

HEOMF – Kotitalouksien energian optimoinnin kypsyysmalli

White paper (luonnos) – versio 0.9

Päivämäärä: 10.3.2026

Tekijä: Juha Mujunen; sähkö- ja automaatioinsinööri

Tausta: opinnäytetyö; tekijän oma aineisto, käytännön toteutuskokemus

Kohderyhmä: kotitaloudet, laite- ja järjestelmätoimittajat, sähkö- ja automaatioammattilaiset, energiayhtiöt, media ja päätöksentekijät

Avainsanat: energian optimointi, kulutusjousto, varttitase, kypsyysmalli, mittaus, ohjausarkkitehtuuri, V2G, reservit

Tiivistelmä ja abstrakti

Johtotiivistelmä

Kotitalouksien energijärjestelmä on muuttumassa nopeasti “passiivisesta kulutuspiisteestä” kohti moniresurssista energiakeskusta: pientuotanto, lämpöpumput, sähköautot, akustot ja digitaaliset ohjausjärjestelmät tekevät kulutuksesta sekä mitattavaa että ohjattavaa. Samaan aikaan sähkömarkkina ja tasehallinta ovat siirtyneet varttitalolle: Suomessa siirryttiin 15 minuutin taseselvitysjaksoon 22.5.2023, ja 15 minuutin tasepoikkeaman hinnoitteluun 19.3.2025. [1] Lisäksi Euroopassa toteutettiin 15 minuutin markkina-aikayksikkö (MTU) vuorokausimarkkinoilla syksyllä 2025 (SDAC, toimituspäivä 1.10.2025). [2] Tämä kehitys nostaa esiin käytännön kysymyksen: millä kypsyystasolla kotitalous voi aidosti optimoida energiaansa (kustannus, teho, mukavuus, oma tuotanto ja mahdolliset markkinapalvelut), ja mitä se teknisesti edellyttää?

Tässä white paperissa esitetään **HEOMF (Home Energy Optimization Maturity Framework)** – kotitalouksien energian optimoinnin kypsyysmalli, joka jäsentää etenemisen viideksi tasoksi. Malli yhdistää (1) mittauksen ja datan saatavuuden, (2) ohjattavuuden ja arkkitehtuurin, (3) optimointitavoitteet ja kompromissit sekä (4) markkina- ja sääntelykontekstin (varttitase, reservit, V2G). Varttitaso ja mittausresoluution muutos (tunti → vartti) vaikuttavat suoraan siihen, millainen ohjaus on järkevää ja mihin tarkkuuteen optimointi perustuu; Suomessa mittaus voi olla tunti- tai varttitarkkaa ja siirtyä etenee portaittain. [3]

HEOMF mallintaa kehityspolun näin:

- **Taso 0:** ei optimointia (staattinen käyttö ja laitesäätö)
- **Taso 1:** manuaalinen tai yksinkertainen ajastus (hinnan mukaan)
- **Taso 2:** mitattu ja ohjattava järjestelmä (perusautomaatio, rajatut ohjaukset)
- **Taso 3:** orkestroitu järjestelmäoptimointi (ennusteet, rajoitteet, usean resurssin yhteispeli)

- **Taso 4:** markkina- ja verkko-osallistuva kotitalous (reservit, aggregointi, V2G-valmius)

Keskeinen johtopäätös on, että “optimointi” ei ole ensisijaisesti automaatiotekniikan tempu, vaan **arkkitehtuuri- ja luotettavuusongelma**: jos mittaus, rajapinnat, vikasietokäyttäytyminen ja vastuunjako (laitetaso vs. orkestrointi) eivät ole kunnossa, optimointi jää satunnaiseksi, hauraaksi tai jopa turvallisuusriskiksi. Esimerkiksi pientuotannon ja verkon turvallisen yhteiselon osalta viranomaisohjeistus korostaa, että invertterissä pitää olla automaatiikka, joka estää verkkoon syötön sähkökatkon aikana, ja verkkoon liittäminen edellyttää luvan jakeluverkonhaltijalta. [4] Samalla kotitalouden kyberturvallisuus korostuu, koska ohjaus kytkeytyy yhä tiiviimmin internetiin ja IoT-laitteisiin; kotiverkon segmentointi ja laitepäivitykset ovat perusoletuksia. [5]

White paper sisältää myös käytännön toteutusmallin ohjauksen kerrosarkkitehtuurille (Layer 0–3), suositukset rajapinnoille ja vikakäyttäytymiselle sekä käyttökelpoisen deployment-suosituksen (virtualisointi + kontit). Virtualisointialustaksi kuvataan tyypillinen malli, jossa hypervisor tarjoaa VM- ja konttitekniikat rinnakkain; esimerkiksi Proxmox VE yhdistää KVM-virtualisoinnin ja LXC-kontit samaan hallintapintaan. [6]

Lopuksi esitetään tiekartta sekä kotitalouksille että ammattilaisille. Lisäksi tarkastellaan yhteiskunnallisia vaikutuksia: varttihinnoittelu ja -tase, reservimarkkinat sekä V2G:n edellyttämät standardit ja interoperabiliteetti (mm. ISO 15118 -sarja) ovat merkittäviä ajureita seuraavan 3–5 vuoden aikana. [7]

Abstrakti

Tässä dokumentissa esitetään **HEOMF**-kypsyysmalli kotitalouksien energian optimointiin. Malli jäsentää optimoinnin kehityspolun viiteen tasoon mittauksen, ohjattavuuden, optimoinnin ja markkinaosallistumisen näkökulmista. White paper nojaa tekijän opinnäytetyöhön, kirjallisuuteen ja viranomais-/toimialalähteisiin (mm. varttitase, mittausresoluutio, reservit, kyberturva, sähköturvallisuus). Dokumentti tarjoaa käytännölliset vaatimukset mittaukselle ja ohjausarkkitehtuurille, suosittelee rajapintaperiaatteita ja vikasietokäyttäytymistä sekä esittää toteutuskelpoisen palvelin- ja deployment-arkkitehtuurin virtualisoinnin ja konttien avulla. [8]

Sisällysluettelo

- Tiivistelmä ja abstrakti
- Sisällysluettelo
- Tausta ja ongelmanasettelu
- Aineisto ja menetelmät
- HEOMF-malli ja tasokuvaukset
- Mittaus, ohjausarkkitehtuuri ja luotettavuus
- Markkina- ja politiikkaympäristö
- Suositukset, tiekartta, rajoitteet ja liitteet

Tausta ja ongelmanasettelu

Energiaympäristön muutos kotitalouksissa

Kotitalouksien optimointi ei tapahdu tyhjiössä. Suomi ja Pohjoismaat ovat siirtyneet varttiaikaan tasehallinnassa (15 minuutin taseselvitysjakso), ja sähkömarkkinat ovat muuttumassa yhä reaaliaikaisemmiksi; muutos on kytköksissä vaihtelevan tuotannon kasvuun ja tasapainotuksen tarkentamiseen. [9] Suomessa tasepoikkeamien hinnoittelu varttitasolla käynnistyi 19.3.2025, mikä kasvattaa taloudellista merkitystä varttien sisäiselle poikkeamalle tasevastuullisille osapuolille. [10] Euroopan vuorokausimarkkinoilla 15 minuutin MTU otettiin käyttöön syksyllä 2025, toimituspäivästä 1.10.2025 alkaen. [11]

Samaan aikaan kuluttajien arjessa yleistyvät ohjattavat kuormat ja joustot: esimerkiksi hintavaihtelujen hyödyntäminen “kulutusjoustop” kautta tarkoittaa käytännössä sähkön käytön siirtämistä edullisempiin ja usein vähäpäästöisempiin hetkiin, ei välttämättä kulutuksen kokonaisvähennystä. [12]

Miksi “älykoti” ei automaattisesti tarkoita energian optimointia

Moni kotitalous rakentaa automaatiota mukavuuden, turvallisuuden ja viihteen ympärille. Energian optimointi vaatii kuitenkin lisäksi:

- energian ja tehon **mittausta** (sähkö + lämpö),
- kuormien **ohjattavuutta** ja rajoituksia,
- selkeitä **rajapintoja** laitteiden ja orkestroinnin välillä,
- suunnitellun **vikakäyttäytymisen**,
- tietoturvallisen ja ylläpidettävän **ohjelmistoalustan**. [13]

Kysymys ei ole vain “osaako ohjelmisto ohjata laitetta”, vaan siitä, onko ohjaus turvallista ja luotettavaa koko elinkaaren ajan. Suomessa sähkölaitteiston haltija on vastuussa sähkölaitteiston turvallisuudesta ja kunnossapidosta. [14] Tämä tekee energian optimoinnista myös **riskienhallintatehtävän**, ei pelkkää kustannusoptimointia.

Problem statement

Tässä dokumentissa ratkaistaan kolme käytännön ongelmaa:

1) **Miten kotitalouden energian optimoinnin kypsyys voidaan luokitella** niin, että se on ymmärrettävä sekä kuluttajalle että ammattilaiselle?

2) **Mitä teknisiä edellytyksiä** (mittaus, ohjaus, data, arkkitehtuuri) kukin kypsyytaso vaatii, ja miten välttää hauras “yhden ohjelmiston varassa” -toteutus? [15]

3) Miten kypsyyssmalli sidotaan ajan tasalla olevaan markkina- ja sääntelykontekstiin (varttitase, mittausresoluutio, reservit, tehomaksukehitys, V2G)? [16]

Aineisto ja menetelmät

Kyselyaineisto (tekijän opinnäytetyö)

Tämän white paperin ydintausta on tekijän opinnäytetyöhön kuuluva **kysely (N=279)**. Tässä dokumenttiversiossa kyselyn yksityiskohtaiset metatiedot ovat osin **määrittelemättömiä**, koska kyselylomake, otantamenetelmä, ajankohta, vastaajien jakaumat ja täydet taulukot eivät ole mukana.

Tämän vuoksi dokumentti käyttää kyselyä ensisijaisesti:

- **kehikon validointiin** (mitä ihmiset mieltävät optimoinniksi),
- käytännön **käyttäjäpolkujen** tunnistamiseen (manuaalinen ohjaus → automaatio → orkestrointi),
- **terminologian** ja “kipupisteiden” tarkentamiseen (mittaus, laiteyhteensopivuus, luotettavuus).

Muut tietolähteet

Koska kotitalouden optimointi kytkeytyy voimakkaasti sähkömarkkinan aikarakenteeseen ja mittauskäytäntöihin, tämä white paper käyttää ensisijaisesti viranomais- ja toimialalähteitä:

- Suomen tasehallinnan ja varttitasen käyttöönoton kuvaus ja aikaleimat sekä datahub-ympäristön kehitys: [Fingrid\[17\]](#). [\[18\]](#)
- Mittauksen periaatteet ja varttimittauksen käsitteet: Energiavirasto[\[19\]](#) sekä Energia-alan ohjeistus (pdf). [\[20\]](#)
- Kulutusjouston ja ohjauksen käytännön opastus: Motiva[\[21\]](#). [\[12\]](#)
- Vuorokausimarkkinan (day-ahead) 15 min MTU -toteutus ja ajankohdat: Nord Pool[\[22\]](#). [\[23\]](#)
- Pohjoismainen taseselvitys ja käsikirjat: eSett[\[24\]](#). [\[25\]](#)
- Sähköturvallisuus, pientuotannon verkkoon liittäminen ja anti-landing -periaatteet: Tukes[\[26\]](#). [\[27\]](#)
- Kotiverkon, IoT-laitteiden ja peruskyberturvan ohjeistus: Kyberturvallisuuskeskus[\[28\]](#). [\[5\]](#)
- EV-latauksen standardointiviite (mode 1–4 ja lataustapojen jäsentely): SESKO[\[29\]](#). [\[30\]](#)

Lisäksi käytetään ensisijaisesti alkuperäisiä teknisiä dokumentaatiolähteitä ohjelmistoalustan perusteluihin:

- Virtualisointi (KVM, LXC) ja alustan kyvykkyys: Proxmox[\[31\]](#). [\[6\]](#)
- Konttitekniikan peruskäsitteet: Docker[\[32\]](#). [\[33\]](#)
- Home Assistantin asennusmallit (OS vs Container) ja vaikutukset laajennettavuuteen: (Home Assistantin viralliset dokumentit). [\[34\]](#)

- Aikasarjadata ja havainnoitavuus (TSDB, observability): InfluxData[35] ja Grafana[36]. [37]
- Viestinvälitys/kenttäintegraatio: OASIS[38] (MQTT-standardi). [39]

V2G- ja latausekosysteemissä keskeisiä viitteitä ovat myös:

- standardeihin nojaava interoperabiliteetti (ISO 15118) ja EU-vaatimusten kehitys: Euroopan unioni[40]. [41]
- latausjärjestelmien backend-rajapinnat (OCPP): Open Charge Alliance[42]. [43]
- alan yhteentoimivuusfoorumi ja V2G-testauksen edistäminen: CharIN[44]. [45]

HEOMF-malli ja tasokuvaukset

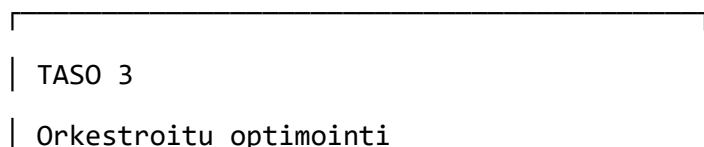
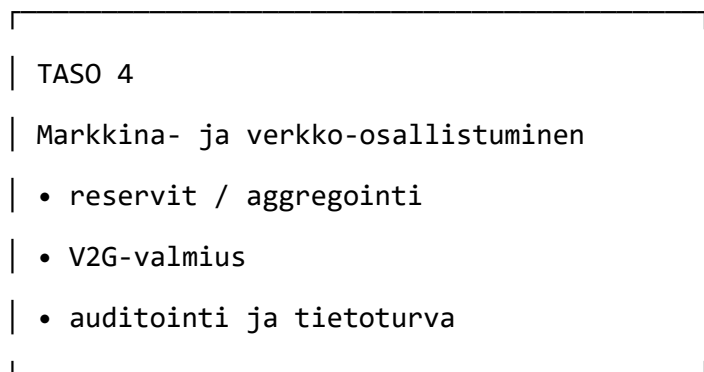
HEOMF:n perusidea

HEOMF ei kuvaa yhtä tuotetta tai yhtä teknologiaa. Se kuvaa **kyvykkyysskokonaisuutta**: mitä kotitalous pystyy mittaamaan, ohjaamaan ja optimoimaan – ja millä luotettavuustasolla. Malli on tarkoitettu:

- kotitalouksien itsearviointiin
- järjestelmäratkaisujen vaatimusten määrittelyyn
- ammattilaisten yhteiseksi sanastoksi (sähkö, automaatio, ICT, energia)
- keskustelun kehikoksi (media, päätöksenteko)

HEOMF-ladder (visualisointi)

HEOMF – Kotitalouksien energian optimoinnin kypsyysmalli



- ennusteet ja rajoitteet
- usean resurssin yhteispeli
- vikasetoisuus



- TASO 2
- Mitattu ja ohjattava järjestelmä
- perusautomaatio
- rajapinnat
- vartti- / tuntidata



- TASO 1
- Ajastus ja manuaalinen ohjaus
- hinnan mukaan
- yksittäiset kuormat



- TASO 0
- Ei optimointia
- staattinen käyttö
- laitteiden oma säätö

Tasojen vertailutaulukko

HEOM F-taso	Tyypillinen ohjauksen luonne	Datan taso	Ohjauksen laajuus	Luotettavuusvaatimus	Markkina-integraatio
0	Ei ohjausta (tai vain laitekohtainen)	Ei mittausta / satunnainen	Ei kuormien hallintaa	Matala (silti turvallisuus kriittinen)	Ei
1	Ajastimia ja manuaalia	Sähkön hinta + karkea kulutustieto	1–2 kuormaa (esim. lämminvesi, EV)	Matala–keskitaso	Epäsuora (hinta)
2	Automaatio + mittaus	tunti/vartti, peruslämpömittaukset	useita kuormia, rajoituksia	Keskitaso (vikatilat huomioidaan)	Epäsuora
3	Järjestelmäoptimointi	reaaliaikaisempi data + ennusteet	koko energiaketju (sähkö+lämpö)	Korkea (kerrosarkkitehtuuri)	Mahdollinen
4	Grid-service / markkinatoimija	auditointitasoinen telemetria	ohjaus myös ulkopuolelta rajoitetusti	Erittäin korkea	Kyllä

Taulukon markkina- ja varttitaso -tausta nojaa siihen, että tasehallinta ja kaupankäynti ovat siirtyneet 15 minuutin aikayksiköihin, mikä tekee varttitason data- ja ohjausketjusta keskeisen etenkin tasoilla 2–4. [46]

Kriteerit ja indikaattorit

HEOMF-tason määrittelyssä suositellaan käyttämään viittä arviointikategoriaa. Jokainen taso edellyttää “minimikriteerit”.

1) Mittaus (Measurement Readiness)

- sähkö: energia, teho, vaihe-/kokonaistaso, tuotanto
- lämpö: menovesi/paluu, varaajat, sisäolosuhteet
- resoluutio: tunti tai vartti (mittaus ja datapolku)

Mittausresoluution käsitteet (tunti vs vartti) ja siirtymä on kuvattu viranomais- ja toimialalähteissä; varttimittaukseen siirrytään portaittain ja datahubissa näkyvä resoluutio riippuu verkonhaltijan määrittelystä. [3]

2) Ohjattavuus (Control Readiness)

- kuormien ohjaus (lataus, lämmitys, varastot)
- rajoitukset (max teho, priorisointi)
- turvallisuus (anti-islanding, sähkötyöt, suojaus)

Pientuotannon osalta verkkoon liittämisen turvallisuus ja anti-islanding ovat keskeisiä; ohjeistuksessa korostuu, että järjestelmä ei saa syöttää verkkoon sähkökatkon aikana. [4]

3) Optimointi (Optimization Logic)

- tavoitefunktio (kustannus, teho, mukavuus, laitteiden elinikä)
- ennusteet (hinta, sää, kuormaprofiilit)
- rajoitteet ja “guardrails”

4) Arkkitehtuuri (Architecture & Interfaces)

- kerrosmalli (Layer 0–3)
- rajapinnat (data + ohjauskomennot)
- standardit (MQTT, OCPP, jne.)

MQTT on OASIS-standardi ja laajasti käytetty publish/subscribe -viestintään. [47] OCPP:n tavoitteena on yhtenäinen viestintä latauspisteiden ja taustajärjestelmän välillä, mikä tukee toimittajariippuvuuden vähentämistä. [48]

5) Luotettavuus ja tietoturva (Reliability & Security)

- vikasietoisuus (toiminta HA/orkestroija/PLC-vioissa)
- lokitus, varmistukset, päivityskuri
- kotiverkon segmentointi (IoT)

Kotiverkon ja IoT-laitteiden tietoturvaohjeissa korostetaan mm. laitepäivityksiä ja mahdollisuutta käyttää erillistä verkkoa IoT-laitteille. [49]

Tasokuvaukset ja esimerkit

Alla jokainen taso on kuvattu “mitä”, “mitä tarvitaan” ja “miltä se näyttää käytännössä” -mallilla. Esimerkit ovat yleistyksiä; laite- ja talokohtaiset erot ovat merkittäviä.

Taso 0: Ei optimointia (staattinen kotitalous)

- **Määritelmä:** Kotitalous käyttää energiaa ilman hintasignaaliin tai kuormien ohjaukseen perustuvaa toimintaa. Laitteet toimivat omilla sisäisillä säätöalgoritmeillaan (esim. lämpöpumpun oma ohjaus), mutta järjestelmätason optimointia ei ole.
- **Indikaattorit:** ei seurata vartti-/tuntikulutusta; ei ajastuksia; ei kuormien priorisointia.
- **Riski:** kustannus- ja tehopiikit syntyvät “vahingossa”; myös turvallisuus riippuu täysin laitetoimituksista ja sähköasennusten kunnosta, jonka ylläpidosta vastaa haltija. [50]

Taso 1: Ajustus ja manuaalinen ohjaus

- **Määritelmä:** Talous siirtää 1–2 kuormaa (tyypillisesti lämminvesi, ulkopuoliset varaajat tai sähköauton lataus) edullisemmille tunneille/vartille manuaalisesti tai ajastimilla.
- **Tarvitaan:** toimiva hintasignaali (pörssisähkö / spot), mahdollinen kulutusseuranta (datahub, sähkölasku), yksinkertainen ajustus.
- **Hyöty:** nopea “ensimmäinen askel” kulutusjoustopon hyödyntämiseen; Motivan mukaan ohjaus tarkoittaa nimenomaan käytön siirtämistä edullisiin hetkiin. [12]
- **Tyypillinen haaste:** optimointi jää “aikataulujen varaan” ja voi rikkoa mukavuutta (liian kylmä/kuuma) tai tuoda uusia riskejä (ylikuormitus, kuormien yhtäaikaisuus).

Taso 2: Mitattu ja ohjattava järjestelmä (perusautomaatio)

- **Määritelmä:** Kotitaloudessa on jatkuva mittaus ja automaatio, joka ohjaa useampaa kuormaa. Optimointi perustuu selkeisiin sääntöihin ja rajoitettuihin ohjaukomentoihin (esim. “max teho”, “boost”, “siirtoikkuna”).
- **Tarvitaan (minimi):**
 - Sähkön kulutus- ja tuotantodata vähintään tuntitasolla, mieluiten varttitasona, kun saatavilla. Vartti-/tuntimittauksen käsitteet ja portaittainen siirtymä on kuvattu viranomaistiedossa. [51]
 - Ohjattavat kuormat (EV-laturi, lämpöpumppu/varaaja, ohjattavat vastukset tms.)
 - Rajapintakerros (integraatiot) ja perusvalvonta
- **Tavoite:** “tee järkeviä siirtoja” ilman, että järjestelmästä tulee hauras.
- **Arkkitehtuuri:** erotetaan vähintään laite-/kenttälogiikka ja automaatio-ohjaus (ks. Layer-malli myöhemmin).

Taso 3: Orkestroitu järjestelmäoptimointi

- **Määritelmä:** Optimointi on erillinen toiminto, joka huomioi useita resursseja samanaikaisesti (sähkö + lämpö + mahdollinen varasto + EV) ja käyttää ennusteita (hinta, sää, käyttö).
- **Tarvitaan:**
 - aikasarjadata (teho/energia/lämpö) ja analytiikka
 - selkeät rajoitteet (mukavuus, laitesuojat, varakäyttö)
 - kerrosarkkitehtuuri ja vikasietosuunnittelu
- **Miksi varttitaso korostuu:** kun markkina ja tase elävät vartissa, myös mahdolliset kustannus-/teho vaikutukset voivat muotoutua varttitason piikkien kautta (esimerkiksi tasepoikkeaman ja tulevien tehomaksurakenteiden logiikka). [52]
- **Esimerkkipäätöksiä:**
 - EV lataus “hintaikkunassa” mutta rajoitettuna talon huipputehoa vasten
 - lämpövaraston lataus halvoilla jaksoilla, mutta COP- ja lämpötilaikkuna huomioiden
 - PV-tuotannon aikana oma kulutusmaksimointi (mutta ei verkon turvallisuutta rikkoen) [4]

Taso 4: Markkina- ja verkko-osallistuva kotitalous

- **Määritelmä:** Kotitalous kykenee tarjoamaan joustopaikkaa tai tehoresursseja markkinoille (suoraan tai aggregaattorin kautta), ja järjestelmä täyttää osallistumisen tekniset vaatimukset, testaukset, tietoliikenteen ja raportoinnin.
- **Tarvitaan:**

- markkinaprosessien ymmärrys (reservituotteet, testit, tiedonvaihto)
- telemetria ja ohjausvastuut (tasevastuu, aggregointi)
- kyberturvallinen ja auditoitavissa oleva toteutus
- **Tausta:** reservijärjestelmässä järjestelmävastaava hankkii reservejä markkinaehtoisesti ja reservituotteilla tasapainotetaan tuotantoa ja kulutusta reaaliajassa. [53]
- **Aggregointi:** itsenäisen aggregaattorin malli ja vastuut ovat erikseen kuvattuja; esimerkiksi itsenäinen aggregointi ei ole ollut (aineistossa kuvatun mukaisesti) mahdollista mFRR-tuotteessa, ja riippuvuudet tasevastuusta ovat keskeisiä. [54]
- **V2G-polku:** jos V2G toteutuu, vaaditaan yhteentoimivuutta ja standardivaatimuksia, joissa ISO 15118 -sarja on keskeinen. EU-tasolla standardeihin nojaava interoperabiliteetti on osa laajempaa sääntelykehystä (AFIR ja siihen liittyvät standardiviitteet). [55]

Mittaus, ohjausarkkitehtuuri ja luotettavuus

Mittausvaatimukset

Tässä esitetään suositeltu mittauslista, jossa erotellaan “minimi” (tasot 1–2) ja “suositus” (tasot 3–4). Mittausresoluution ja käsitteiden osalta on tärkeää erottaa:

- **tuntimittaus** ja **varttimittaus** (rekisteröintijakso),
- datahubiin toimitettu aika-askel (DSO:n mukaan),
- markkina-aikayksikkö (MTU) ja taseen aikayksikkö (ISP). [56]

Mittauslista (sähkö)

Signaali	Minimi	Suositus	Resoluutio (suositus)	Peruste / käyttö
Kokonaiskulutus (kW/kWh)	✓	✓	1–10 s sisäisesti + vartti aggregaatiksi	huipputeho, tehomaksuvalmius, kuormien synkronointi
Vaihekohtainen teho		✓	1–10 s	3-vaihekuormien hallinta, epäsymmetria
PV-tuotanto		✓	1–10 s	oma kulutus, akku/kuormaohjaus
Verkkotuonti/-vienti		✓	1–10 s	netotus, takaisin syöttö
EV-laturin teho	✓ (jos EV)	✓	1–10 s	latausstrategiat, rajoitus
Akun lataus/purku + SOC		✓	1–10 s	varaston ohjaus, elinikäkompromissit

Mittauksen periaatteita ja varttitason raportointia on kuvattu toimialaohjeissa, ja varttimittauksessa mittaustieto rekisteröityy jokaisen 15 minuutin jälkeen (esimerkkiteutus). [57]

Mittauslista (lämpö ja olosuhteet)

Signaali	Minimi	Suositus	Resoluutio	Peruste / käyttö
Ulkolämpötila	✓	✓	1–5 min	lämmitystarve, ennuste
Sisälämpö (1–3 mittapistettä)	✓	✓	1–5 min	mukavuusrajoite
Menovesi/paluu (LVP tms.)		✓	10–60 s	lämpötehon arvio, COP-optimointi
Varaajan lämpötilat (ylä/ala)	✓ (jos varaaja)	✓	30–300 s	lämpövaraston “SOC”
Lämmin käyttövesi (lämpö/virtaama)		✓	30–300 s	käyttövesiprofiilit
Kosteus/CO ₂ (valinnainen)		○	1–5 min	sisäilman laatu (mukavuus)

Kuormien priorisointi ja ohjauseriaatteet

Optimoinnin käytännön arvo syntyy siitä, että kuormia voidaan siirtää ja rajoittaa hallitusti. Alla on suositeltu priorisointitaulukko (yleismalli).

Luokka	Kuormat	Ohjauseriaate	Riskit / huomio
Kriittiset	jääkaappi/pakastin, peruslämmitys, kiertopumput, tietoliikenne	ei katkaista, vain rajoitettu optimointi	turvallisuus ja asumiskelpoisuus
Siirrettävät	käyttövesivaraaja, varaava lämmitys, EV-lataus, sauna	siirto halpoihin jaksoihin, tehorojoitukset	mukavuusrajoite, yhtäaikaisuuden hallinta
Opportunistiset	pyykki/kuivaus, astianpesu, lisälämmitys	PV-ylijäämä, halvat jaksot	käyttäjäkokemus

Tulevien verkkotariffien kehitys voi nostaa tehoaipeun merkitystä entisestään; Energiavirasto on esittänyt verkkopalvelumaksujen rakenteiden valtakunnallista yhdenmukaistamista ja pitkää siirtymäaika, jossa määräyksen voimaantulo olisi 1.1.2029. [58]

Layer 0–3 ohjauserkitehtuuri

Tässä ehdotetaan kotitalouden optimointiin nelikerroksista mallia. Kerrosten idea on **vastuunjako ja vikasietoisuus**: järjestelmä ei saa olla yhden ohjelmiston varassa.

flowchart TB

L0["Layer 0 Energiajärjestelmä (PV, verkko, akku, lämpö, EV, kuormat)"]

L1["Layer 1 Kenttäohjaus (PLC/edge, kontaktorit, mittaukset,")

```
turvalogiikka)"]
  L2["Layer 2 Automaatio (HMI/UI, integraatiot, perusautomaatiot)"]
  L3["Layer 3 Optimointi (orkestrointi, ennusteet, päätökset)"]

L3 -->|tavoitteet & rajoitteet| L2
L2 -->|ohjauskomennot (rajattu)| L1
L1 -->|fyysinen ohjaus| L0

L0 -->|mittausdata| L1
L1 -->|telemetry| L2
L2 -->|aikasarjat / tilat| L3
```

Perustelu:

- Kenttäohjauksen rooli korostuu erityisesti turvallisuus- ja sähköverkkoon kytkeytyvissä toiminnoissa. Pientuotannon verkkoon liittämisen perusvaatimus (anti-islanding) on esimerkki siitä, että “ohjelmisto-ohjaus” ei voi sivuuttaa sähköturvallisuutta. [59]
- Automaatio- ja optimointikerrosten erottaminen tekee mahdolliseksi, että käyttöliittymä ja integraatiot voivat elää, vaikka optimointialgoritmi vaihtuu. Tämä suojaa “toteutuslukkiutumiselta” ja vähentää järjestelmän haurautta.
- Peruskyberturva (kotiverkon suojaus ja IoT-laitteiden segmentointi) on edellytys tasoille 2–4. [5]

Rajapinnat

Tavoite on minimoida “suora säätäminen” ja maksimoida “tavoiteohjaus”. Rajapinnat kannattaa jäsentää kolmeen luokkaan:

1) Telemetry (read-only)

- teho, energia, lämpö, SOC, tilat

2) Rajoitekomennot (bounded control)

- max_power_kw, allowed_window, charge_target, heat_boost

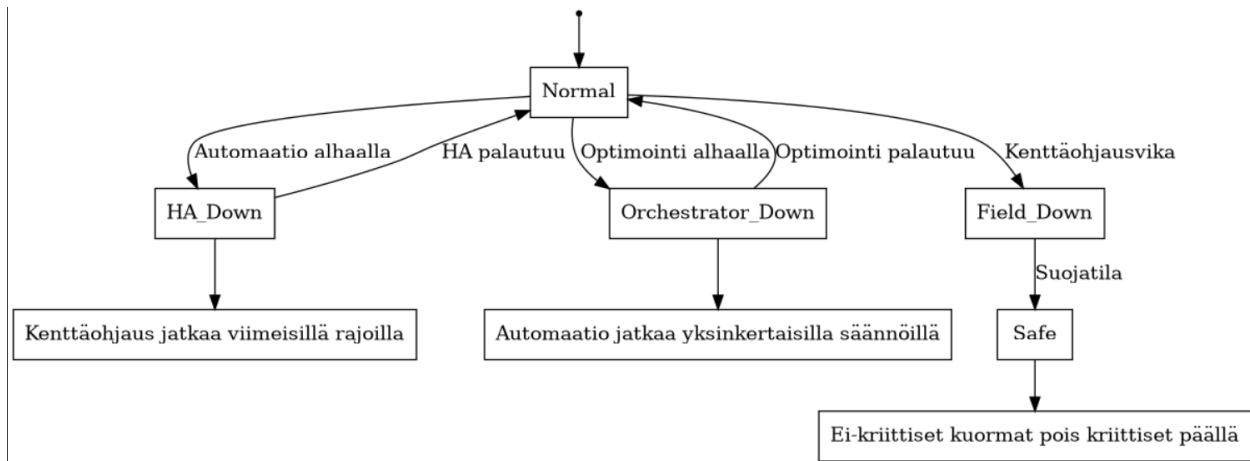
3) Käyttötilat (modes)

- normal, away, holiday, grid_emergency, islanding (jos relevantti)

Viestinvälityksessä publish/subscribe -malli on tyypillinen; MQTT on OASIS-standardi ja sitä käytetään laajasti IoT-ympäristöissä. [39] EV-latauksen taustajärjestelmäintegraatiossa OCPP:n tavoitteena on tarjota yhtenäinen tapa kommunikoida latauspisteiden ja keskitettyjen järjestelmien välillä. [48]

Vikatilat ja “fail-safe” käyttäytyminen

Vikasietoisuus on olennainen osa kypsyytystasoa. Alla on suositeltu minimikäyttäytyminen tasoille 2–4:



Sähköturvallisuuden näkökulmasta on tärkeää huomata, että verkkoon kytkeytyvät tuotanto- ja latausjärjestelmät edellyttävät turvallisuusperiaatteiden noudattamista: esimerkiksi invertterin pitää estää verkkoon syöttäminen sähkökatkon aikana, ja verkkoon liittäminen tehdään luvanvaraisesti jakeluverkonhaltijan kanssa. [4]

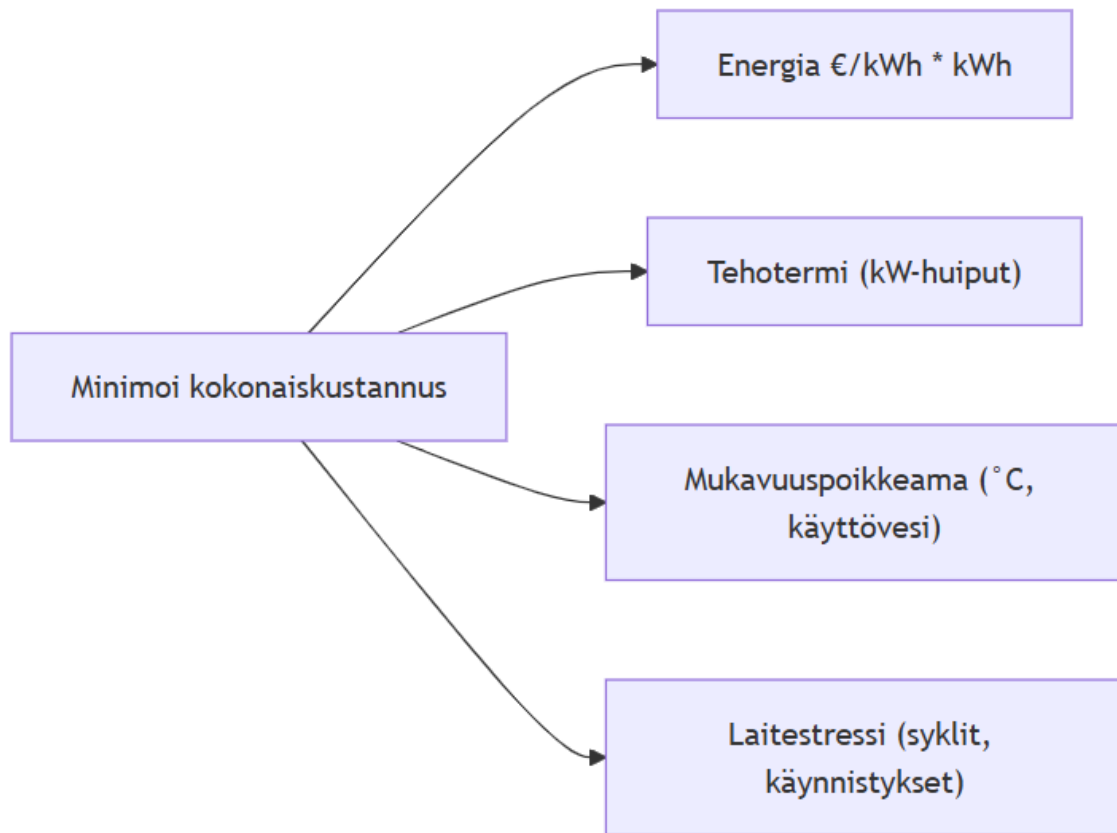
Optimointitavoitteet ja kompromissit

Kotitalouden optimointi on tyypillisesti **monitavoiteoptimointia**. Keskeiset tavoitteet:

- **Eurot/kk:** energian ostokustannus (spot + marginaali)
- **kW-huippu:** tehopiikit (tehomaksuvalmius, sulakekoko, mukavuus)
- **Mukavuus:** sisälämpötila, käyttövesi, arjen aikataulut
- **Oma tuotanto:** PV-omakäyttö, vienti/osto
- **Laitteiden elinikä:** akuston sykliä, lämpöpumpun käynnistysjaksot
- **Markkinatulot:** reservit/aggregointi (tasolla 4)

Erityisesti “teho” nousee keskeiseksi, jos tariffirakenteet yhtenäistyvät tehoon perustuvammiksi; Energiaviraston esityksissä on kuvattu pitkä siirtymäaika ja tavoitteet rakenteiden yhtenäistämiseksi. [60]

Yksinkertainen tapa kuvata optimointi on tavoitefunktio, jossa kustannus-, mukavuus- ja riskitermit painotetaan:



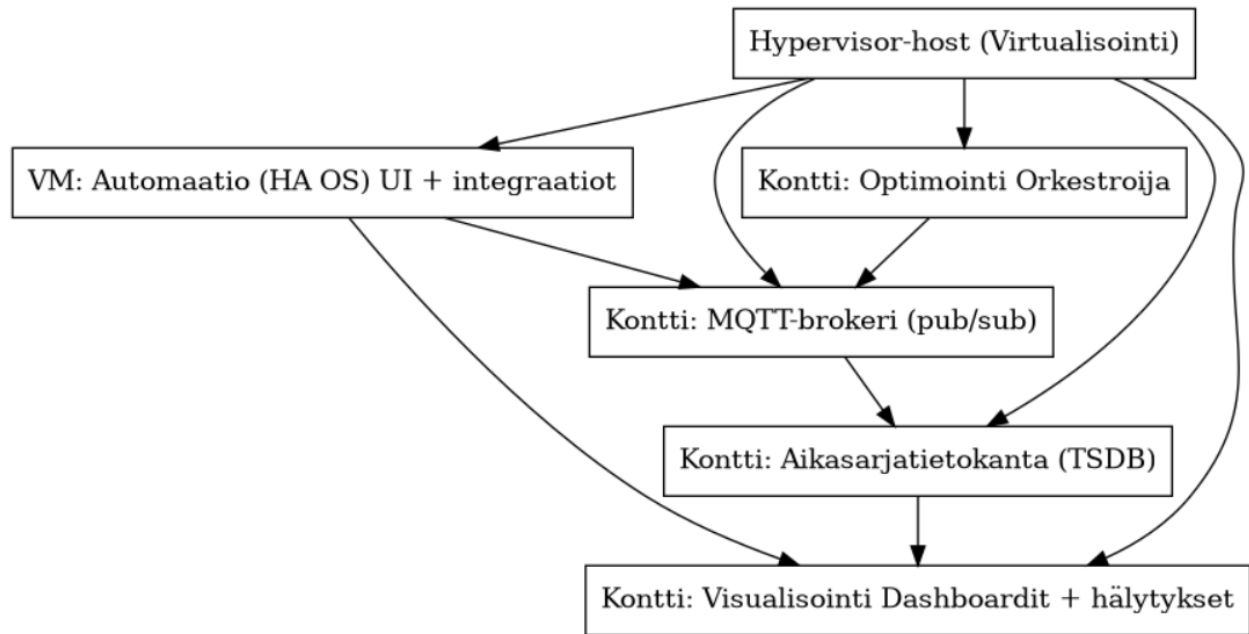
Palvelin- ja deployment-suositus (virtualisointi + kontit)

Tasoilla 2–4 energiajärjestelmä tarvitsee usein paikallisen “pienen palvelimen” (edge/home server), jotta ohjaus ei ole riippuvainen pilvipalvelun saatavuudesta. Käytännössä hyvä perusmalli on:

- virtualisointialusta (VM:t ja kontit)
- yksi “appliance”-tyyppinen automaatioympäristö (esim. Home Assistant OS)
- erilliset kontit datalle ja optimoinnille
- varmistukset ja päivityskuri

Virtualisointialustassa voidaan hyödyntää ratkaisua, jossa sama ympäristö tukee KVM-virtuaalikoneita ja LXC-kontteja; Proxmox VE kuvaa tämän perusmallin (KVM + LXC) ja tarjoaa keskitetyn hallinnan. [6] Konttien perusidea on, että ne ovat eristettyjä prosesseja, jotka jakavat host-käyttäjärjestelmän ytimen ja ovat siksi usein kevyempiä kuin virtuaalikoneet; Dockerin dokumentaatio kuvaa eron konttien ja VM:ien välillä. [61]

Suosittelut looginen deployment (esimerkkiluonnos):



Home Assistantin asennusvaihtoehdot vaikuttavat siihen, onko käytettävissä “apps/add-ons” ja kuinka paljon ylläpito jää käyttäjälle; virallisissa ohjeissa todetaan mm. että Container-asennus edellyttää ulkoista konttialustaa ja päivitysten hallinta on käyttäjän vastuulla, ja että Container-asennuksissa ei ole käytössä samoja “apps”-ominaisuuksia kuin OS-asennuksessa. [34]

Aikasarjadatan osalta TSDB on käytännöllinen, koska energiamittaus ja olosuhdedata ovat ajastettuja mittauksia; InfluxData kuvaa aikasarjatietokannan luonnetta time-stamped datan optimointiin. [62] Järjestelmän “havainnoitavuus” (observability) tukee luotettavuutta ja häiriöiden hallintaa; Grafanan dokumentaatio kuvastaa observabilityn perusidean – järjestelmän sisätila nähdään sen tuottamasta datasta. [63]

Case study: oma talo (rakenne ja opit)

Tässä luvussa esitetään **case-malli**, joka on tarkoitettu täydennettäväksi tekijän omilla mittaus- ja arkkitehtuuritiedoilla. Tässä dokumenttiversiossa tarkat laite- ja mittausarvot ovat **määrittelemättömiä**.

Arkkitehtuuri (täydennettävä):

- Energialähteet: verkko, PV (määrittelemätön), mahdollinen akku (määrittelemätön)
- Kuormat: lämpöpumppu (määrittelemätön), käyttövesi/varaaja (määrittelemätön), EV-lataus (määrittelemätön)
- Kerrosmalli: Layer 1 kenttäohjaus (määrittelemätön laite), Layer 2 automaatio, Layer 3 optimointi

Mittaukset (täydennettävä):

- kokonaisteho, EV-teho, PV-tuotanto, varaajan lämpö, sisä-/ulkolämpö

Päätöslogiikka (täydennettävä):

- hinnan ja tehon yhteispainotus
- mukavuusrajat
- failover-politiikat

Keskeiset opit (yleistettäväksi):

- rajaa ohjaus “tavoitteisiin”, älä “mikrosäätöön”
- mittaus ennen optimointia
- vikatilojen suunnittelu heti alussa
- tietoturva ja ylläpito eivät ole lisäfeature, vaan osa toiminnallisuutta

Sähköturvallisuuden näkökulmasta case-osuudessa suositellaan eksplisiittisesti dokumentoimaan myös se, miten pientuotanto on liitetty verkkoon ja miten anti-islanding ja lupaprosessi on hoidettu (jos relevantti), koska nämä ovat kriittisiä turvallisuuskohtia. [4]

Markkina- ja politiikkaympäristö

Varttitase ja varttihinnoittelu: miksi se muuttaa optimointia

Suomessa 15 minuutin taseselvitysjakso (varttitase) otettiin käyttöön 22.5.2023, ja tasepoikkeamien hinnoittelu varttitasona 19.3.2025. [64] Vuorokausimarkkinassa 15 minuutin MTU otettiin käyttöön Euroopassa syksyllä 2025, toimituspäivästä 1.10.2025. [65]

Kotitalouden näkökulmasta tämä tarkoittaa vähintään:

- järjestelmät elävät kohti varttitasoista optimointia (hinta-aikaikkunat tarkentuvat)
- mittausresoluutio (tunti/vartti) muuttuu käytännön optimointikyvykkyudeksi
- datahub- ja mittaustietoketjujen merkitys kasvaa (kulutuksen ja tuotannon seuranta) [66]

Mittaus siirtyy varttiin portaittain; Energiavirasto kuvaa tunti- ja varttimittauksen käsitteet ja portaittaisen siirtymän. [67] Myös sähköalan ohjeistuksessa käsitellään varttimittauksen rekisteröintiä ja mittaustietoon liittyviä periaatteita. [57]

Reservit ja aggregointi

Reservimarkkinoiden rooli on tehotasapainon hallinta, ja reservituotteilla tasapainotetaan tuotantoa ja kulutusta reaaliajassa; Fingrid kuvaa tehtävän ja markkinatoiminnan perusmallin. [68] Käytännön osallistuminen edellyttää teknisen kyvykkyuden osoittamista (esim. säätökokeet tietyille tuotteille) ja toimivaa tiedonvaihtoa. [69]

Aggregoinnin osalta “itsenäisen aggregaattorin” mallissa korostuvat vastuut ja tasepoikkeamien taloudellinen vastuu; aineistossa todetaan myös rajoitteita tuotekohtaisesti (esimerkiksi itsenäinen aggregointi ei ole vielä mahdollista mFRR-tuotteessa kyseisen tietopaketin mukaisesti). [54] Tämä on olennainen HEOMF-taso 4 -kriteeri: kotitalous ei ole vain “teknisesti kykenevä”, vaan sen täytyy toimia markkinomallin ja vastuiden puitteissa.

V2G ja standardipohjainen yhteentoimivuus

V2G (vehicle-to-grid) on kypsyytaso 4:n keskeinen “tulevaisuuspolku”, mutta se nojaa standardeihin ja interoperabiliteettiin:

- ISO 15118 -sarja (mm. Plug & Charge ja V2G-toiminnallisuudet) on keskeinen tekninen viite. [70]
- EU:n vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuriasetus (AFIR) ja siihen liittyvät standardiviitteet ohjaavat latausekosysteemin standardointia; delegated act -liitteessä viitataan EN ISO 15118-20 -yhteentoimivuuteen tietyissä käyttöönottoikkunoissa. [41]
- Latausjärjestelmissä taustajärjestelmärajapinta (OCPP) tähtää yhteiseen tapaan kommunikoida latauspisteiden ja keskitettyjen järjestelmien välillä sekä vähentää toimittajalukkiutumista. [43]

Kotitalouksien V2G-kontekstissa on lisäksi huomioitava sähköturvallisuus ja verkkoyhteistyö. Esimerkiksi pientuotannon verkkoon liittämiseen liittyvät lupaprosessit ja turvallisuusperiaatteet osoittavat, että tehoa ei “vain syötetä” verkkoon ilman vaatimusten ja verkkoyhtiön ehtojen täyttymistä. [4] (Tämä periaate on yleisesti relevantti myös V2G-kytkennöissä, vaikka yksityiskohtainen V2G-verkkoliityntä on tässä dokumentissa määrittelemätön.)

Tehomaksut ja kotitalouden ohjauksen kannustimet

Tehomaksukeskustelu on noussut näkyvästi esiin Suomessa. Energiaviraston esityksissä korostuu valtakunnallinen yhdenmukaistaminen ja pitkän siirtymäajan tarve, voimaantulon ollessa esitetysti 1.1.2029. [71] Mediassa on kuvattu luonnosten vaikutuslogiikkaa, jossa tehomaksu määräytyisi 15 minuutin huipputehon mukaan tietyn raja-arvon ylittävästä osasta (lähteenä uutisjulkaisu). [72]

HEOMF-mallissa tämä tarkoittaa: vaikka kotitalous optimoi energiahintaa tasoilla 1–2, merkittävä lisähyöty voi syntyä vasta, kun tehoa voidaan mitata ja rajoittaa luotettavasti (tasot 2–3) ja kun kuormien yhteiskäyttö on hallittua.

Suosituksset, tiekartta, rajoitteet ja liitteet

Suosituksset kotitalouksille

Aloita oikeasta päästä: mittaus → ohjaus → optimointi.

Koska vartti-/tuntimittaus ja datahubin resoluutio riippuvat mittaustavasta, ensimmäinen käytännön askel on varmistaa, mitä dataa saat ja missä resoluutiassa. Varttimittaus etenee portaittain, ja datahubiin ladattava resoluutio seuraa verkonhaltijan toimittamaa aika-askelta. [51]

Pidä turvallisuus eksplisiittisesti mukana.

Jos sinulla on pientuotanto, varmista verkkoon liittämisen turvallisuus ja lupaprosessi.

Invertterin anti-islanding -vaatimus ja verkkoon liittämisen lupakäytäntö on kuvattu viranomaisohjeissa. [4] Muista myös, että sähkölaitteiston haltijalla on vastuu turvallisuudesta. [14]

Segmentoi kotiverkko ja huolehdi päivityksistä.

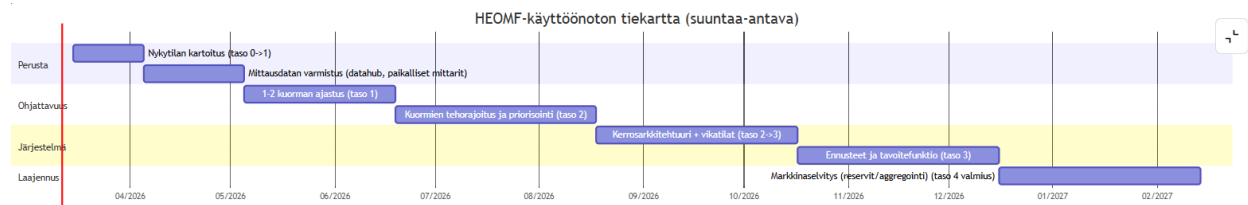
IoT-laitteiden tietoturva on kotiverkon tietoturva; ohjeissa suositellaan mm. erillisiä verkkoja IoT-laitteille ja päivitysten ylläpitoa. [5]

Suositukset ammattilaisille ja ratkaisutoimittajille

- Suunnittele ratkaisu kerrosarkkitehtuurina (Layer 0–3), jotta järjestelmä ei romahda yhden komponentin vikaantuessa.
- Toteuta rajapinnat tavoite- ja rajoiteohjauksena, ei laitteiden sisäisten parametrien “mikrosäätönä”.
- Dokumentoi vikatilat ja testaa ne (HA alas, optimointi alas, kenttäohjausvika).
- Valitse deployment-malli, jossa automaatio voidaan ajaa “appliance”-tyyppisenä VM:nä ja optimointi/datanhallinta konteissa; Proxmox VE:n KVM+LXC -malli ja Dockerin konttikonsepti tukevat tätä yhdistelmää. [73]

Käyttöönoton tiekartta (12 kuukauden malli)

Alla on konkreettinen aikataulu, joka on yhteensopiva HEOMF-tasojen kanssa. (Ajat on suuntaa-antavia; sovita oman talon ja laitteiden mukaan.)



Rajoitteet

1) Laiteriippuvuus on suuri.

Kotitalouksien laite-ekosysteemeissä on suuria eroja (lämpöpumput, invertterit, EV-laturit, tariffit), ja yhteentoimivuus voi olla merkittävin käytännön este.

2) Markkinapolut muuttuvat.

Reservimarkkinoiden tuotteet, testaus ja aggregointimallit elävät; siksi taso 4 edellyttää jatkuvaa seurantaa. [74]

Lähteet

- [77] Suomen siirtyminen 15 minuutin taseselvitysjaksoon (tiedote ja kuvaus).
- [10] 15 minuutin taseselvitysjakso ja tasepoikkeaman hinnoittelu (aikaleimat).
- [78] 15 minuutin MTU vuorokausimarkkinoilla (SDAC) ja go-live (1.10.2025).
- [3] Sähkön mittauksen käsitteet (tunti/vartti), siirtymä ja mittausohjeistus.

- [12] Kulutusjousto ja sähkönkäytön ohjaus kotona (Motiva).
 - [79] Reservien perusteet ja markkinoille osallistuminen (Fingrid).
 - [54] Itsenäinen aggregaattori (vastuut ja rajaukset).
 - [80] Nordic imbalance settlement handbook (15 min ISP).
 - [81] Sähköturvallisuus ja pientuotannon verkkoon liittäminen (Tukes, Finlex).
 - [5] Kotiverkon ja IoT-laitteiden tietoturva (Kyberturvallisuuskeskus).
 - [47] MQTT-standardi (OASIS) ja spesifikaatio.
 - [43] OCPP-protokollan tavoite ja spesifikaatiot (Open Charge Alliance).
 - [82] ISO 15118 -yhteentoimivuus, V2G ja EU:n standardiviitteet (EU/CharIN).
 - [83] Virtualisointi (KVM/LXC) ja kontit (Proxmox, Docker).
 - [84] Aikasarjadata ja observabilityn peruskäsitteet (InfluxData, Grafana).
-

[1] [10] [16] [40] [46] [52] [64]

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/tasepalvelut/tasemallin-kuvaus/Yksihintajarjestelma/>

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/tasepalvelut/tasemallin-kuvaus/Yksihintajarjestelma/>

[2] [11] [23] [65] [78] <https://www.nordpoolgroup.com/en/message-center-container/newsroom/exchange-message-list/2025/q4/15-minute-mtu-in-sdac-was-implemented/>

<https://www.nordpoolgroup.com/en/message-center-container/newsroom/exchange-message-list/2025/q4/15-minute-mtu-in-sdac-was-implemented/>

[3] [8] [20] [22] [24] [26] [28] [51] [56] [67] <https://energiavirasto.fi/sahkon-mittaus>

<https://energiavirasto.fi/sahkon-mittaus>

[4] [27] [42] [59] [81] <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>

<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>

[5] [13] [49] <https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/ajankohtaista/ohjeet-ja-oppaat/ohjeet-ja-oppaat-yksityishenkilaille/kotiverkon-ja-reitittimen>

<https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/ajankohtaista/ohjeet-ja-oppaat/ohjeet-ja-oppaat-yksityishenkilaille/kotiverkon-ja-reitittimen>

[6] [15] [31] [73] [83] <https://pve.proxmox.com/pve-docs/pve-admin-guide.html>

<https://pve.proxmox.com/pve-docs/pve-admin-guide.html>

[7] [38] <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/sahkon-vuorokausimarkkinat-siirtyvat-15-minuutin-kaupankayntijaksoon-kesakuussa-2025/>

<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/sahkon-vuorokausimarkkinat-siirtyvat-15-minuutin-kaupankayntijaksoon-kesakuussa-2025/>

[9] <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/>

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/>

[12] <https://www.motiva.fi/tietopankki/kulutusjousto-nain-hyodynnat-sahkon-hintavaihtelut-kotonasi/>

<https://www.motiva.fi/tietopankki/kulutusjousto-nain-hyodynnat-sahkon-hintavaihtelut-kotonasi/>

[14] <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2016/1135>

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2016/1135>

[17] [34] <https://www.home-assistant.io/installation/>

<https://www.home-assistant.io/installation/>

[18] [44] [77] <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/sahkomarkkinoilla-siirryttiin-suomessa-15-minuutin-taseselvitysjaksoon/>

<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/sahkomarkkinoilla-siirryttiin-suomessa-15-minuutin-taseselvitysjaksoon/>

[19] [61] <https://docs.docker.com/get-started/docker-concepts/the-basics/what-is-a-container/>

<https://docs.docker.com/get-started/docker-concepts/the-basics/what-is-a-container/>

[21] [43] [48] <https://openchargealliance.org/protocols/open-charge-point-protocol/>

<https://openchargealliance.org/protocols/open-charge-point-protocol/>

[25] <https://www.esett.com/app/uploads/2025/05/NBS-Kasikirja-Suomi-5.1.pdf>

<https://www.esett.com/app/uploads/2025/05/NBS-Kasikirja-Suomi-5.1.pdf>

[29] [32] [35] [41] [55] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32023R1804>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32023R1804>

[30] <https://sesko.fi/sahkoajoneuvojen-latausjarjestelmille-eurooppalainen-standardi/>

<https://sesko.fi/sahkoajoneuvojen-latausjarjestelmille-eurooppalainen-standardi/>

[33] <https://docs.docker.com/get-started/docker-overview/>

<https://docs.docker.com/get-started/docker-overview/>

[36] [68] [79] <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/sahkojarjestelman-reservit/>

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/sahkojarjestelman-reservit/>

[37] [62] [84] <https://www.influxdata.com/time-series-database/>

<https://www.influxdata.com/time-series-database/>

[39] <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>

<https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>

[45] [82] <https://www.charin.global/news/vehicle-to-grid-v2g-interoperability-standards-grid-integration>

<https://www.charin.global/news/vehicle-to-grid-v2g-interoperability-standards-grid-integration>

[47] <https://mqtt.org/mqtt-specification/>

<https://mqtt.org/mqtt-specification/>

[50] <https://tukes.fi/kodin-sahkoturvallisuus>

<https://tukes.fi/kodin-sahkoturvallisuus>

[53] <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservimarkkinat/>

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservimarkkinat/>

[54] <https://www.fingrid.fi/contentassets/c59a6b9b7dbe4ea49200652ac3757962/62025-itsenainen-aggregaattori-tietopaketti-.pdf>

<https://www.fingrid.fi/contentassets/c59a6b9b7dbe4ea49200652ac3757962/62025-itsenainen-aggregaattori-tietopaketti-.pdf>

[57] <https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/12/Sahkon-mittauksen-periaatteita-2025.pdf>

<https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/12/Sahkon-mittauksen-periaatteita-2025.pdf>

[58] [60] [71] <https://energiavirasto.fi/-/energiavirasto-esittaa-sahkon-verkkopalvelumaksujen-rakenteiden-valtakunnallista-yhdenmukaistamista>

<https://energiavirasto.fi/-/energiavirasto-esittaa-sahkon-verkkopalvelumaksujen-rakenteiden-valtakunnallista-yhdenmukaistamista>

[63] <https://grafana.com/docs/grafana-cloud/introduction/what-is-observability/>

<https://grafana.com/docs/grafana-cloud/introduction/what-is-observability/>

[66] <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/datahub/kirjautuminen-datahubin-asiakasportaaliin/kysymyksia-ja-vastauksia-datahubin-asiakasportaalista/>

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/datahub/kirjautuminen-datahubin-asiakasportaaliin/kysymyksia-ja-vastauksia-datahubin-asiakasportaalista/>

[69] [74] <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-markkinoille-osallistuminen/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/>

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-markkinoille-osallistuminen/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/>

[70] <https://www.charin.global/technology/plug-charge>

<https://www.charin.global/technology/plug-charge>

[72] <https://yle.fi/a/74-20196601>

<https://yle.fi/a/74-20196601>

[75] <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservien-perusteet.pdf>

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservien-perusteet.pdf>

[76] [80] <https://www.esett.com/app/uploads/2025/10/NBS-Handbook-v5.2.pdf>

<https://www.esett.com/app/uploads/2025/10/NBS-Handbook-v5.2.pdf>