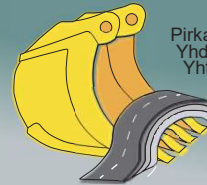


PIRKANMAAN YHDYSKUNTATEKNIIKAN PIMA-PÄIVÄ

2025



Pirkanmaan
Yhdyskuntatekniikan
Yhteistyöryhmä ry

Energian varastointiratkaisut

Apulaisprofessori Henrik Tolvanen

Tampereen Yliopisto

14.1.2024



Chat GPT prompt: "luo minulle kuva kaupungin korttelista jossa on tulevaisuuden energiavarasto ja tee siitä suomen olosuhteisiin soveltuva"

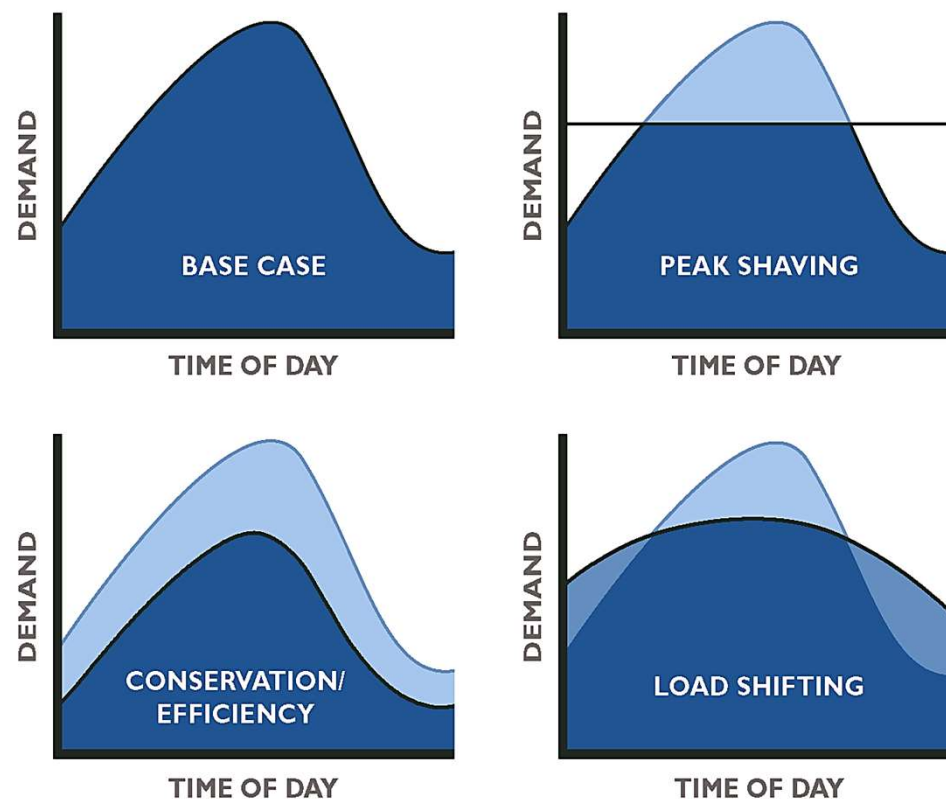
Esityksen sisältö

- Miksi energiavarastot ovat tarpeen?
- Skaaloja
- Energiavarastojen kohteita
- Sähkön varastointitekniikoita
- Power to X to Power
- Lämmön varastointitekniikoita

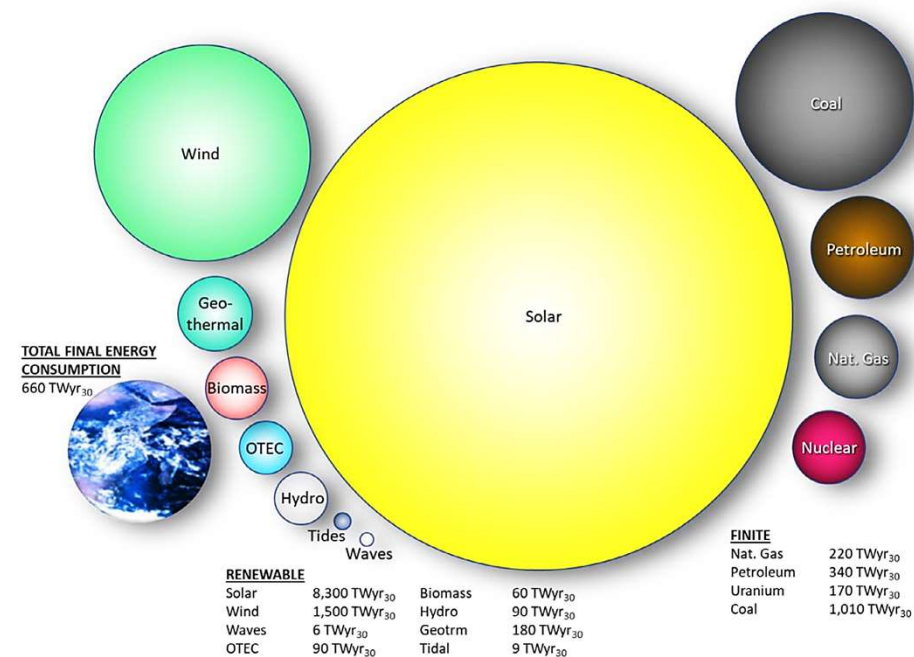
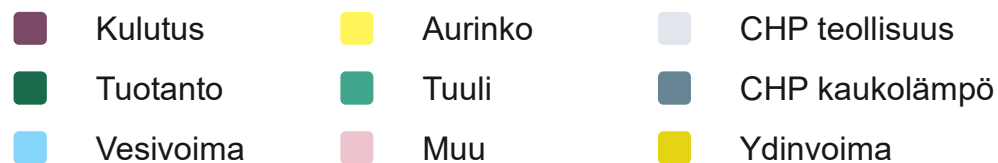
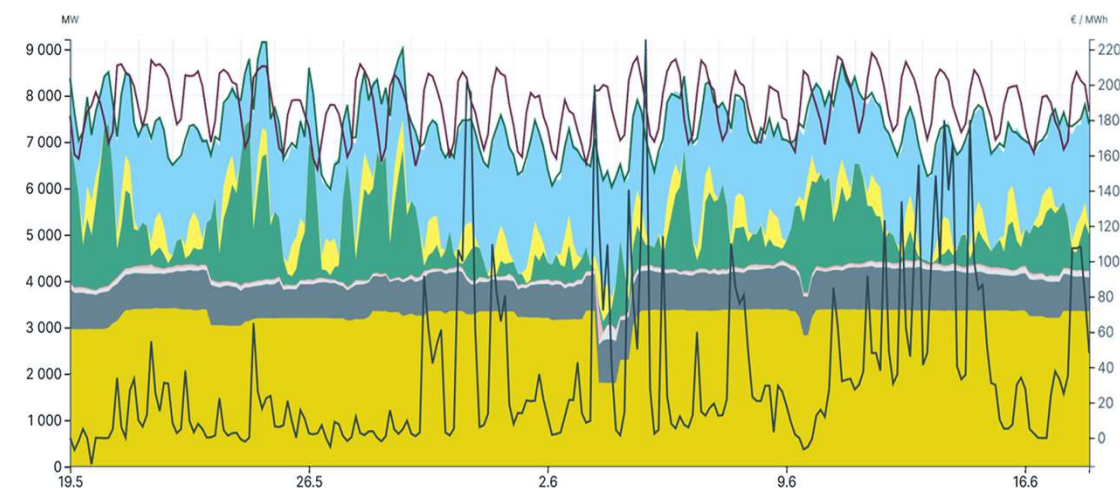


Miksi energiavarastot ovat tarpeen?

- Energiavarastot tasapainottavat uusiutuvan energian vaihtelevuutta ja parantavat paikallista energiavarmuutta
 - Tuki uusiutuvan energian järjestelmille suuressa mittakaavassa
- Peak shaving ja load shifting
- Paikallisen energiantuotannon optimointi



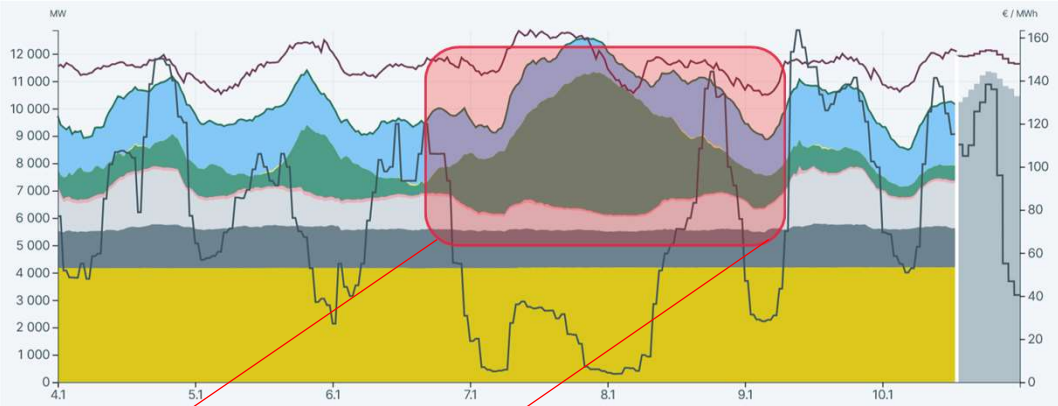
Miksi energiavarastot ovat tarpeen?



The area of the circles represents reasonably assured recoverable energy reserves from both finite and renewable resources over the next 30 years.

Skaaloja

Tuulivoimatuotanto
7-9.1.2025 noin 150 GWh



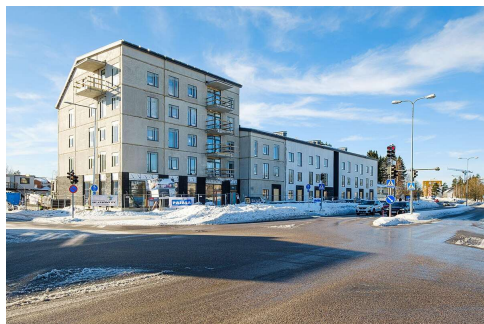
Suomen sähkönkulutus
noin 85 000 GWh/vuosi ja
kokonaisenergiankulutus
noin 350 000 GWh/vuosi

Kaupunki	Kaukolämmön kulutus (GWh/vuosi)	Sähkönkulutus (GWh/vuosi)
Helsinki	7000	5000
Espoo	2000	2500
Tampere	2000	3000
Turku	2000	2000
Oulu	1500	1500

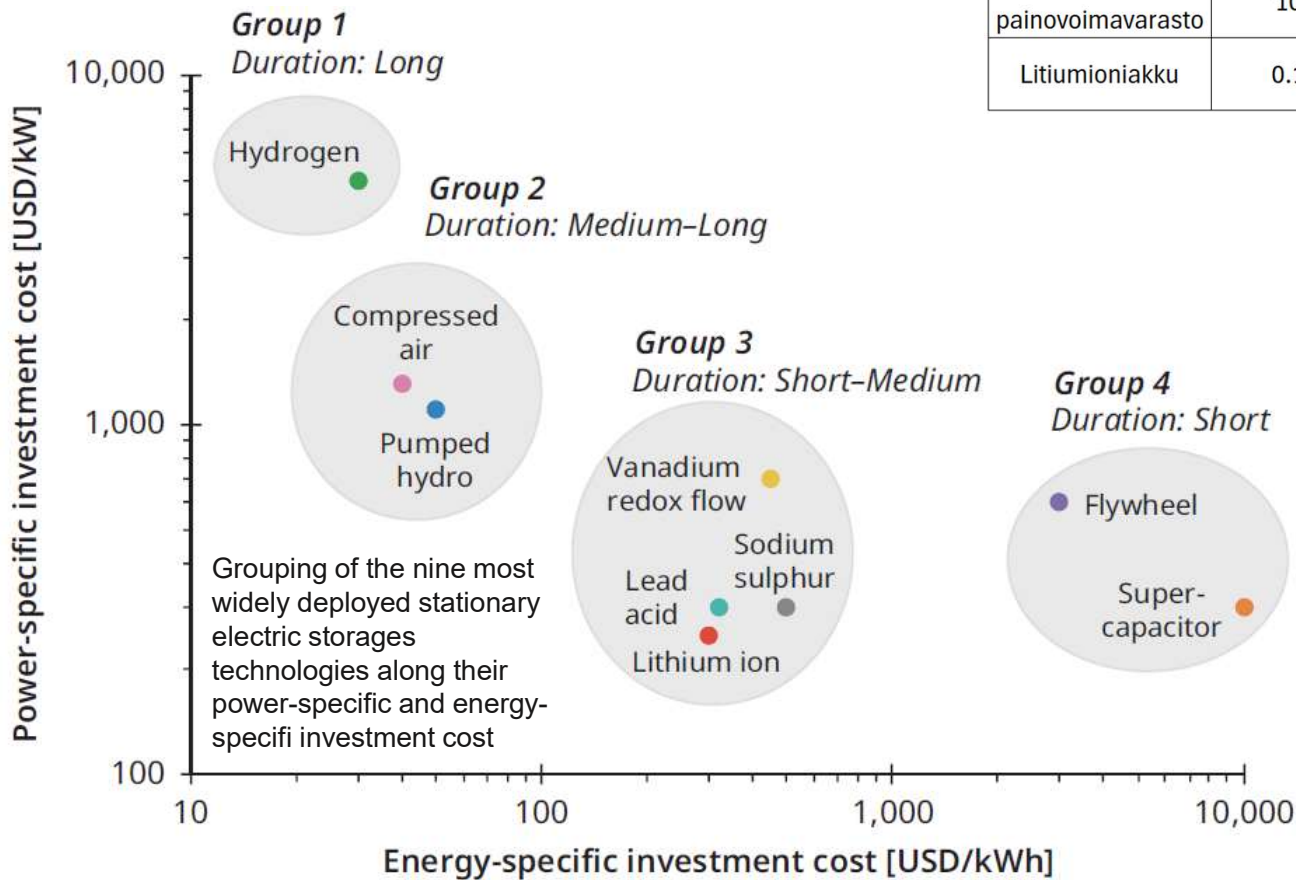
Rakennus- tyyppi	Lämmön kulutus (GWh/vuosi)	Sähkönkulutus (GWh/vuosi)
Kerrostalot	0.3	0.05
Sairaalat	4.0	2.0
Jäähallit	3.0	1.5
Datasalit	0.02	1.5

Lähde: <https://data.fingrid.fi>

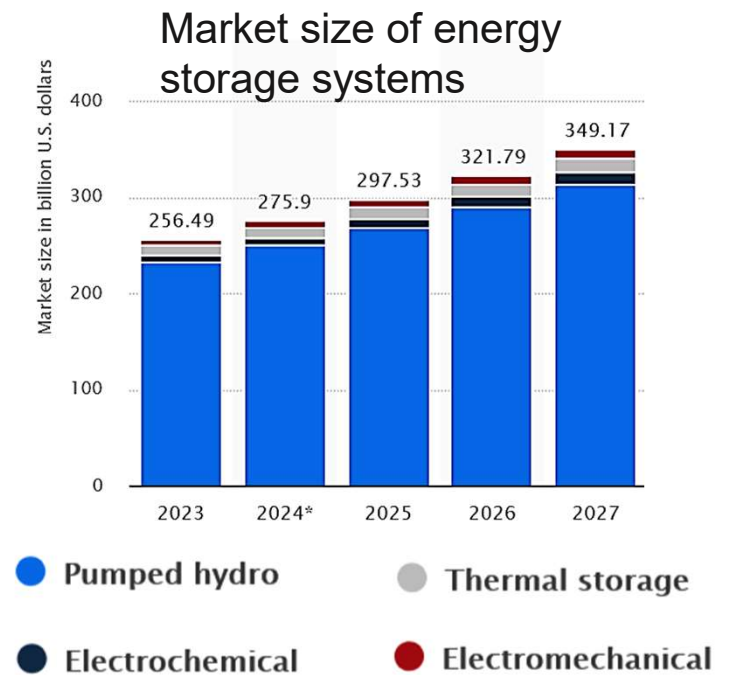
Energiavarastojen kohteita



Sähkön varastointi

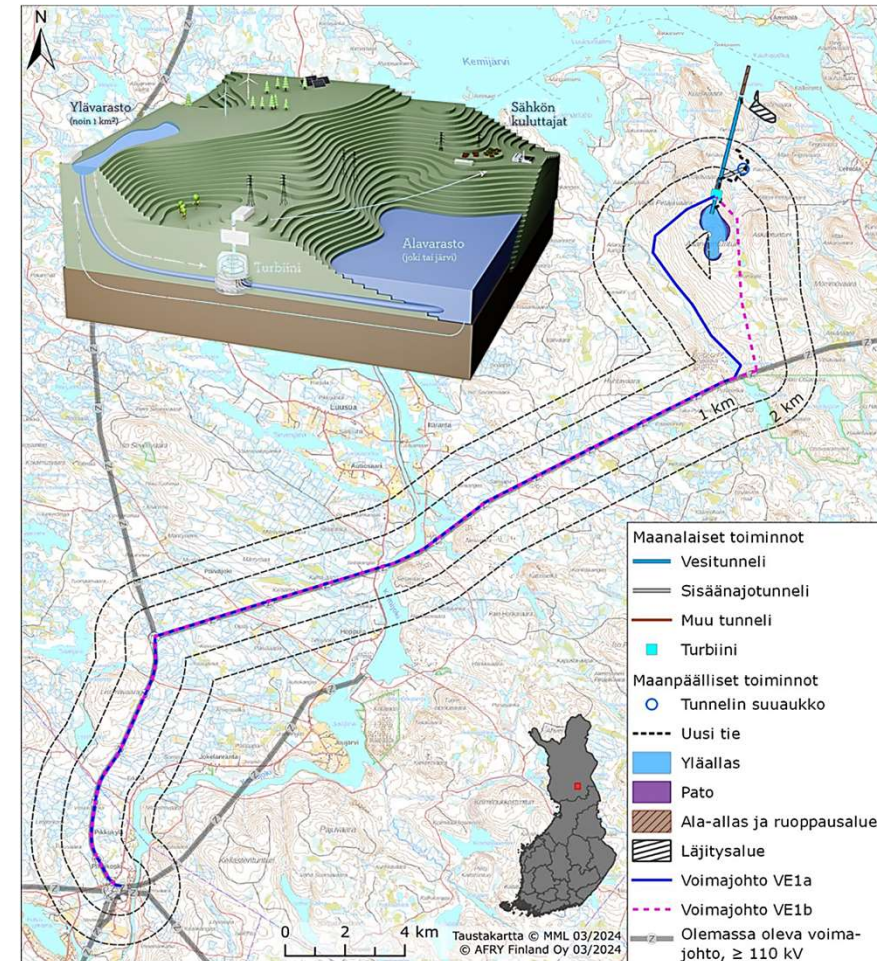


Teknologia	Tyypillinen tehoalue [MW]	Tyypillinen energia-kapasiteetti [GWh]	Kierroshyötysuhde (%)	Elinikä (vuodet/sykliä)	LCOE (EUR/MWh)
CAES	50-500	0.1-1	40-70	20-40	50-150
Pumpattu vesivoima	100-4000	1-10	70-85	50+	30-100
Kiinteän massan painovoimavarasto	10-100	0.02-0.08	70-90	30-50	50-130
Litiumioniakku	0.1-100	0.001-0.5	85-95	10-15 / 5000-8000	100-400



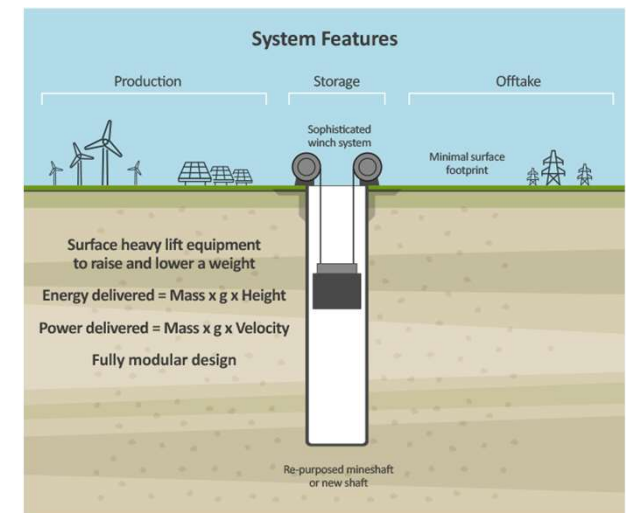
Ailangantunturin pumppuvoimalaitos

- Sähköntuotanto- ja pumppausteho on 550 MW ja laitoksen
- Putouskorkeuspotentiaali noin 200 m
- Pinta-ala on noin 1 km² ja vesitilavuus noin 13 Mm³
- Patoja varten tarvittava louheen määrä on noin 2,1 Mm³
- Virtaama on noin 300 m³/s
- Vesitunnelin pituus on noin 4,5 km ja halkaisija on noin 9 m
- Kemijärven pohjaan ruopataan noin 80 m x 1000 m kanava
- Rakentamista ja operointia varten Ailangantunturille rakennetaan uusi tieyhteys
- Kyseessä olisi noin 800 Meuron investointi



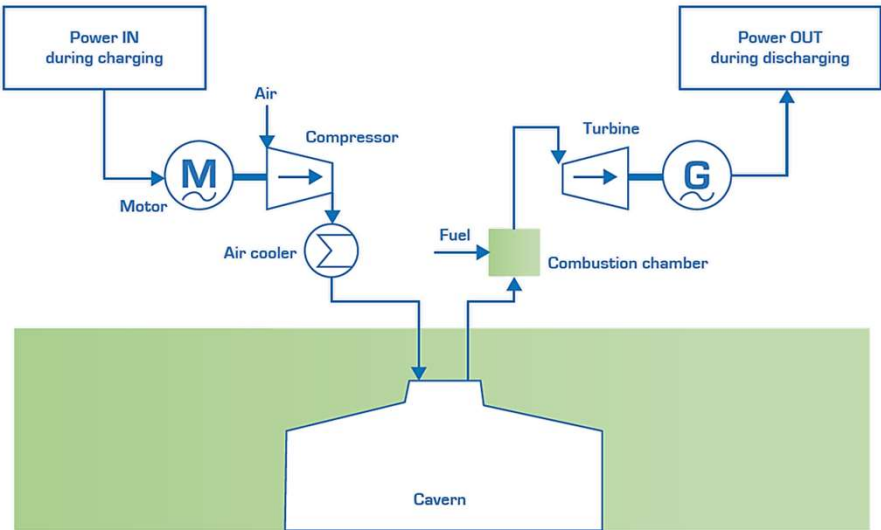
Painovoima-akut

- Painovoima-akut ovat teknologia, joka hyödyntää painojen nostamista ja laskemista energian varastoinniseksi
- Pyhäsalmi, Suomi: 530 m syvä kuilu, kapasiteetti 1–10 MWh
- Energy Vault, Sveitsi: 33-kerroksinen torni, kapasiteetti 35 MWh
- Energy Vault, Rudong China, 25 MW, 100 MWh, noin 150 m korkea, 12 600 blokkia (25 t)
- Kaivokset: Hyödynnettävä olemassa olevia rakenteita
- Tornit: Edellyttävät tilaa ja rakennusluvan
- Tilankäytön tehokkuus: Painovoima-akkujen energiatiheys alhaisempi kuin litiumioniakkujen (yli 100-kertainen ero)



Paineistettu kaasu (CAES)

- Kiinassa on käynnissä useita CAES-projekteja, jotka pyrkivät hyödyntämään uusiutuvia energialähteitä ja parantamaan sähköverkon vakautta
- Zhongchu Kiina: ~200 miljoonan dollaria, 300 MW / 1,8 GWh
- Hydrostor-projekti Kanadassa: hyödyntää vesitiivisteisiä maanalaisia onkaloita ~2 MW, 10 MWh
- Energiatiheys litiumioniakkuihin verrattuna noin 100 kertaa pienempi



Parameter	Huntorf	McIntosh	Unit
Utility Operator	E.ON Kraftwerke	PowerSouth	-
Status	Operative	Operative	-
Round-Trip Efficiency	42	54	%
Power Capacity	290/321	110	MW _e
Energy Capacity	642	2640	MWh
Cavern volume	310,000	538,000	m ³
N° of Reservoir	2	1	-
Reservoir Typology	Salt cavern	Salt cavern	-
Pressure Range	46–66	46–75	bar

Lähde: [Diabatic Compressed Air Energy Storage, https://www.pv-magazine.com/2024/05/16/worlds-largest-compressed-air-energy-storage-project-comes-online-in-china/](https://www.pv-magazine.com/2024/05/16/worlds-largest-compressed-air-energy-storage-project-comes-online-in-china/), https://www.mdpi.com/1996-1073/15/20/7692?type=check_update&version=2

Sähköakut

- Suomen suurimpia sähköakkuvarastoja:

1.Yllikkälä Power Reserve One, 30 MW, 30 MWh, Etelä-Karjala, 2020

([Fingrid-lehti](#))

2.Lempäälän sähkövarasto, 30 MW, 36 MWh, 2024 ([Kuntatekniikka](#))

3.Olkiluodon sähkövarasto, 50 MW, 50 MWh, 2024 ([Kauppalehti](#))

4.Yllikkälä Power Reserve Two (suunnitteilla), 56,4 MW, 112,9 MWh, 2025 ([Neoen](#))

5.lin Viinamäen tuulipuiston sähkövarasto, 6 MW, 6 MWh, 2023 ([Yle](#))



Power / Energy (MW / MWh)	Footprint (m) including PCS, transformer, and battery	Area (m ²)
3.5 / 3.7	12 x 8	96
7 / 7.4	20 x 9	180
10 / 12	14 x 25	350
15 / 36	20 x 45	900
30 / 36	20 x 50	1000

Sähköakut

Akkusähkösopimus - S

- ✓ Kuukausimaksu: 5€/kk
- ✓ Ostettu sähkö: 4c/kWh
- ✓ Toistaiseksi voimassa oleva sopimus
- ✓ Akun koko: Vähintään 10 kWh
- ✓ Ei asennusmaksuja
- ✓ Ei enää erillistä laskua sähkönsiirrosta

Sopii kerrostalossa asuville
kotitalouksille.

Akkusähkösopimus - M

- ✓ Kuukausimaksu: 20€/kk
- ✓ Ostettu sähkö: 4c/kWh
- ✓ Toistaiseksi voimassa oleva sopimus
- ✓ Akun koko: Vähintään 100 kWh
- ✓ Ei asennusmaksuja
- ✓ Ei enää erillistä laskua sähkönsiirrosta

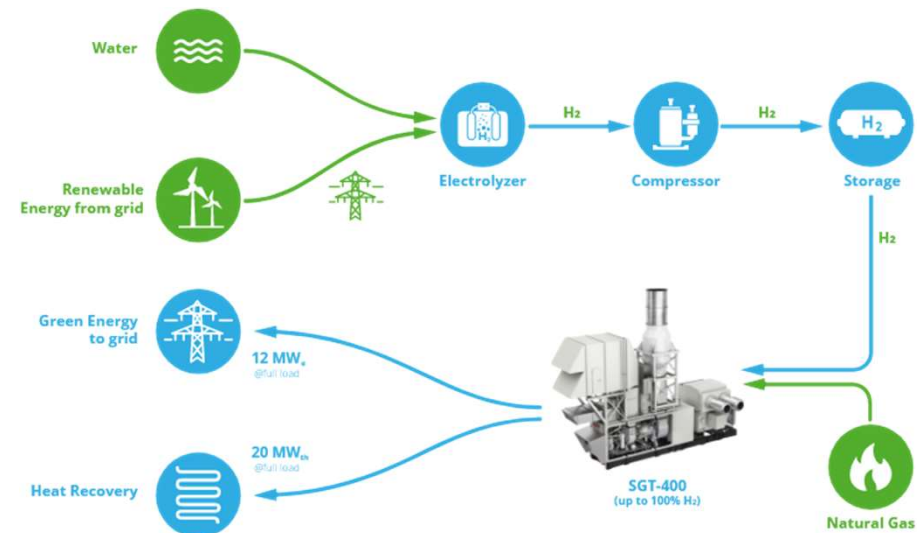
Sopii omakotitalossa asuville
kotitalouksille.

*Energiavarastot yleistyvät myös
asuintaloissa, mutta laki niiden
rakentamisesta puuttuu – palopäällikkö:
”Huolestuttaahan se”*



Power to X to Power

- 2023 kaasuturbiinikombivoimalaitosta Saillat-sur-Vienne -kylässä Ranskassa ajettiin 100%:lla vedyllä
- Ensimmäinen kerta, kun yhdistetty power-to-X-to-power-järjestelmää demonstroitiin todellisissa olosuhteissa yhdessä ja samassa paikassa
- 12 MW:n elektrolysaattorin (PEM) vedyn tuotantonopeus oli 164 kg/h
- SGT-400-kaasuturbiinin, 10 MW sähköä, 100 % vetyä noin 810 kg/h
- Testit 90 h seospolttoaineella, josta noin 10 h yli 80 vol-% vedyllä ja yli 4 h 100 % vedyllä (rajoituksena polttoaineen saatavuus)



Lämmön varastointi

Lämpövarastojen tyypillisiä ominaisuuksia

Lämpövaraston tyyppi	Tuntuva lämpö	Latenttilämpö	Termokemiallinen
Energiatiheys [kWh/m ³]	15–200	30–110	100–1200
[kWh/t]	10–110	40–110	100–400
Tehotiheys [kW/m ³]	20–500	10–80	-
[kW/t]	15–500	5–40	-
Lämpötila-alue [°C]	> 1000	< 1000	5–900
Hyötysuhde [%]	50–99	75–98	45–100
Itsepurkautuminen [%/vrk]	0,5–4	0,5–15	-
Tekninen käyttöikä [vuotta]	15–50	-	20–50
[sykliä]	> 10 000	300–10 000	-
Investointikustannus [€/kW]	1–150	50–400	-
[€/kWh]	0,1–70	10–100	8–100
Varastoinnin kesto	Tunteja-kuukausia	Tunteja-kuukausia	Tunteja-kuukausia
Vasteaika	Minuutteja	Minuutteja	Minuutteja
Kypsyysaste (1–9)	4–9	4–9	3–4

Suomen lämpövarastot

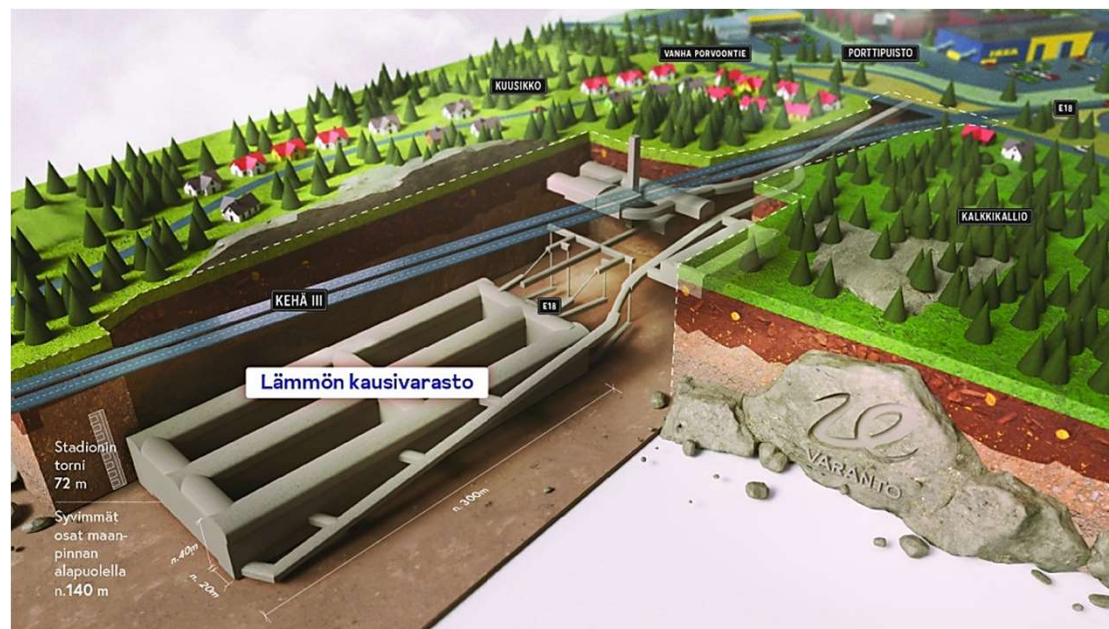
Yhtiö	Tilavuus (m ³)	Kapasiteetti (MWh)	Teho (MW)
Helen Oy, Salmisaari	2 x 10 000	1 000	130
Helen Oy, Vuosaari	26 000	1 400	130
Helen Oy, Mustikkamaa	260 000	11 600	120
Turku Energia Oy Ab, Turku	6 000	300	60
Vantaan Energia Oy, Kuusikonmäki*	1 000 000	90 000	200
Vantaan Energia Oy, Martinlaakso	20 000	900	50
Oulun Energia Oy (kallio)	190 000	8 000	40
Oulun Energia Oy	15 000	800	80
Lahti Energia Oy, Lahti	10 000	450	40
Elenia Lämpö Oy, Hämeenlinna	10 000	320	50
Napapiirin Energia ja Vesi Oy, Rovaniemi	10 000	450	30
KSS Lämpö Oy, Kouvola	10 000	420	72
Etelä-Savon Energia Oy, Mikkeli	10 000	350	30
Hyvinkään Lämpövoima Oy	10 000	350	50
Saarjärven Kaukolämpö Oy	350	21	3
Vaasan Energia Oy, Vaskiluoto	210 000	7 000–9 000	100
Kuopion Energia Oy, Haapajärvi	15 000	800	85
Fortum Power and Heat Oy, Espoo	20 000	800	-
Vantaan Energia Oy, Martinlaakso*	20 000	-	-
Vantaan Energia Oy, Ojanko	11 000	-	-
Tampereen Sähkölaitos, Tampere	2 300	-	-
Kokkolan Energia	6 000	-	-
Rauman Energia Oy	2 000	-	-
Ekenäs Energi	700	-	-
Herrfors Oy Ab, Ylivieska	1 000	-	-
Varkauden Aluelämpö Oy, Varkaus* (porareikävarasto)	-	-	10
Yhteensä	1 885 350	124 961–126 961	1 270

Lähde: CHP-laitoksen säätökyvyn ja tehokkuuden kehittäminen, Lappeenrantaan–Lahden teknillinen yliopisto LUT, Energiateknikan diplomityö, 2023, Juuso Yli-Mikola, Emma Saikkonen: Sektorirytketyt kaukolämpöverkon joustokyvyn hyötyjen tarkastelu kaupunkitason energijärjestelmässä Diplomityö, Tampereen yliopisto, 2022

Varanto

- Valmistuessaan maailman suurin lämmön kausivarasto tullaan rakentamaan Vantaan peruskallioon
- Kolme 300 m pitkää tunnelia 100 m syvyyteen
- Tunnelit täytetään kuumalla vedellä
- Tunneliin syntyvä paine mahdollistaa jopa 140°C veden lämpötilan ilman että vesi höyrystyy
- Täyteen ladattuna kaiken kaikkiaan 90 GWh
- Vastaa 8 Meuron edestä kaukolämpöä

- Hankkeen kustannusarvio on noin 200 Meuroa ja sille on jo myönnetty Suomen työ- ja elinkeinoministeriöltä 19 Meuron investointituki
- Näillä näkymin varasto voisi olla toiminnassa jo vuoden 2028 aikana.



Lämpökuoppa

- Hyvinkään lämpövarastossa vesi lämmitetään yli 80-asteiseksi ja kun lämpötila laskee alle 5 pakkasasteen, vedestä otetaan energiaa kaukolämpöverkkoon
- Talven jälkeen vesi on jäähtynyt noin 40 asteeseen
- Tilavuus: 500 000 m³, energian määrä: 20 GWh/vuosi
- Varaston syvyys: noin 20 m, pinta-ala: 7 ha
- Purku- ja latausteho: 30 MW
- Kustannusarvio 20 milj. €



Hiekka-akku (Polar Night Energy)

- Kankaanpään akku 4 m leveä lieriö ja 7 m korkea, 8 MWh energiaa ja teho 100 kW
- Pornaisten akku 15 m leveä lieriö ja 13 m korkea, 100 MWh energiaa ja teho 1 MW
- 10 MW ja 1000 MWh laitos olisi noin 30m ja 13m
- Ylärajaa koolle ei PNE:n puolesta ole: ”*Voidaan tehdä niin suuri kuin asiakas haluaa, esim. 100 GWh.*”
- Pornaisissa hiekan osalta energiatiheys noin 0,1 MWh/m³ joten 100 GWh laitos olisi silloin 50 m syvänä 136 m kanttiinsa oleva ala
- Infraa isot kaukolämpövedot ja syöttävä sähköverkko
- Optimaalisin sijoituskohde vanha suljettu voimalaitos
- Kaikki rakenteet tehdään säältä suojaan ja maahan kaivettavat varastot pitää suojata pohjavedeltä ja muilta sadevesiltä



Lämmöntuotannon tulevaisuus

Liki seitse
kaukoläm
Kattilaa a

vantaan energia

Etusivu > Energiantuotant

Sähkökattil

Rakennamme Martinla
voimalaitosalueelle 60 N
sähkökattilan ja 700 MW
lämpöakun.

Lielahden voimalaitoksella sähkökattilan uutta
Tampereen sähkölaitos

**Maai
raker
vuod**

**UPM
läm
Suo**

Helenin
20–33 m

LEHDISTÖTIE
18.4.2023 12

UPM korva
sähkökattila
korvataan p

Sähkökattil
käyttämien
sähkökattila
noin 50 ooc
toimitusvar

Jättimäinen lämpölaite. Tämän järkäle
lämpölaiteeseen. Laitokseen tulee maailm

**Helen haluaa ydinvoimalan
Helsinkiin**

UUTINEN / 6.9.2024

Helen rakentaa Hanasaareen Euroopan suurimman sähkökattilalaitoksen

Helen Oy rakentaa Hanasaareen Euroopan suurimman sähkökattilalaitoksen. Rakennustöiden alkua on merkitty kirkkoon. Laitoksen valmistus on suunniteltu kestämään 100 vuotta. Laitoksen voimakkuus on 200 MW. Laitoksen rakentaminen on osa Helenin strategiaa vähentää hiilidioksidipäästöjä ja turvata energiantuotantoa.

- Helenin toiminta on siirtymässä Helsinkiin.
- Helen on perustamassa uuden laitoksen suomenlahti.
- Yhtiö kartoittaa uuden laitostuotantoa.
- Helenin strategia on vähentää hiilidioksidipäästöjä.

YouTube FI

Total volu

Cavern 2

30 m

22 m

Kehä kolmosen varrella. Fortum rakentaa uudenlaista lämmöntalteenottolaitosta Hepokorpeen Espooseen. Viereen odotetaan Microsoftin datakeskusta. KUVA: LEVI VEPSÄ

Lähde: <https://yle.fi/a/74-20008409>, <https://www.vantaanenergia.fi/energiantuotanto/hiilinegatiivinen/sahkokattila/>, <https://www.talouselama.fi/uutiset/maailman-suurin-ilma-vesilampopumppu-rakennetaan-helsinkiin-200gwh-lampoa-vuodessa/8e53dd5d-1842-40d7-a6c6-e74fa3b2b01b>, <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/medialle/tiedotteet/2023/04/upm-sahkoistaa-tehtaidensa-lammon-ja-hoyryntuotantoa-suomessa-ja-saksassa/>, <https://www.teknikkatalous.fi/uutiset/maailman-suurin-lajissaan-suomeen-nousee-uusi-190-mw-lampolaitos/a649e598-787b-4498-bc02-1817ece6bcff>, <https://www.hs.fi/talous/art-2000010680330.html>, <https://www.helen.fi/uutiset/2024/helen-rakentaa-hanasaareen-euroopan-suurimman-sahkokattilalaitoksen>, <https://www.youtube.com/watch?v=OYGLmbG9tQE>

Oulun Energia
<https://www.ouluenergia.fi/uutiset/kaukolammon-hin...>

Kaukolämmön hinta nousee 1.1.2024 alkaen

15.11.2023 — Kaukolämmön energia- ja perusmaksu nousee 9,7 prosenttia 1.1.2024 alkaen. Hinnankorotus on seurausta kohonneista kaukolämmön ...

lempealampo.fi
<https://www.lempealampo.fi/Artikkelit>

Kaukolämmön hinnat nousevat 1.7.2024 alkaen

4.6.2024 — Kaukolämmön hinnat nousevat keskimäärin noin 9,8 %. Kerimäen kirkonkylällä ja Pertunmaalla hinta nousee noin 13 % ja Kerimäen ...

Vantaan Energia
<https://www.vantaanenergia.fi/.../Ajankohtaista>

Kaukolämmön hinta nousee Järvenpäässä ja Tuusulassa ...

1.1.2024 — Kaukolämmön hinta nousee Järvenpäässä ja Tuusulassa 1.1.2024 alkaen 14 prosenttia. Hinnankorotus johtuu tämän hetken haastavasta ...

Helen
<https://www.helen.fi/Uutiset/2023/Uutiset-ja-artikkelit>

Kaukolämmön kuukausihinnat on julkaistu vuodelle 2024

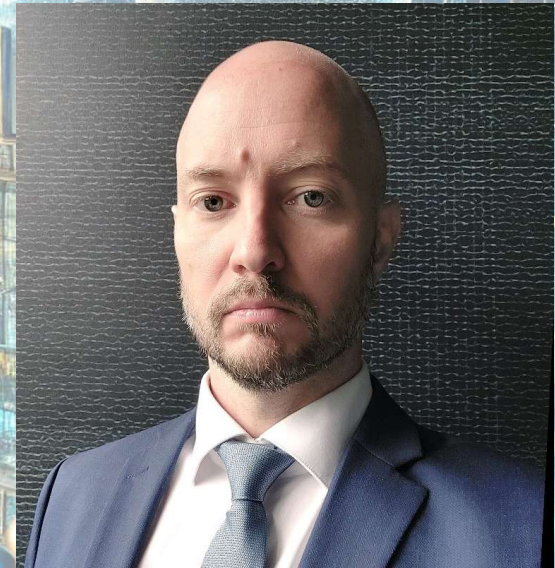
30.11.2023 — Kaukolämmön kokonaishinta nousee vuoteen 2023 nähden keskimäärin arviolta 0,5 prosenttia. Siirrymme kohti hiilineutraalia lämmöntuotantoa, joka ...

Toholammin Energia
<https://www.toholamminenergia.fi/kaukolaemmoen-hi...>

Kaukolämmön hinta muuttuu 1.1.2024

1.1.2024 — Kotimaisen, helpon ja toimitusvarman kaukolämmön hinta nousee Toholammilla 1.1.2024. Korotus johtuu pääosin lainanhoitokustannusten noususta.

Kiitos mielenkiinnosta Kysyttävää?



Apulaisprofessori Henrik Tolvanen
Tampereen Yliopisto
henrik.tolvanen@tuni.fi

ChatGPT prompt: "Create an image on the future of energy engineering, include modeling, energy storages, electrification of district heating, and carbon capture and storage"