ei voi suoraan välittää ohjaukäskeyjä laitteelle, vaan laite tekee itsenäisesti päätöksen osallistua tehonohjaukseen, esimerkiksi sähkön hintatiedon perusteella. Laitteessa tulee olla liityntärajapinta, joka vastaanottaa tiedon esimerkiksi sähkön hinnasta ja tekee päätöksen käyttäytymisestään sen perusteella, tavoitteena minimoida sähkönkäytön kustannukset.

Käyttäjä voi esimerkiksi ohjelmoida pyykinpesukoneen pesemään pyykkiä välillä 22:00 – 7:00. Pyykinpesukone voi nyt tehdä itsenäisesti päätöksen käynnistää pesuohjelma klo 1:45, koska se katsoo sähkön hinnan olevan silloin edullisinta.

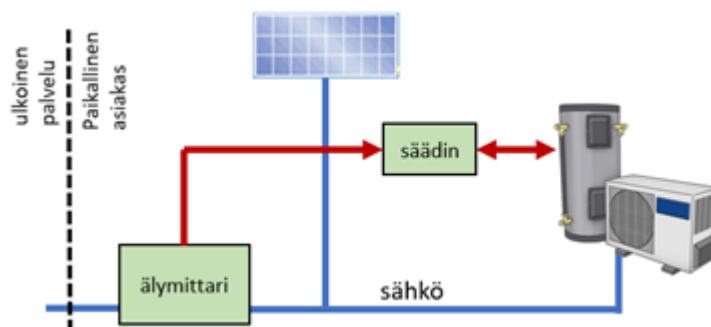


Kuva 2.2 Laitteen epäsuora ohjaus

2.3 Paikallinen sähkönkäytön optimointi

Paikallisessa sähkönkäytön optimoinnissa tarkoituksena on hyödyntää paikallisesti tuotettu sähkö mahdollisimman tehokkaasti. Asuinrakennuksessa paikallisesti sijaitseva säädin mittaa sähkön kokonaiskäyttöä ja tuotantoa ja tekee päätöksen sähkön käytön kasvattamisesta tai vähentämisestä. Älykäs kotitalouslaite kommunikoi paikallisen säätimen kanssa ja sallii säätimen ohjata toimintaansa määriteltyjen rajoitteiden puitteissa. Pyykinpesukone on voitu esimerkiksi ohjelmoida pesemään pyykkiä klo 7:00 – 18:00 välisenä aikana. Paikallinen säädin päättää lähettää pesukoneelle käskyn käynnistää pesuohjelma klo 14:00, sillä aurinkopaneelien tuotto näyttäisi olevan suurimmillaan silloin ja sähkön virtaus on jakeluverkkoon päin.

Tämän tapaisessa ohjausjärjestelyssä älylaitteella tulee olla samanlainen kommunikointirajapinta kuin suoran ohjauksen tapauksessakin, mutta nyt paikallinen säädin muodostaa ohjauskäskyt ulkopuolisen ohjausoperaattorin sijaan.



Kuva 2.3 Paikallinen sähkönkäytön optimointi

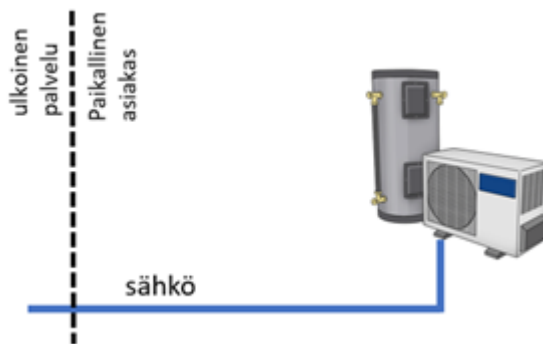
2.4 Laitteiden itsenäinen kysynnänjousto

Älykäs kotitalouslaite voi olla myös itsessään kykenevä analysoimaan sähköverkon tilaa. Älylaite saattaa esimerkiksi mitata sitä syöttävän sähköverkon jännitettä ja taajuutta ja

niiden perusteella tehdä päätöksiä toiminnastaan siten, että se on verkon kannalta edullista.

Esimerkiksi pyykinpesukone voi huomata kesken pesuohjelman, että sähköverkon taajuus putoaa alle raja-arvon, jonka perusteella se lopettaa veden lämmittämisen. Kun verkon taajuus on noussut riittävästi, jatkaa kone toimintaansa.

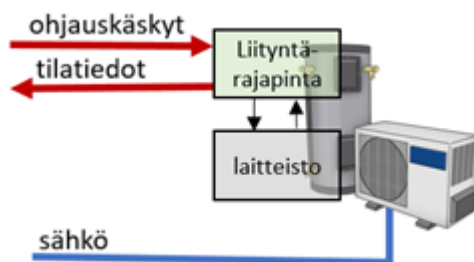
Tämän kaltainen ohjausjärjestelmä ei vaadi laitteelta reaaliaikaista kommunikointirajapintaa ulkopuolisiin järjestelmiin, mutta siinä tulee olla riittävän tarkat mittausslaitteet verkon tilan analysointiin.



Kuva 2.4 Laitteiden itsenäinen kysyntäjousto. Edellyttää laitteessa sähköverkon tilaa mittaavan älykkyden.

2.5 Kahdensuuntainen liityntärajapinta

Suoralla kahdensuuntaisella liityntärajapinnalla tarkoitetaan mahdollisuutta kahdensuuntaiseen tiedonvälitykseen kotitalouslaitteen ja tehonohjausjärjestelmän välillä. Laitteen tulee kyetä välittämään tehonohjausjärjestelmälle tieto esimerkiksi hetkellisestä tehontarpeestaan sekä joustopotentialistaan. Lisäksi laitteen tulee vastaanottaa tehonohjausjärjestelmästä ohjaukskäskyjä sekä välittämään tieto toteuttiko laite ohjaukskäskyn mukaiset toimenpiteet.

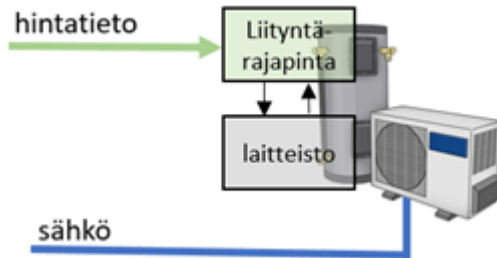


Kuva 2.5 Kahdensuuntainen liityntärajapinta

2.6 Yhdensuuntainen liityntärajapinta

Yhdensuuntaisella liityntärajapinnalla varustettu laite voi vastaanottaa ulkopuolisen tiedon esimerkiksi sähkön hinnasta, mutta se ei välitä tietoa omasta tilastaan tai joustopotentialistaan eteenpäin. Tämän tapaista liityntärajapintaa voidaan käyttää epäsuorassa

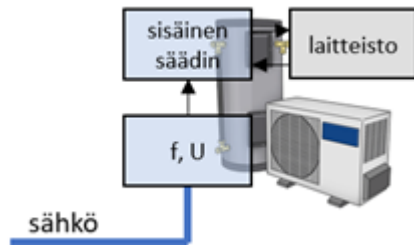
tehonohjauksessa, jossa laite tekee itsenäisesti päätöksen osallistumisestaan kysynnänjoustoon esimerkiksi sähkön hintatiedon perusteella. Tämä vaatii monesti itse laitteelta monimutkaisempaa ohjauslogiikkaa kuin suora ohjaus, jossa laitteisto välittää tiedon tilastaan eteenpäin ja päätökset ohjauksesta tehdään laitteen ulkopuolisen tahon toimesta.



Kuva 2.6 Yhdensuuntainen liityntärajapinta

2.7 Sisäinen mittausrajapinta

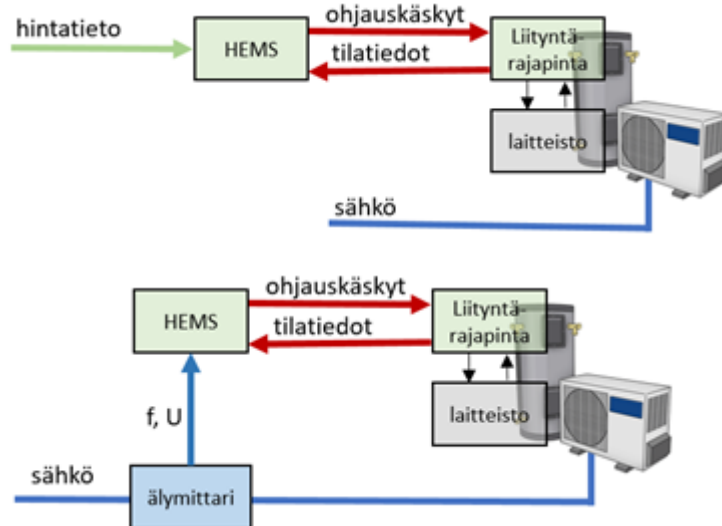
Sisäisellä mittausrajapinnalla varustettu laite tarkkailee itsenäisesti sähköverkon tilaa ja tekee sen perusteella päätöksiä toiminnastaan. Mitattavia suureita voivat olla esimerkiksi verkon jännite ja taajuus.



Kuva 2.7 Sisäinen mittausrajapinta

2.8 Kahdensuuntainen liityntärajapinta ulkoisella säätimellä

Kahdensuuntaisella liityntärajapinnalla varustettuja laitteita voidaan hyödyntää myös tilanteissa, jossa tarjolla on vain epäsuora ohjaustieto, kuten sähkön hintatieto. Tällöin paikallinen ohjauslogiikka ohjaa siihen liitettyjä laitteita niiden käyntitilan ja joustovarallisuuden perusteella. Lisäksi voidaan hyödyntää esimerkiksi älymittareita, jotka välittävät paikalliselle ohjauslogiikalle tiedon verkkoparametreista. Ohjauslogiikan tehtävänä on välittää ohjauskomennot ohjattaville laitteille tarpeen mukaan.



Kuva 2.8 Kahdensuuntainen liityntärajapinta ulkoisella säätimellä

2.9 Laitekohtaisen hintaseurannan käyttö tehon ohjauksessa

Reaaliaikaisessa hintaseurannassa kysynnänjoustoasiakkaat saavat sähkön reaaliaikaisen hintatiedon esimerkiksi sähkön vähittäismyyjältä. Hinnat muodostuvat tukkumarkkinoilla ja ne lähetetään asiakkaille markkinoiden sulkeutumisen mukaan, joka voi olla esimerkiksi tunneittain tai lähes jatkuvasti.

Hintasignaaleihin vastaaminen edellyttää kuormilta kykyä tehdä taloudellisuuteen perustuvia päätöksiä ja toteuttaa ne. Useiden kuormien vastaanottaessa samanaikaisesti sama hintatieto, saattaa ongelmaksi muodostua tehojen heilahtelu. Hintatietoihin perustuvan kysynnänjouston voidaan katsoa muistuttavan viiveellistä takaisinkytkentää. Markkinoiden sulkeuduttua, hintatiedot lähetetään kuormille ja kuormat vastaavat niihin, joko lisäämällä tai vähentämällä kulutusta. Viiveellisyys seuraa siitä, että kuormat tekevät nykyisen ajanhetken toimintapäätöksensä hintatiedolla, joka perustuu edellisen ajanhetken kuormitukseen verkossa. Pahimmillaan tämä voi aiheuttaa epävakautta energiajärjestelmässä. Tämän kaltaisiin tuloksiin ovat päätyneet esimerkiksi M. Roozebehani, M. Dahleh, and S. Mitter, "Volatility of power grids under real-time pricing," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, no. 4, pp. 1926 – 1940, 2012.

2.10 Ulkoisen ohjauksignaalin käyttäminen tehon ohjauksessa

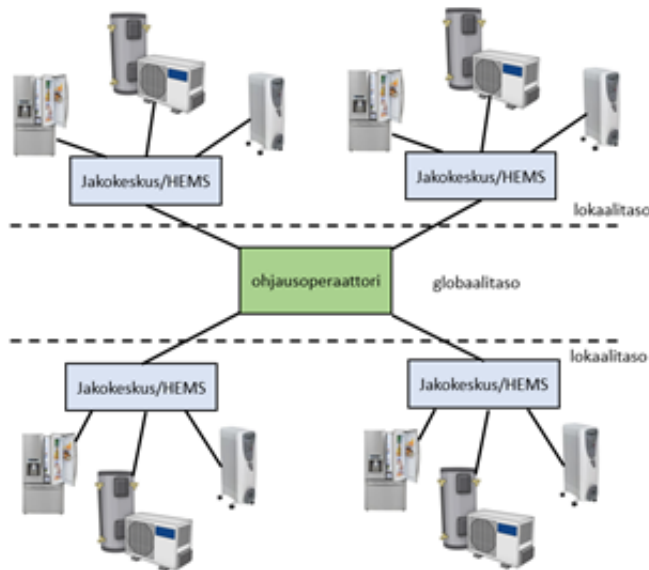
Ulkoisessa ohjauksessa ohjausoperaattori koordinoi kuormien käyttäytymistä. Operaattorin lähettämät signaalit voivat olla esimerkiksi asetusrvon muutoksia, tavoiteltu tehon käyttäytymismalli tai on/off-ohjaukomento.

Asiakkaat arvostavat yleensä sähkön käyttömahdollisuuksia enemmän kuin itse sähköä. Ulkoiseen ohjaukseen perustuvan kysynnänjouston tulisi tarjota häiriötön ohjausstrategia siten, että asiakas ei huomaa sen vaikutuksia tai vaikutukset ovat hyvin vähäisiä.

Esimerkiksi operaattorilla voi olla mahdollisuus ohjata asiakkaan lämminvesivaraajaa, mutta samalla se takaa veden lämpötilan pysyvyyden tietyllä vaihteluvälillä. Asiakas voi saada lisätua suostumalla suurempaan vaihteluväliin.

Käyttämällä ulkoista ohjaussignaalia, voidaan kysynnänjoustoon liittyvä päätöksenteko keskittää operaattorille. Operaattorin tulee ymmärtää ohjaamiensa kuormien kykyä vastata kysynnänjoustoon ja niiden aiheuttamia muutoksia. Tästä syystä on todennäköistä, että jonkinlaisen informaation jaksottainen välittäminen ohjausoperaattorille ohjattavien kuormien tilasta on välttämätöntä. Estimointitekniikoita hyväksikäyttäen ohjausoperaattorit voivat melko vähäiselläkin informaatiolla kyetä arvioimaan kuormien tilaa ja luoda riittävän hyviä ohjausstrategioita.

Kuvassa 7.11 on kuvattu eräs vaihtoehto fyysisestä ohjaushierarkiasta. Lokaalitasolla sijaitsevat kotitalouksien ohjattavat kuormat ja paikalliset tehonohjausjärjestelmät. Kuormista voi olla mitattavissa jotain paikallistason informaatiota välitettäväksi keskussäätimelle. Jakokeskuksella voidaan esimerkiksi mitata joko ohjattavien kuormien kokonaistehon tarvetta tai tarvittaessa myös yksittäisen, ohjattavan, kuorman tehon tarvetta. Ohjattavien kuormien tilaa (ON/OFF) estimoidaan ja tehontarvetta mitataan jakokeskuksilla ja kuormien tiedot toimitetaan globaalilla tasolla sijaitsevalle ohjausoperaattorille. Ohjauspäätökset tehdään globaalilla tasolla ohjausoperaattorin toimesta.



Kuva 2.9 Ulkoisen ohjaussignaalin käyttäminen tehon ohjauksessa

2.11 Teho-ohjaus Suomessa

Sähkötehon ulkoista ohjausta on Suomessa toteutettu vuosikymmeniä erityisesti sähkölämmityskohteissa. Verkkoyhtiön sähköenergiamittarilta tai sen lisälaitteelta on saatu tieto kosketintietona

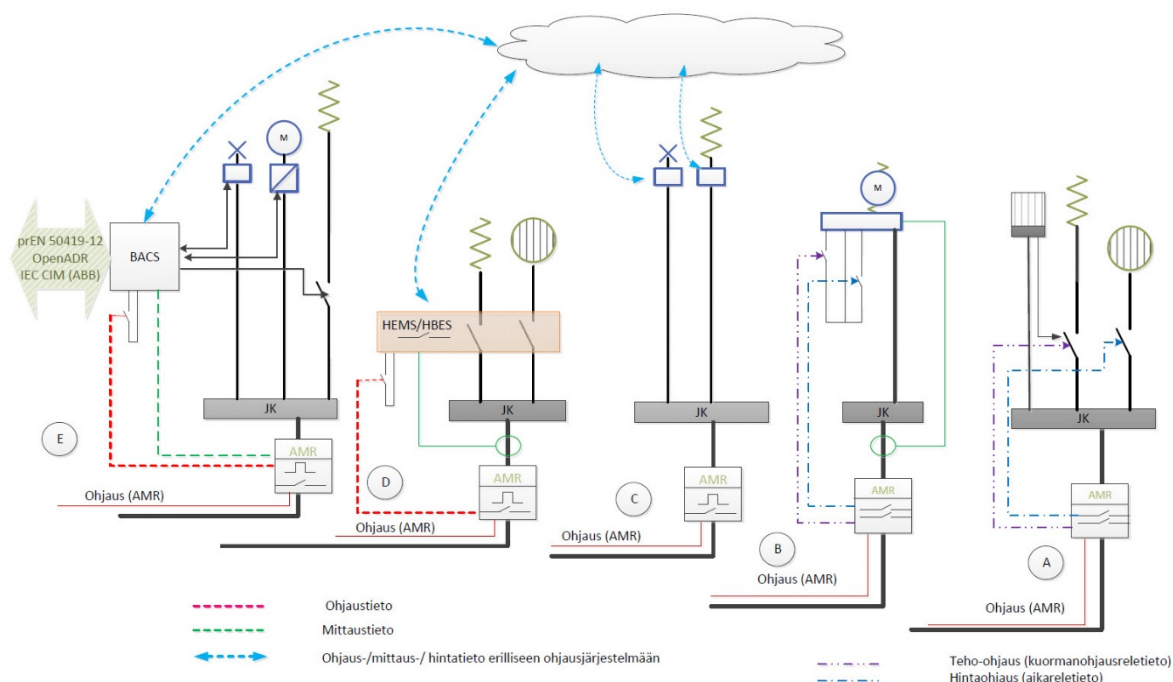
- Sähkön hintatariffista (kaksiaikatariffi)
- Tehorajoituksen tarpeesta (verkkokäskyohjaus).

Kuluttajan oma sähköverkon ohjaus on hoitanut sen, miten ohjaussignaaleihin on reagoitu. Ohjaustieto voi ohjata kuormien kontaktoreita tai ohjaustieto on välitetty kiinteistön mahdolliselle ohjausjärjestelmälle.

Verkkoyhtiön mittaritiedosta ei saada asiakkaalle suoraan luettua reaaliaikaista kulutus- tai tehotietoa eikä mittausjärjestelmä pysty myöskään toimittamaan muuta sähkön hintatietoa kaksiaikahinnan aikaohjauksen lisäksi.

Asiakkaille on tarjolla erillisiä ohjaustratkaisuja, jotka toimivat verkkoyhtiön mittausjärjestelmästä erillisinä tai sähköenergiamittareista luetaan erillislaitteella sähkönkulutuksen pulssitieto. Näissä ratkaisuissa on käytössä joko toimittajakohtainen ohjaus- ja laitekokoaisuus tai se kootaan ja ohjelmoidaan kussakin kohteessa räätälöitynä.

Laitteissa ja kodinkoneissa voi lisäksi olla laitekohtaisia omia ohjaustratkaisuja ja niihin liittyviä palveluita. Niiden hyödyntäminen tehohallinnassa edellyttää käyttäjältä omia toimia ja muun kulutuksen tietämystä, ellei laitteelle ole asennettu tieto esimerkiksi kokonaiskulutuksesta tai tehorajoitustarpeesta. (kuvassa 7.12 B-vaihtoehto).



Kuva 2.10 Suomessa käytössä olevia ohjausperiaatteita