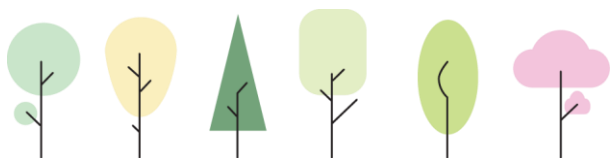




Secure-Bio-Supply – Kiinteiden biopolttoaineiden pitkän aikavälin varastoinnin kehittäminen

Projektipäällikkö Juha Niskanen





SECURE-BIO-SUPPLY, WP1 JA WP2 LOPPURAPORTTI

Suomen metsäkeskus

Projektipäällikkö Juha Niskanen

juha.niskanen@metsakeskus.fi

0400 886 790



Euroopan unionin
osarahoittama



Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	3
1 Loppuraportin tiivistelmä.....	5
1.1 Projektisuunnitelma ja tavoitteet	5
1.2 Nykytila ja tilannekuva	5
1.3 Varastointimenetelmät ja niiden vertailu.....	6
1.4 Ratkaisut pitkäaikaiseen varastointiin	6
1.5 Uudet polttoa korvaavat teknologiat ja niiden vaikutukset.....	7
1.6 Case-esimerkit Pohjanmaalta	7
1.7 Loppuyhteenvedo ja suositukset.....	8
2 Projektisuunnitelma.....	8
3 Projektin tavoite.....	9
4 Projektin toimenpiteet	11
5 Tilannekuva	12
5.1 Koko maan tilannekuva	13
5.2 Pohjanmaan tilannekuva.....	19
6 Yleistä metsäpolttoaineista ja varastoinnista	24
7 Metsäpolttoaineiden yleiset varastointitavat	25
8 Varastointiaika.....	27
8.1 Metsävarastointi (tievarsivarastot) – lyhytaikainen varastointi.....	27
8.2 Terminaalivarastointi – keskitetty varastointi	27
8.3 Peitetty tai suojattu varastointi (peitteet, hallit, katokset)	27
8.4 Prosessoidut polttoaineet (pelletti, briketti, torrefioitu materiaali).....	28
8.5 Nestemäiset ja kaasumaiset bioenergiajakeet	28
9 Metsä- vs. terminaalivarastointi	29
9.1 Logistiikkaerot	29
9.2 Kustannuserot	29
9.3 Laatuerot.....	30
9.4 Hävikkierot.....	30
9.5 Huoltovarmuusnäkökulma.....	31

10 Ratkaisuja metsäpolttoaineen pitkäaikaisempaan varastointiin	31
10.1 Polttoaineen kuivaaminen	31
10.2 Polttoainevarastojen peittäminen	35
10.3 Pelletti	36
10.4 Briketti.....	38
10.5 Torrefioitu hiili, biohiili	40
10.6 Neste.....	42
10.7 Kaasu	45
11 Uudet polttoa korvaavat tekniikat – energiamurros ja sen nopeus.....	48
11.1 Sähkökattilat	48
11.2 Akkuvarastot.....	51
11.3 Hybridiratkaisut.....	57
11.4 Vaikutus metsäenergian pitkäaikaisvarastointiin – johtopäätökset Pohjanmaalle	61
12 Case ”Iso lämmöntuottaja” yhteenveto	62
12.1 Kehitys: mistä on tultu?	62
12.2 Nykytila: miten EPV tuottaa lämpöä nyt?.....	62
12.3 Tulevaisuuden ennuste: mihin EPV on menossa?.....	63
12.4 Tiivistetty johtopäätös	64
13 Case ”Kuntatason lämmöntuottaja” yhteenveto.....	65
13.1 Kehitys: mistä on tultu?	65
13.2 Nykytila: miten PK Bioenergia tuottaa lämpöä nyt?	66
13.3 Tulevaisuuden ennuste: mihin PK Bioenergia on menossa?.....	66
13.4 Tiivistetty johtopäätös	67
14 Loppuyhteenveto – Hankkeen havainnot ja tulokset suhteessa tavoitteisiin ..	68

1 Loppuraportin tiivistelmä

Secure-Bio-Supply -hankkeen loppuraportti käsittelee kiinteiden biopolttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnin kehitystä ja haasteita Pohjanmaalla energiasiirtymän näkökulmasta. Hankkeen tavoitteena on analysoida nykytilaa, tunnistaa energiamurroksen vaikutukset ja löytää kustannustehokkaita sekä huoltovarmuutta tukevia varastointiratkaisuja kiinteille biopolttoaineille 3–36 kuukauden varastointiaikoja varten. Lisäksi raportissa käsitellään uusia energiateknologioita, kuten sähkökattiloita, akkuvarastoja ja hybridiratkaisuja, jotka vaikuttavat polttoaineiden käyttöön ja varastointitarpeisiin Pohjanmaalla.

1.1 Projektisuunnitelma ja tavoitteet

Hankkeessa kartoitetaan kiinteiden polttoaineiden varastointikäytännöt, nykyinen varastointimitoitus, sekä energiasiirtymän aiheuttamat muutokset ja haasteet. Tarkastelussa ovat kivihiili, turve ja metsähake sekä uudet polttoainevaihtoehdot kuten runko- ja harvennuspuu, pelletit ja torrefioidut materiaalit. Lisäksi analysoidaan jättepolttoaineita ja energiakasveja biokaasun tuotannon näkökulmasta. Tutkimus tuottaa myös ehdotuksia uusiksi kehittämishankkeiksi ja korostaa poliittisten skenaarioiden vaikutuksia varastointiin.

1.2 Nykytila ja tilannekuva

Suomessa turpeen käyttö energiantuotannossa on vähentynyt merkittävästi viime vuosikymmeninä, mikä on johtanut huoltovarmuusongelmiin, sillä turpeen varastointimahdollisuuksia ei ole täysin korvattu uusiutuvilla lähteillä kuten metsähakkeella. Metsäenergian käyttö on kasvanut, erityisesti metsähakkeen osalta, ja puupohjaiset polttoaineet ovat keskeisiä ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Turpeen alasajo on vaikuttanut työllisyyteen turvetuotantoalueilla, mutta puuperäisten polttoaineiden kysyntä on luonut uusia työpaikkoja metsätaloudessa.

Logistiikka on monimutkaistunut puupolttoaineiden hajautuneen hankinnan ja pidempien kuljetusmatkojen vuoksi. Terminaalivarastojen merkitys on kasvanut, ja niissä varastointi on laadukkaampaa ja hävikkiriski pienempi kuin metsäteiden varsilla tapahtuvassa metsävarastoinnissa. Kustannukset ovat terminaalivarastoinnissa korkeammat investointien vuoksi, mutta logistinen tehokkuus ja polttoaineen laatu paranevat.

Pohjanmaalla on kartoitettu 13 merkittävää metsäenergiaterminaalia, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 23 hehtaaria. Terminaalit vaihtelevat rakenteiltaan ja osa on vain maapohjaisia. Pienemmät kuntatason laitokset

käyttävät paikallista metsäenergiaa, ja isoissa maakuntatason laitoksissa polttoainehankinta on laajempaa ja markkinalähtöisempää.

1.3 Varastointimenetelmät ja niiden vertailu

Varastointiaika vaihtelee polttoainetyypin ja varastointimenetelmän mukaan:

Varastointimenetelmä	Soveltuvat jakeet	Tyypillinen varastointiaika
Metsävarastointi	Rankapuu, kokopuu, metsätähde	3–9 kk
Terminaalivarastointi	Hake, rankapuu, kokopuu	1–18 kk
Peitetty/suojattu varastointi	Hake, rankapuu, pelletit	6–24 kk
Jatkojalostetut tuotteet	Pelletti, briketti, torrefioitu materiaali	6–36 kk
Neste/kaasu	Pyrolyysiöljy, biokaasu	Viikoista kuukausiin

Taulukko 1. Varastointimenetelmien vertailu.

Metsävarastointi on kustannuksiltaan edullisempaa, mutta altis sääolosuhteille ja kosteuden vaihtelulle, mikä lisää hävikkiä. Terminaalivarastointi on investointipainotteista mutta tarjoaa laadukkaampaa ja tasalaatuisempaa polttoainetta, pienentäen hävikkiä ja parantaen huoltovarmuutta. Peitetty varastointi ja jatkojalosteet kuten pelletti ja briketti ovat kustannustehokkaita pitkäaikaisvarastoinnissa ja kriisivarastoissa.

1.4 Ratkaisut pitkäaikaiseen varastointiin

Luonnollinen ilmakeivaus (Natural Air Drying, NAD) yhdistettynä kevyisiin peitteisiin on todettu kustannustehokkaimmaksi tavaksi kuivata ja varastoida metsäenergiaa 3–9 kuukauden varastointiaikoihin. Tämä menetelmä ei vaadi lisäenergiaa tai suuria investointeja, vähentää hävikkiä ja tuottaa tasalaatuisempaa polttoainetta. Kevyt peittäminen, kuten pressut tai katokset, estää sadeveden pääsyn polttoaineeseen ja tukee ilmakeivausta.

Jatkojalosteet kuten pelletti ja briketti tarjoavat hyvät varastointiominaisuudet ja vähäisen hävikin, mutta niiden tuotantokustannukset ovat korkeammat kuin hakkeen. Torrefioitu hiili ja biohiili soveltuvat erityisesti yli 24 kuukauden

varastointiin niiden pitkän säilyvyyden ja korkean energiatiheiden ansiosta, vaikka niiden taloudelliset ja tekniset haasteet vaativat lisätutkimuksia.

Nestemäiset biopolttoaineet kuten pyrolyysiöljy (FPBO) ja HTL-biokriitti tarjoavat joustavia varastointimahdollisuuksia viikoista kuukausiin, ja niitä voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia polttoaineita kaukolämpökattiloissa. Kaasumaiset vaihtoehdot kuten biometaanin ja bio-SNG tuovat joustavuutta ja tukevat sähköistävää kaukolämpöjärjestelmää, mutta vaativat investointeja ja huolellista riskienhallintaa.

1.5 Uudet polttoa korvaavat teknologiat ja niiden vaikutukset

Sähkökattiloiden rooli Pohjanmaalla kasvaa voimakkaasti vuosina 2026–2031, erityisesti suurissa laitoksissa, mikä vähentää kiinteiden polttoaineiden tarvetta 10–30 %. Pienemmissä kuntatason laitoksissa muutos on hitaampi, ja puupolttoaineiden rooli säilyy vahvana. Sähkökattilat tasaavat kulutusta, vähentävät huippukulutuksia ja pienentävät varastointitarpeita, mutta lisäävät laatuvaatimuksia polttoaineille.

Lämpövarastojen (akut) merkitys kasvaa tuulivoiman yleistymisen myötä, mahdollistamalla lämmön tuotannon ajoituksen edullisille sähköhetkille. Tämä vähentää puupolttoaineen tarvetta 10–25 % isoissa laitoksissa ja 5–15 % pienissä laitoksissa. Varastojen avulla kuljetukset tasaantuvat ja huippukuljetusten tarve vähenee, mutta samalla kuljetuskapasiteetin supistuminen voi muodostaa riskin kovina pakkasjaksoina.

Hybridiratkaisut, joissa yhdistyvät sähkökattila, lämpövarasto, lämpöpumput, biomassakattilat sekä neste- ja kaasupolttoaineet, tasoittavat huippuja ja vähentävät puupolttoaineiden vuosivolyymia. Jatkojalosteet säilyttävät merkityksensä kriisivarastoina. Terminaalien rooli muuttuu määräpainotteisesta laadunhallintaan.

1.6 Case-esimerkit Pohjanmaalta

Iso lämmöntuottaja, kuten EPV Vaskiluodossa, hyödyntää Suomen suurinta maanalaisen lämpöenergiavarastoa (TES), jonka kapasiteetti on laajenemassa 17 GWh:iin ja purku/latausteho 220 MW:iin. Sähkökattilakapasiteetti on 160 MW ja lisäinvestointeja on käynnissä. Tämä mahdollistaa pitkät polttoaineenvapaat jaksot ja siirtää puun käytön tasaisemmaksi peruskuormaksi, vähentäen huippukulutusta jopa 30 %.

Kuntatason lämmöntuottaja, kuten PK Bioenergia, perustaa toimintansa paikalliseen metsäenergiaan, jossa puun rooli säilyy vahvana ja varastokierto on

hitaampaa. Sähkökattiloiden ja lämpövarastojen käyttöönotto on hitaampaa, ja varastointimenetelmät painottuvat peitettyyn varastointiin ja luonnolliseen ilmakeivaukseen.

1.7 Loppuyhteenveto ja suositukset

Hankkeen päätuloksena on, että Pohjanmaan metsäenergian pitkäaikaisvarastointi siirtyy määräpainotteisesta lähestymistavasta kohti laatua ja joustavuutta korostavaa mallia. Puupolttoaineiden käyttö muuttuu harvemmaksi mutta täsmällisemmäksi, integroituna hybridi-energiajärjestelmiin. Isoissa laitoksissa puskurivarastot pienenevät 15–40 %, mutta laatuvaatimukset kiristyvät. Kuntatasolla puun rooli säilyy, ja varastoinnin painopiste siirtyy kosteuden hallintaan, peittämiseen ja ilmakeivaukseen. Jatkojalosteet ovat keskeisiä kriisivarastoinnissa, ja nestemäiset sekä kaasumaiset biopolttoaineet voivat tulevaisuudessa täydentää huippuratkaisuja. Logistinen kapasiteetti on turvattava, sillä kuljetusvolyymien lasku ja tasoittuminen voivat heikentää kuljetusyritysten kannattavuutta ja aiheuttaa kapasiteettiriskejä kovina pakkasjaksoina.

2 Projektisuunnitelma

Käynnissä on energiasiirtymä, jonka tavoitteena on, että energiantuotanto olisi vähintään hiilineutraalia. Perinteinen lämmön- ja sähköntuotanto, joka perustuu öljyn sekä kivihiilen ja turpeen kaltaisten kiinteiden polttoaineiden polttamiseen, on korvattava uusilla hiilineutraaleilla energialähteillä ja energiantuotantomenetelmillä, kuten tuulivoimalla. Samanaikaisesti on kehitettävä uusia pitkäaikaisia varastointiratkaisuja kiinteille polttoaineille.

SECURE-BIO-SUPPLY-hankkeen tavoitteena on analysoida, millaisia haasteita ja mahdollisuuksia polttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnin muutos voi luoda Pohjanmaalla. Kehittämistoiminta keskittyy kiinteisiin polttoaineisiin, joita varastoidaan 3–36 kuukauden ajan. Lähtötilannetta energiasiirtymässä kuvataan tarkastelemalla kolmea perinteistä vaihtoehtoa: kivihiiltä, energiaturvetta ja metsähaketta. Lisäksi selvitetään uusia mahdollisuuksia, kuten puuta (runko- ja harvennuspuu), pellettejä ja torrefioituja materiaaleja. Odotettavissa olevat tulokset kuvaavat eri varastointimenetelmien kustannuksia, tilantarpeita, erilaisia ympäristövaikutuksia (mukaan lukien ilmastopäästöt) sekä teknisiä haasteita ja rajoitteita polttoaineiden korvaamisessa toisilla. Tutkimus antaa myös ehdotuksia uusiksi kehittämishankkeiksi.

Varsinaisia kohderyhmiä ovat Pohjanmaalla toimivat toimijat, jotka haluavat vähentää tai lopettaa fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön

energiantuotannossa tai -käytössä. Kohderyhmään kuuluvat siten voimalaitokset, lämpölaitokset, kuljetus- ja logistiikkayritykset, metsänomistajat ja urakoitsijat. Erityisesti kohderyhmänä ovat toimijat, jotka ovat kiinnostuneita uusien ratkaisujen suunnittelusta sekä niiden tulevasta pilotoinnista ja esittelystä.

Välillisiä kohderyhmiä ovat suunnittelijat, kaukolämmön toimittajat, kunnat, energiankäyttäjät sekä muut toimijat, joille ilmastoneutraaliuden saavuttaminen, paikallisen työllisyyden edistäminen ja paikallisen energiahuollon turvaaminen ovat tärkeitä. Ammattikorkeakoulut ja yliopistot hyötyvät tiedon hankinnasta ja siirrosta, erityisesti hankkeeseen osallistuvien osalta. Päätöksentekijät ja viranomaiset niin alueellisella kuin kansallisella tasolla saavat paremman ymmärryksen ongelmakentästä ja sen ratkaisusta hankkeen tulosten levittämisen kautta.

Hanke edistää myös kestävämpien energiajärjestelmäratkaisujen kehittämistä ja parantaa edellytyksiä korvata fossiiliset polttoaineet ja turve kestäväällä ja toimitusvarmalla tavalla. Tutkimus antaa ehdotuksia uusiksi kehittämistoimiksi ja -hankkeiksi sekä luo keskeisten sidosryhmien verkoston, joka mahdollistaa uusien järjestelmäratkaisujen ja varastointiteknologioiden jatkokehittämisen. Luotu toimijaverkosto mahdollistaa uusien järjestelmäratkaisujen ja varastointiteknologioiden jatkuvan kehittämisen.

3 Projektin tavoite

Tässä kehittämishankkeessa analysoidaan, millaisia haasteita ja mahdollisuuksia polttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnin muutos tuo mukanaan Pohjanmaalla. Kehittämistoiminta keskittyy kiinteisiin polttoaineisiin, joita varastoidaan 3–36 kuukauden ajanjaksoilla. Tarkastelussa on kolme perinteistä päävaihtoehtoa: kivihiili, jyrsinturve/palaturve sekä energiapuu (metsähake). Kivihiiltä ja turvetta tarkastellaan viitepolttoaineina (nykytila), joista on tarkoitus luopua. Uusina mahdollisuuksina selvitetään muun muassa polttopuu (runko- ja harvennuspuu), pelletit sekä torrefioitu materiaali.

Selvitykseen sisällytetään myös jätepolttoaineet, energiakasvit ja muut biomassat biokaasun tuotantoa varten, koska niihin liittyy monia samoja haasteita kuin hakkeen varastointiin. Odotettavissa olevat tulokset kuvaavat eri varastointimenetelmien kustannuksia, tilantarpeita, erilaisia ympäristövaikutuksia (mukaan lukien ilmastopäästöt) sekä teknisiä haasteita ja rajoitteita, kun yhtä polttoainetta korvataan toisella. Hanketoiminta tuottaa myös ehdotuksia uusiksi kehittämishankkeiksi.

Hankkeessa halutaan lisäksi ajatella ”laatikon ulkopuolelta”, eli analysoida joitakin vähemmän todennäköisiä mutta silti mahdollisia poliittisia skenaarioita, joissa kehitys ei enää noudatakaan niitä periaatteita, joita tällä hetkellä odotetaan. Tällainen kehitys voisi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että EU haluaa varmistaa tietyn kansallisen energiaomavaraisuuden tason tai että päästökaupan piiriin kuuluvien hiilidioksidipäästöjen periaatteita muutetaan. Kolmas vielä tutkimaton tilanne voisi mahdollisesti syntyä EU:n uuden kaivostoimintastrategian (kriittisiä raaka-aineita koskeva säädös) seurauksena – mikäli vastaavaa ajattelutapaa sovellettaisiin muihin raaka-aineisiin siten, että myös esimerkiksi maatalous- ja kotieläintuotannossa tarvittavat materiaalit sisällytettäisiin tarkasteluun.

Hankkeen tavoitteena on tuoda esiin, millaisia haasteita ja mahdollisuuksia polttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnin muutos aiheuttaa Pohjanmaalla. Hankkeessa toteutetaan nykytila- ja siirtymäanalyysi, kustannus- ja ympäristövaikutusten vertailu eri kiinteiden polttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnille sekä riskinarviointi.

Keskeisiä tarkasteltavia kysymyksiä ovat muun muassa:

- Missä muodoissa biomassaa voidaan varastoida pitkäaikaisesti?
- Miten kiinteiden polttoaineiden pitkäaikaisvarastointi on tähän asti mitoitettu?
- Missä varastointi tulisi toteuttaa? Tarvitaanko lisää terminaaleja? Siiloja?
- Mitä varastointi maksaa verrattuna kivihiilen ja turpeen varastointiin?
- Onko energiansaannin huoltovarmuus jo nyt uhattuna? Kuinka paljon kiinteitä polttoaineita tulisi varastoida?
- Joudutaanko biomassaa tuomaan yhä enemmän ulkomailta? Mistä? Kuinka paljon? Missä muodoissa?
- Tarvitaanko energiasiirtymän edetessä pienempiä määriä kiinteitä polttoaineita?
- Miten ympäristövaikutukset muuttuvat?
- Onko energiasiirtymään liittyviä riskejä, jotka tulisi tunnistaa ja ottaa huomioon?

Eri työpakettien tavoitteet:

WP1: NYKYTILA. Biopolttoaineiden, turpeen ja kivihiilen varastointi – nykytilan kartoitus

M1. Koota nykytila-analyysi siitä, miten ja missä laajuudessa kiinteitä polttoaineita on perinteisesti varastoitu sekä millaisia muutoksia viime vuosina on tapahtunut.

M2. Tunnistaa, miten kiinteiden polttoaineiden pitkäaikaisvarastointi on tähän asti mitoitettu.

WP2: SIIRTYMÄ. Energiasiirtymän edetessä syntyvien muutosten, haasteiden ja mahdollisuuksien tunnistaminen

M1. Tunnistaa kehittämismahdollisuuksia ja rakentaa yhteistyötä, joka mahdollistaa matalan kynnyksen testaukset ja demonstraatiot.

4 Projektin toimenpiteet

Tavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavat konkreettiset toimenpiteet on jaettu kuuteen eri työpakettiin. Metsäkeskuksen hankeosiossa kahteen työpakettiin, WP1 ja WP2. Toimenpiteet ja työmenetelmät täsmennetään tarvittaessa yhdessä hankkeen sidosryhmien kanssa hankkeen käynnistymisen jälkeen.

WP1: NYKYTILA. Biopolttoaineiden, turpeen ja kivihiilen varastointi – nykytilan kartoitus

(WP-vetäjä: Metsäkeskus)

Tehtävät:

U1. Kartoittaa energiahuollon huoltovarmuuden nykytila Suomessa (yleiskuva) ja Pohjanmaalla (yksityiskohtaisemmin) koko sektorin osalta, mutta erityisesti kiinteiden polttoaineiden näkökulmasta.

U2. Kartoittaa ja kuvata, missä, miten ja mitä määriä erilaisia kiinteitä polttoaineita voidaan nykyisin varastoida (metsähake, turve, kivihiili, harvennuspuu, pelletit jne.). Painopiste tekniikassa ja varastointiajassa. Kuvataan myös joidenkin polttoaineiden rajoitettu varastointiaika ja sen syyt.

U3. Kuvata, miten kiinteiden polttoaineiden pitkäaikaisvarastointi on tähän asti mitoitettu.

U4. Kartoittaa kiinteiden polttoaineiden varastointia koskevat säädökset, suositukset ja hyvät käytännöt.

U5. Kartoittaa kiinteiden polttoaineiden varastointiin liittyvät paloriskit.

WP2: SIIRTYMÄ. Energiasiirtymän edetessä syntyvien muutosten, haasteiden ja mahdollisuuksien tunnistaminen

(WP-vetäjä: Metsäkeskus)

Tehtävät:

U1. Kartoittaa siirtymän aikataulut, joissa turpeesta ja kivihiilestä luovutaan.

U2. Tunnistaa uudet kiinteiden polttoaineiden varastointitarpeet sekä määrittää varastointitarvetta kuvaavat kertoimet.

U3. Tunnistaa tekniset haasteet ja mahdollisuudet polttoaineiden vaihtamiseen (loppukäyttäjän tasolla, erityisesti niillä, jotka eivät vielä käytä 100 % biopolttoaineita).

U4. Tunnistaa logistisen ketjun tekniset haasteet ja mahdollisuudet.

U5. Kuvata (uusia ja vanhoja) varastointimenetelmiä, joita voitaisiin edelleen kehittää ja testata.

U6. Kuvata ja analysoida lämmitys- ja kaukolämpösektorin laajempaa murrosta.

U7. Tapaustutkimus ja -analyysi loppukäyttäjätasolla. Painopiste muutamissa suurissa ja pienissä kiinteitä polttoaineita käyttävissä laitoksissa:

1. suuret (Vaskiluoto / UPM),
2. pienemmät kaukolämpölaitokset,
3. kasvihuoneet,
4. maatalous,
5. yksityistaloudet.

U8. Tapaustutkimus ja -analyysi kaukolämpöalueen tasolla.

U9. Tapaustutkimus urakoitsijatasolla (polttoainetoimittaja).

5 Tilannekuva

WP 1 tilannekuvaraportti

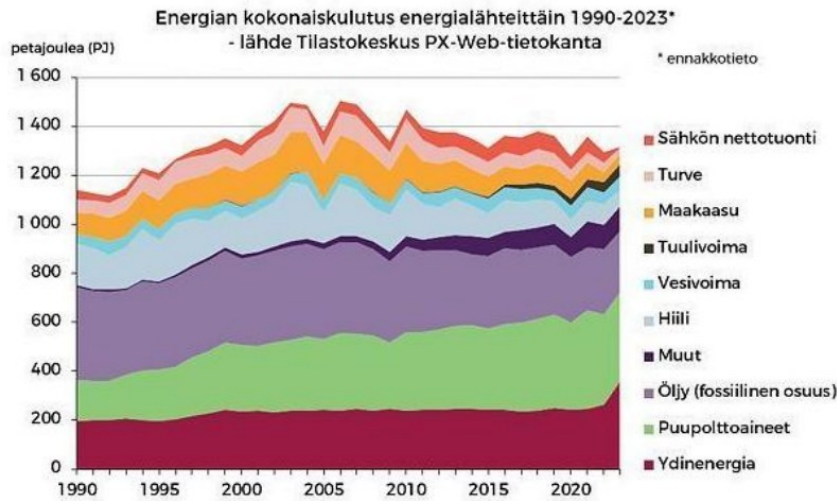
Koko maan tilannekuva

- Energian kokonaiskäyttö
- Turpeen käyttö
- Metsäenergian käyttö
- Turpeen ja puuperäisten polttoaineiden suhde
- Yhteenveto
- Metsähaketase
- Tulevaisuusnäkymät

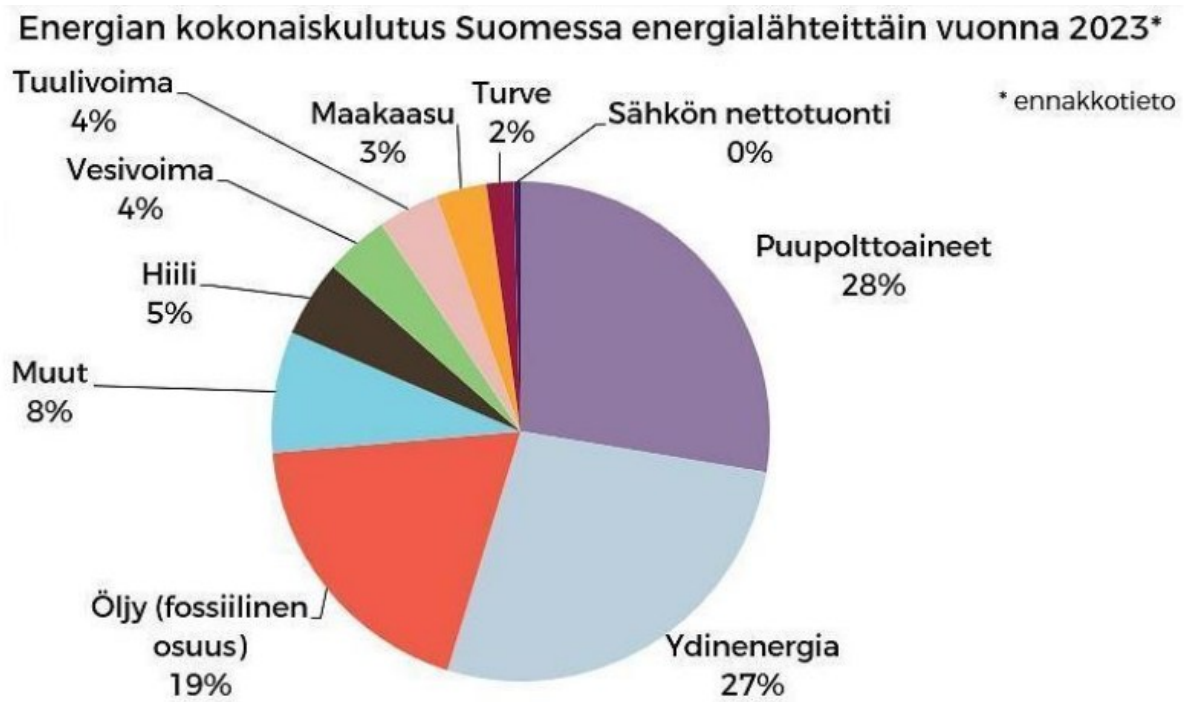
Pohjanmaan tilannekuva

- Energian kokonaiskäyttö
- Turpeen käyttö
- Metsäenergian käyttö
- Yhteenveto
- Metsähaketase
- Käyttöpaikat, terminaalit, turvetuotantoalueet
- Tulevaisuusnäkymät

5.1 Koko maan tilannekuva



Kuva 1. Energian kokonaiskäyttö.



Kuva 2. Energian kokonaiskulutus 1990–2023.

Turpeen ja puuperäisten polttoaineiden käyttö on muuttunut merkittävästi viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana, erityisesti Suomessa ja muissa Pohjoismaissa. Näiden polttoaineiden käyttöön on vaikuttanut muun muassa ilmastopolitiikka, energiamarkkinoiden kehitys ja kestävyyspyrkimykset. Turpeen huoltovarmuustilanne Suomessa on tällä hetkellä huolestuttava, vaikka turpeella on edelleen merkittävä rooli maan energiahuoltovarmuudessa. Energiaturpeen

käyttö on vähentynyt huomattavasti, ja turvetuotannon alasajo on edennyt nopeammin kuin alun perin ennakoitiin. Tämä nopea alasajo uhkaa huoltovarmuutta, koska turpeen varastointimahdollisuuksia ei ole voitu täysin korvata muilla uusiutuvilla energialähteillä, kuten metsähakkeella. Huoltovarmuuskeskuksen mukaan turve on edelleen tärkeä osa Suomen energiahuoltovarmuutta, koska se on yksi harvoista kotimaisista polttoaineista, joita voidaan varastoida suuria määriä pitkiksi ajoiksi. Turpeen varastot ovat kuitenkin pienentyneet nopeasti, ja samalla turvetuotannon kannattavuus on heikentynyt. Tämä johtuu osittain siitä, että monet turvetuottajat ovat jo siirtyneet muihin töihin, eikä heillä ole halua palata alalle ilman pitkäaikaisia sopimuksia.

5.1.1 Turpeen käyttö

Vuonna 2023 Suomen turpeen kulutus väheni merkittävästi, mikä heijastaa laajempia pyrkimyksiä vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Tilastokeskuksen mukaan turpeen kokonaisenergian kulutus oli 8 terawattituntia (TWh), mikä merkitsi noin 15 % vähennystä verrattuna aiempiin vuosiin.

- Laskusuuntainen kehitys: Turpeen käyttö energiantuotannossa on vähentynyt merkittävästi viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana. Tämä johtuu pääasiassa turpeen korkeista hiilidioksidipäästöistä ja kiristyneestä ympäristölainsäädännöstä.
- Verotus ja päästökauppa: Suomessa turpeen käyttöä on rajoittanut kiristynyt verotus sekä EU (päästökauppajärjestelmä, joka on tehnyt turpeen polttamisesta taloudellisesti vähemmän kannattavaa verrattuna muihin energialähteisiin)
- Korvaaminen muilla energialähteillä: Turvetta on korvattu yhä enenevässä määrin puuperäisillä polttoaineilla, kuten metsähakkeella, sekä muilla uusiutuvilla energialähteillä, kuten biokaasulla ja tuulivoimalla.

5.1.2 Metsäenergian käyttö

LUKEN tilastojen mukaan metsähaketta käytettiin Suomessa v. 2020 n. 7,6 milj. m³. Vuonna 2023 määrä oli n. 11,0 milj. m³. Muutos ja kehityssuunta on merkittävä. Metsähaketaseena, jossa laskennan pohjana on taloudellisesti kannattavimpien metsäenergiakohteiden potentiaali suhteessa todelliseen toteutuneeseen käyttöön, muutos näkyy siten, että vuonna 2021 valtakunnallinen tase oli reilut 950 000 m³ positiivinen mutta vuonna 2023 lähes puoli miljoonaa m³ negatiivinen.

Kiinteiden puupolttoaineiden kokonaiskäyttö 2014-2023

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023*
KOKO MAA	Kiinteät puupolttoaineet	25387	25058	26178	26874	26975	27455	26195	30956	29925	29352
	..Lämpö- ja voimalaitokset	18691	18361	19482	19967	20068	20548	19288	24049	23018	22445
	..Metsähake	7550	7349	7422	7214	7420	7566	7605	9544	10195	10961
	..Kuori	7089	6920	7351	7682	7658	7915	6794	7866	6713	5985
	..Puru	2150	2238	2489	2787	2571	2464	2245	3068	2896	2590
	..Teollisuuden puutähdhake	998	1016	1125	1177	1073	1166	1308	1459	1357	1204
	..Kierrätyspuu	768	686	887	817	943	1068	1034	1289	1325	1160
	..Puupelletit ja -briketit	136	135	191	220	208	216	203	362	358	309
	..Muu	0	17	17	71	195	152	99	460	174	236
	..Pientalojen polttopuu	6697	6697	6697	6907	6907	6907	6907	6907	6907	6907
	..Runkopuu	5363	5363	5363	6464	6464	6464	6464	6464	6464	6464
	...Mänty	1048	1048	1048	1246	1246	1246	1246	1246	1246	1246
	...Kuusi	1000	1000	1000	1218	1218	1218	1218	1218	1218	1218
	...Koivu	2246	2246	2246	2695	2695	2695	2695	2695	2695	2695
	...Muu lehtipuu	1070	1070	1070	1305	1305	1305	1305	1305	1305	1305
	..Jätepuu	1333	1333	1333	443	443	443	443	443	443	443

Tuontihakkeen laskennallinen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Tuontihakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa	468	407	445	578	964	1594	1847	1904	636
Metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa	7550	7349	7422	7214	7420	7566	7605	9544	10195
Tuontihakkeen osuus metsähakkeen käytöstä lämpö- ja voimalaitoksissa, %	6	6	6	8	13	21	24	20	6

Taulukko 2. Kiinteiden puupolttoaineiden kokonaiskäyttö 2014–2023.

- Kasvusuunta: Puuperäisten polttoaineiden, kuten metsähakkeen, puupelletin ja jäteliemen, käyttö on kasvanut merkittävästi viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Tämä johtuu niiden uusiutuvasta luonteesta ja vähäisemmistä hiilidioksidipäästöistä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin ja turpeeseen.
- Bioenergia ja kestävyystavoitteet: Puuperäiset polttoaineet ovat keskeisessä roolissa ilmastotavoitteiden saavuttamisessa, sillä ne ovat uusiutuvaa energiaa ja niitä pidetään hiilineutraaleina, kunhan metsien kasvu kompensoi poltosta syntyvät päästöt.
- Tukipolitiikka ja investoinnit: Kansalliset ja EU tukitoimet ovat edistäneet puuperäisten polttoaineiden käyttöä. Suomessa on investoitu merkittävästi bioenergialaitoksiin, jotka käyttävät polttoaineenaan pääasiassa puuta.
- Energiapuun käytön kasvu: Energiapuun, kuten metsähakkeen ja purun, käyttö on noussut erityisesti lämmön- ja sähköntuotannossa. Energiapuun hankinnan ja logistiikan kehittyminen on tehnyt siitä houkuttelevan vaihtoehdon erityisesti kotimaisena energialähteenä.

5.1.3 Turpeen ja puuperäisten polttoaineiden suhde

- Siirtymä turpeesta puuperäisiin polttoaineisiin: Monet energiantuotantolaitokset, jotka aiemmin käyttivät turvetta, ovat siirtyneet

käyttämään puuperäisiä polttoaineita tai muita uusiutuvia energialähteitä. Tämä on osa laajempaa siirtymää kohti vähäpäästöisempää ja uusiutuvaa energiaa.

- Vaikutukset työllisyyteen ja talouteen: Turpeen käytön väheneminen on vaikuttanut työllisyyteen erityisesti turvetuotantoon keskittyvillä alueilla. Toisaalta puuperäisten polttoaineiden kysynnän kasvu on luonut uusia työpaikkoja metsätaloudessa ja bioenergia-alalla.

Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana turpeen käyttö on vähentynyt merkittävästi, kun taas puuperäisten polttoaineiden käyttö on kasvanut huomattavasti. Tämä muutos johtuu osittain ilmastopolitiikan kiristymisestä, taloudellisista kannustimista ja kasvavasta kysynnästä uusiutuvalle energialle. Suomessa puuperäiset polttoaineet ovat ottaneet turpeen paikan keskeisenä energialähteenä, erityisesti lämmön- ja sähköntuotannossa.

5.1.4 Yhteenveto

Siirtyminen turpeesta puuperäisiin polttoaineisiin Suomessa on vaikuttanut merkittävästi logistisiin ratkaisuihin useilla eri tavoilla. Muutokset logistiikassa liittyvät sekä puuperäisten polttoaineiden toimitusketjun hallintaan että infrastruktuurin kehittämiseen.

Tässä ovat keskeiset vaikutukset:

Toimitusketjun monimutkaistuminen

- Hankinnan hajautuminen: Turvetuotanto keskittyy tiettyihin alueisiin Suomessa, missä turvesuot sijaitsevat. Sen sijaan puuperäisiä polttoaineita, kuten metsähaketta ja purua, voidaan hankkia laajemmalta alueelta, mikä hajauttaa toimitusketjua. Tämä edellyttää laajempaa hankintaverkostoa ja yhteistyötä eri metsäyhtiöiden ja yksityisten metsänomistajien kanssa.
- Kuljetusetäisyyksien pidentyminen: Puuperäisten polttoaineiden raaka-aineen kerääminen metsistä voi tarkoittaa pidempiä kuljetusetäisyyksiä, varsinkin harvaan asutuilla alueilla, mikä vaikuttaa logistisiin kustannuksiin ja vaatii tehokasta reittisuunnittelua. **Kuljetuskaluston ja infrastruktuurin kehitys**
- Kuljetuskaluston sopeuttaminen: Puuperäisten polttoaineiden kuljettaminen vaatii erilaista kalustoa kuin turpeen kuljettaminen. Metsähakkeen ja muiden puuperäisten polttoaineiden kuljettamiseen tarvitaan erityisiä ajoneuvoja, kuten hakerekkoja, joissa on riittävä kapasiteetti ja kuormatila. Tämä on edellyttänyt investointeja uuteen kuljetuskalustoon.

- Kuljetusreittien ja terminaalien kehittäminen: Puuperäisten polttoaineiden logistiikkaan on liittynyt tarpeita kehittää ja ylläpitää uusia terminaleja ja lastauspaikkoja, joissa haketta ja muuta puutavaraa voidaan varastoida ja käsitellä ennen jatkokuljetusta voimalaitoksiin.

Varastoinnin ja logistiikan optimointi

- Varastointitarpeiden kasvu: Puuperäisten polttoaineiden varastointi vaatii enemmän tilaa ja erilaisia varastointiratkaisuja verrattuna turpeeseen. Esimerkiksi metsähaketta on varastoitava suojaan kosteudelta, mikä vaatii erityisiä peittoratkaisuja tai varastorakennuksia.
- Sesonkiluonteisuuden hallinta: Puuperäisten polttoaineiden saatavuus voi vaihdella kausittain (esim. hakkeen saatavuus talvella), mikä lisää tarvetta ennakoivaan varastointiin ja logistiikan suunnitteluun.

Kustannusrakenne ja tehokkuus

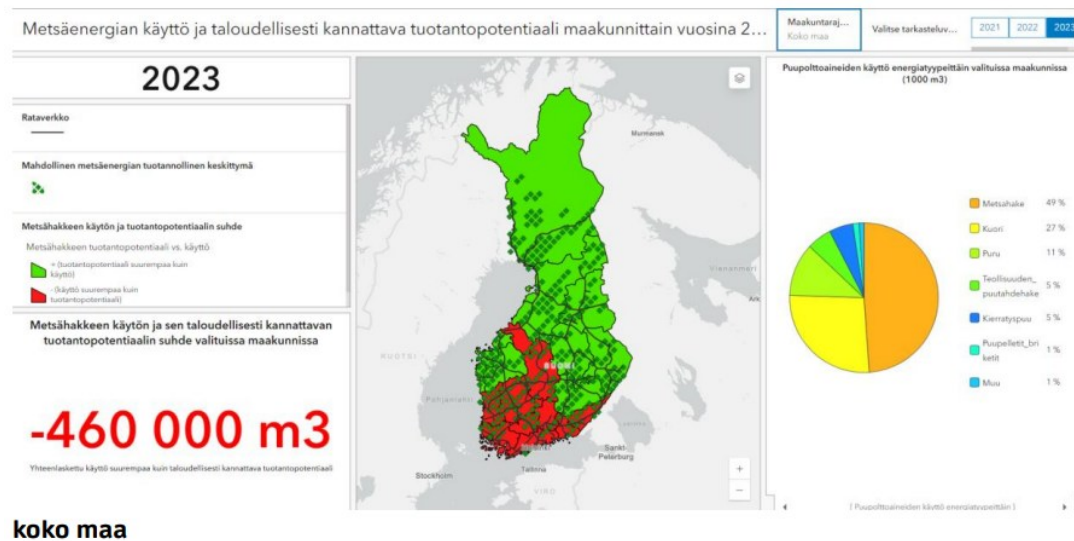
- Logistiikkakustannusten nousu: Pidemmät kuljetusmatkat ja monimutkaisempi hankintaketju ovat kasvattaneet logistisia kustannuksia verrattuna turpeen käyttöön. Tämä on asettanut paineita kehittää tehokkaampia kuljetusratkaisuja ja reittisuunnittelua kustannusten hallitsemiseksi.
- Yhteistyö ja kumppanuudet: Metsänomistajien, kuljetusyritysten ja energiantuottajien välinen yhteistyö on tullut entistä tärkeämmäksi, jotta polttoaineen saatavuus ja toimitus voidaan taata taloudellisesti kestäväällä tavalla.

Vaikutukset ympäristöön ja kestävyYTEEN

- Päästöjen vähentäminen logistiikassa: Koska puuperäisiä polttoaineita pidetään hiilineutraalina energianlähteenä, myös niiden kuljetuslogistiikkaan liittyviä ympäristövaikutuksia, kuten kuljetuskaluston päästöjä, on pyritty minimoimaan. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi siirtymistä vähäpäästöisiin tai sähköisiin kuljetusajoneuvoihin.

5.1.5 Metsähaketase

Alueen taloudellisesti paras metsäenergiapotentiaali (SMK) verrattuna alueen todelliseen toteutuneeseen (LUKE) käyttöön



Kuva 3. Metsähaketase, koko maa, vuosi 2023 sekä toteutunut käyttö jakeittain

Punaisina näkyvät negatiivisen taseen maakunnat tarvitsevat massiiviset määrät polttoainetta. Pelkästään Uudellamaalla on yli miljoona kaukolämpöasiakasta. Metsäenergian kulkusuunnat painottuvat maakuntatason laitosten lisäksi voimakkaasti kohti tiheään asutun eteläisen Suomen laitoksia. Logistiikkaketjussa terminaaleilla on suuri rooli niin tarvittavien volyymien kuin polttoaineen laadunkin varmistajana. Tyypillisesti tällaisen toimitusketjun varastointi- ja käsittelyajat ovat lyhyet.

5.1.6 Tulevaisuusnäkymät

Uudet tekniikat tulevat muuttamaan nopealla aikataululla lämmöntuotannon tapoja ja logistiikkaa. Esimerkiksi sähkökattiloita on suunnitteilla ja työn alla useita kymmeniä. Julkistettuja investointipäätöksiä on yli 1,5 GW ja tämän kapasiteetin kasvu toteutunee jo vuoteen 2026 mennessä.

Myös akkutekniikkaan panostetaan isossa mittakaavassa. Olemassa olevaa infraa ja tekniikkaa hyödynnetään ja erityyppisiä akkuratkaisuja on käynnistysvaiheessa, suurimpana Vantaan Energian "Varanto", 1 100 00 m³ lämmön kausivarasto.

Uudet tekniikat merkitsevät suurta muutosta perinteisten kiinteiden polttoaineiden tuotantoon ja logistiikkaan. Käyttöaikaikkunat lyhenevät ja volyymit pienenevät. Tämä tarkoittaa entistä tarkempaa toimitusketjujen optimointia.

Perinteiset erot isojen ja pienten laitosten toimintatavoissa säilynevät. Pienemmät, kuntatason laitokset hankkivat polttoaineensa lähialueelta paikallisten toimijoiden toimesta. Isot maakuntatason laitokset siirtyvät uusiin tekniikoihin ja kiinteitä polttoaineita hankitaan markkinalähtöisesti laajemmalla alueella kotimaasta sekä tuontina että myös vaihtoehtoisina polttokelpoisina jakeina.

5.2 Pohjanmaan tilannekuva

Taustatietojen kartoittamiseksi on tutkittu eri toimijoiden julkisia tilastotietoja. Paikallisille toimijoille tehtiin keväällä 2024 kyselytutkimus, johon saatiin 9 vastausta. Lisäksi joitakin toimijoita on haastateltu henkilökohtaisesti.

Alla otteita Rambollin v. 2021 Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan liitoille tehdystä selvityksestä. (kursivoitu suora tekstilainaus)

<https://epliitto.fi/wp-content/uploads/2021/06/Energiantuotanto-Pohjanmaalla-ja-Etela-Pohjanmaalla-2050-selvitys-saavutettava.pdf>

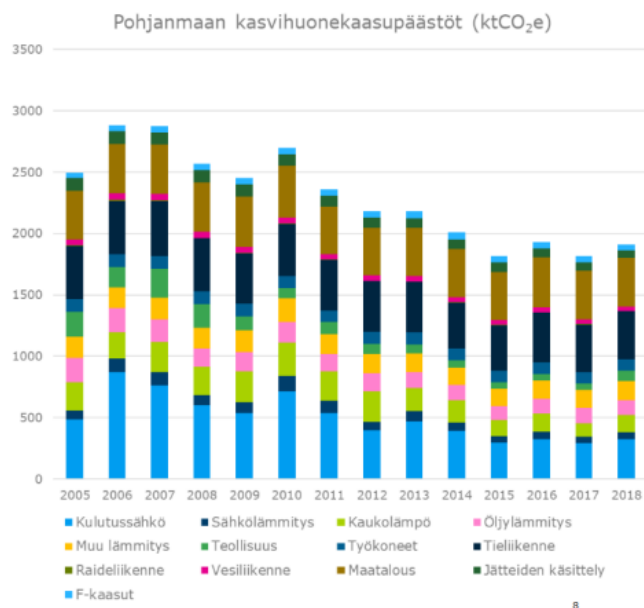
TAUSTA JA TAVOITE POHJANMAA LYHYESTI

Pohjanmaan maakunta koostuu 14 kunnasta. Asukkaita maakunnassa on noin 176 000. Maakunnan keskus on n. 67 000 asukkaan Vaasa.

Pohjanmaalla suurimmat päästöt tulevat melko tasavahvasti maataloudesta, kulutussähköstä, lämmitysratkaisuista yhteenlaskettuna ja tieliikenteestä.

Kuvaajassa esitetyt kasvihuonekaasupäästöt ovat Suomen Ympäristökeskuksen tilastoista: kuvaaja esittää kaikki Suomen kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset päästöt lukuun ottamatta teollisuuden prosessipäästöjä, kotimaan lentoliikennettä, jäänmurtaajia ja maankäyttösektoria. Hinkulaskennasta poiketen mukana ovat kaikki teollisuuden päästöt ja läpiajoliikenne. Ei sisällä päästökompensaatioita.

RAMBOLL



Kuva 4. Pohjanmaan kasvihuonekaasupäästöt päästölähteittäin

ENERGIANTUOTANTO POHJANMAALLA JA ETELÄ-POHJANMAALLA 2050

RAPORTTI Vastaanottaja: Etelä-Pohjanmaan liitto ja Pohjanmaan liitto

Nykytilatarkastelussa on soveltuviissa kohdissa tuotu esille nykytilan liittymäpintaa tiedettyihin kehitystrendeihin:

- Uusiutuva sääriippuvainen sähköntuotanto, tuulivoima ja aurinkosähkö, lisääntyy ja tuo hintavaihteluja
- Biomassa korvaa fossiilisia polttoaineita ja turvetta energiantuotannossa. Biokaasu liikenne- ja energiakäyttöön
- Teollisuus, liikenne ja kauko-/aluelämmön tuottaminen sähköistyvät. Sähkön kysyntä kasvaa, tuotantoa tarvitaan lisää

- Erillis- ja hybridiratkaisut rakennusten lämmitykseen tulevat kaukolämmön rinnalle/tilalle
- Lämpöverkoissa hyödynnetään lauhdelämpöjä ja muita lämmönlähteitä. Lämpö- ja sähkövarastoja rakennetaan
- Kysyntäjoustoa lisätään ja hyödynnetään sekä lämmössä että sähkössä hinta-, tuotanto- ja kysyntävaihteluissa

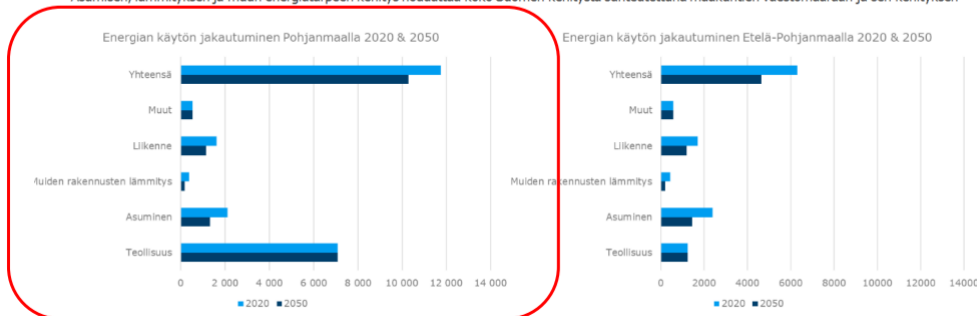
Energiateollisuus ry:n tilaston mukaan v.2022 Pohjanmaalla oli viisi lämmitysvoimalaitosta, kiinteitä lämpökeskuksia 19 ja siirrettäviä lämpökeskuksia viisi. Kaukolämpöteho Pohjanmaalla oli 355 MW.

ENERGIAN TARVE 2050

SELVITYKSEN ENNUSTE ENERGIAN KOKONAISTARPEESTA MAAKUNNISSA 2050

Laadittu ennuste energian tarpeen kehittämisestä perustuu seuraaviin oletuksiin

- Teollisuuden kokonaisenergiatarve pysyy ennallaan (sähköistytminen, kts. seuraava sivu)
- Liikenteen energiantarpeen kehittämisessä on sovellettu LVM:n Toimenpideohjelmaa hiilettömään liikenteeseen 2045-raportin taustaoletuksia huomioiden kuitenkin että maakunnissa ei ole suurkaupunkeja, jolloin on otettu 30 % laskuvauhdiksi 43 %:n sijasta
- Asumisen, lämmityksen ja muun energiantarpeen kehitys noudattaa koko Suomen kehitystä suhteutettuna maakuntien väestömäärään ja sen kehityksen



Kuva 5. Ennuste energian kokonaistarpeesta Pohjanmaalla v. 2050

ENERGIAN TARVE 2050

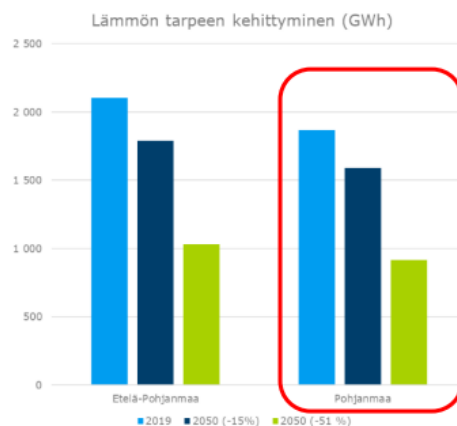
LÄMMITYSENERGIAN TARPEEN KEHITTYMINEN SUOMESSA JA ENNUSTE MAAKUNTIIN

Ilmatieteenlaitos on tutkimuksissaan mallintanut, että ilmaston muuttumisen takia lämmitysenergian kulutus pienenee noin 10 % vuoteen 2030, 15–18 % vuoteen 2050 ja 20–40 % vuoteen 2100 mennessä. Lämmitystekniikoiden kehityksen ansiosta lämmitysenergian kulutus voi pienentyä vielä enemmänkin. Sen sijaan jäähdytysenergian tarpeen arvioitiin kasvavan vuosisadan loppuun mennessä 40–80 %. Huomattavasta kasvusta huolimatta rakennusten jäähdyttämisen tarve pysyy kuitenkin melko pienenä lämmittämiseen verrattuna. Niinpä rakennusten kokonaisenergiakulutus lämmitykseen ja jäähdytykseen vähenee Ilmatieteenlaitoksen tutkimusten mukaan Suomessa 20–35 % vuosisadan loppuun mennessä.

Mikäli rakennusten (asuin ja muiden) lämmitystarpeen oletetaan vähentyvän 51 % vuoteen 2050 mennessä Ympäristöministeriön Korjausrakentamisen strategian mukaisesti voidaan Etelä-Pohjanmaalla arvioida lämmitysenergiatarpeen olevan noin 1030 GWh/v ja Pohjanmaalla noin 915 GWh/v vuonna 2050. Strategiaa otetaan huomioon sekä ilmastonmuutoksen vaikutukset että kiinteistöjen energiatehokkuuden parantuminen korjausrakentamisen edetessä.

Laadittu ennuste lämmitysenergian tarpeen kehittämisestä perustuu seuraaviin oletuksiin:

- Ilmastonmuutoksen edetessä lämmitysenergian kulutus pienenee -15 % vuoteen 2050 mennessä
- Lämmitysenergiatarve pienenee -51 % ilmastonmuutoksen sekä YM:n korjausrakentamisen (mm. energiatehokkuuden parantamisen) etenemisen perusteella



34

Kuva 6. Lämmitysenergian tarpeen kehittyminen Pohjanmaalla

5.2.1 Energian kokonaiskäyttö

Vuonna 2022 Energiateollisuus ry:n tilaston mukaan Pohjanmaalla kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotantoon käytettiin yhteensä 1 468 GWh, edellisestä kaukolämmön erillistuotantoon 300 GWh.

		kaukolämmön erillistuotanto
Kivihiili	74 GWh	
Kevyt polttoöljy	47 GWh	47 GWh
Jyrsinturve	176 GWh	
Metsäpolttoaine	429 GWh	69 GWh
Teollisuuden puutähde	135 GWh	
Yhdyskunta-/sekajäte	541 GWh	143 GWh
Sähkökattiloiden käyttämä sähkö	39 GWh	39 GWh
Muut biomassat ja polttonesteet		2 GWh

Taulukko 3. Energian kokonaiskäyttö Pohjanmaalla v 2022

5.2.2 Turpeen käyttö

Jyrsinturve 176 GWh

Pohjanmaan turpeen huoltovarmuustilanne on tällä hetkellä haasteellinen. Turvetuotannon nopea alasajo on vaikuttanut erityisesti Pohjanmaalla, jossa turvetuotannolla on ollut perinteisesti merkittävä rooli sekä energian että kasvuturpeen tuotannossa. Monilla alueen turvetuottajilla on ollut vaikeuksia jatkaa toimintaansa, ja osa heistä on jo siirtynyt muihin elinkeinoihin. Tämä on heikentänyt mahdollisuuksia ylläpitää riittäviä turvevarastoja, mikä on keskeistä alueen energihuoltovarmuuden kannalta.

Huoltovarmuuskeskus ja paikalliset energiayhtiöt ovat ilmaisseet huolensa siitä, että turpeen saatavuus voi muodostua ongelmaksi tulevina vuosina, erityisesti jos talvet ovat kylmiä ja energiatarve kasvaa. Turvetuotannon vähentäminen on lisännyt painetta löytää korvaavia energialähteitä, kuten metsähaketta, mutta näidenkään saatavuus ei ole täysin taattua.

5.2.3 Metsäenergian käyttö

Kokopuu, rankahake	270 GWh	45 GWh
Metsätähdehake	135 GWh	24 GWh
Kantomurske	24 GWh	
Kuori	63 GWh	
Sahanpuru	49 GWh	
Muu teollisuuden puutähte	22 GWh	
Kierrätyspuu	10 GWh	2 GWh

Kiinteiden puupolttoaineiden kokonaiskäyttö 2014-2023											
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023*
15 Pohjanmaa	Kiinteät puupolttoaineet	1359	1375	1598	1545	1576	1485	1362	1576	1646	1398
	..Lämpö- ja voimalaitokset	1080	1095	1319	1293	1324	1232	1109	1323	1393	1145
	..Metsähake	499	469	619	613	592	474	422	511	625	538
	..Kuori	505	559	604	570	540	613	563	639	472	355
	..Puru	16	13	22	26	40	29	46	76	130	68
	..Teollisuuden puutähte	4	0	0	8	4	4	16	18	51	85
	..Kierrätyspuu	54	53	73	74	145	103	60	75	112	97
	..Puupelletit ja -briketit	1	1	1	2	3	3	3	4	4	3
	..Muu	..	..	..	..	-	6	-	-	-	-
	..Pientalojen polttopuu	280	280	280	252	252	252	252	252	252	252
	..Runkopuu	226	226	226	230	230	230	230	230	230	230
	..Mänty	46	46	46	47	47	47	47	47	47	47
	..Kuusi	51	51	51	52	52	52	52	52	52	52
	..Koivu	93	93	93	95	95	95	95	95	95	95
	..Muu lehtipuu	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35
	..Jätepuu	54	54	54	23	23	23	23	23	23	23

Taulukko 4. Metsäenergian käyttö Pohjanmaalla v.2014-2023

Kaukolämpöasiakkaiden määrä v. 2022

TAULUKKO 8. KAUKOLÄMMITETTYJEN TALOJEN ASUKKAIDEN OSUUS KUNTIEN VÄESTÖSTÄ

Kunta	Lämmön myyjä	Lämmönmyynnin aloittamisvuosi	Ki-talojen asukkaat 31.12.2022	Asukasluvu 2022	Osuus asukasluvusta %
8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6
POHJANMAA			64 891	176 323	37
Kristinankaupunki	019.02	Pori Energia Oy, Kristinankaupunki	2008	..	6 242
Laihia	178	Laihia Nuuka Lämpö Oy	1999	..	7 817
Pietarsaari	080.03	Herrfors Oy Ab, Pietarsaari	1973	11 491	19 207
Uusikaarlepyy	179	Nykarleby Kraftverk	2007	..	7 434
Vaasa	003	Vaasan Sähkö Oy	1963	53 400	67 988
Edellä mainitut yht.			64 891	108 688	60

Taulukko 5. Kaukolämpöasiakkaiden määrä Pohjanmaalla v. 2022

5.2.4 Yhteenveto

Siirtyminen turpeesta puuperäisiin polttoaineisiin Pohjanmaalla on vaikuttanut merkittävästi logistisiin ratkaisuihin useilla eri tavoilla. Muutokset logistiikassa liittyvät sekä puuperäisten polttoaineiden toimitusketjun hallintaan että infrastruktuurin kehittämiseen. Vaikutukset ovat samoja kuin valtakunnallisen tarkastelun yhteenvedossa. (ks. ylempää sivut 5 ja 6)

5.2.5 Metsähaketase

LUKEN tilastojen mukaan Pohjanmaalla käytettiin

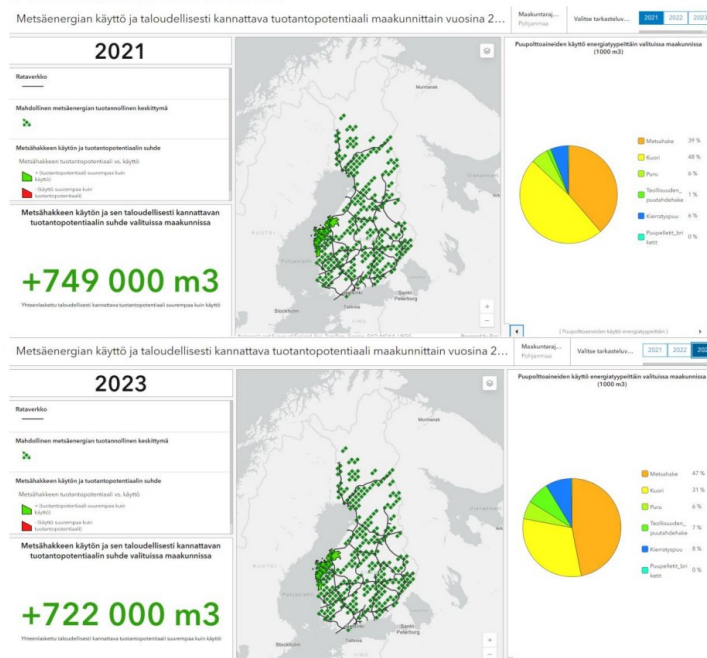
v. 2020 metsähaketta 422 000m3

v. 2021 metsähaketta 511 000m3

v. 2022 metsähaketta 625 000m3

v. 2023 metsähaketta 548 000m3

Metsäenergian käyttö ja taloudellisesti kannattava tuotantopotentiaali maakunnittain vuosina 2...



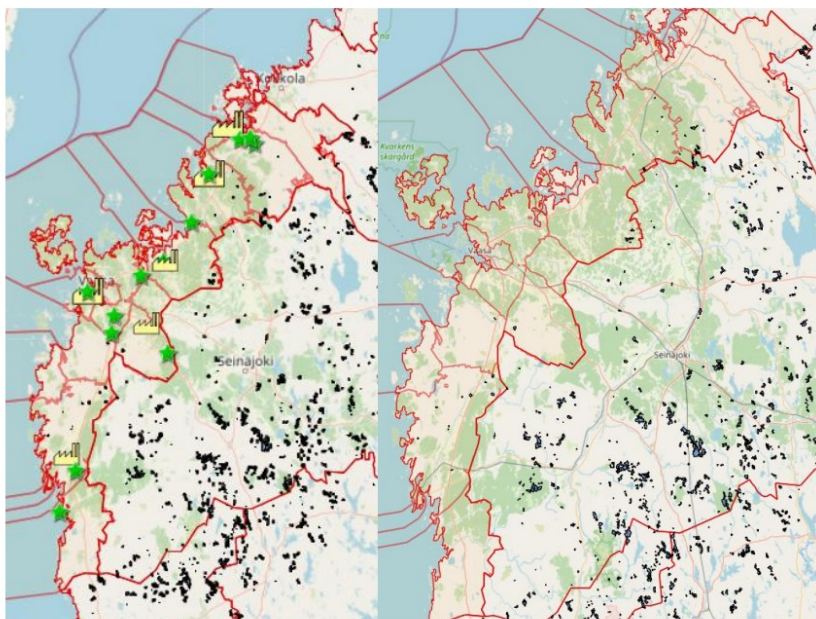
Kuva 7. Metsähaketase Pohjanmaalla, vertailuvuodet 2021 ja 2023

5.2.6 Käyttöpaikat, terminaalit, turvetuotantoalueet

Merkittävimpiä käyttöpaikkoja

ja terminaaleja

Turvetuotantoalueet Pohjanmaalla



Kuva 8. Vasemmalla merkittäviä terminaalikohteita, oikealla turvetuotantoalueet

Pohjanmaalta on kartoitettu 13 merkittävämpää metsäenergian terminaali-/varastoaluetta. Pinta-alaa näillä alueilla on yhteensä reilut 23 hehtaaria. Maakunnassa on varmaan myös kohteita, joita ei tähän kartoitukseen ole löydetty.

Terminaalit/varastot ovat tekniseltä toteutukseltaan vaihtelevia. Osa kohteista on maapohjaisia lähinnä varastokäyttöön tarkoitettuja, osassa kohteita rakenteita on viimeistelty pitemmälle mm. päällysterakenteilla. Käytettävyyden parantamiseksi ja hävikkien pienentämiseksi alueen päällystäminen on kannattava toimenpide. Rakenteet kuitenkin maksavat (hyvin pohjustettu ja päällystetty kenttä maksaa keskimäärin noin 25 euroa/m²) ja toimijat joutuvat laskemaan tarkasti kohdaltaan kannattavuuden rajoja. Investoinnit ovat suuria ja takaisinmaksuaika suhteellisen pitkä.

Osa metsäenergiapuusta varastoidaan metsäteiden varsilla, jossa se haketetaan ja toimitetaan suoraan käyttöpaikalle. Tällainen toimitusketju sopii pienemmille ns. kuntatason laitoksille, joissa volyymit ovat kohtuullisia ja hankinta-alueet (=kuljetusmatkat) jäävät lyhyemmiksi.

5.2.7 Tulevaisuusnäkymät

Pohjanmaan osalta sähkökattiloilla on jo nyt huomattava rooli ja se tulee vielä lähivuosina kasvamaan.

Isojen laitosten polttoainevalikoima laajenee, pienemmissä laitoksissa perinteiset, lähialueelta hankitut puuperäiset polttoaineet ovat pääroolissa. Ennusteen mukaan lämmitystarve vähenee.

Isojen laitosten polttoainekierto on nopeaa ja puskurivarastot pienempiä. Pienemmissä laitoksissa varastokierto on hitaampaa ja varastot suhteessa käyttöön suurempia. Tästä seuraa myös suurempia hävikkitappioita. Pohjanmaalla puuperäistä polttoainetta riittää alueen omaan käyttöön erinomaisen hyvin, jopa muihin maakuntiin vietäväksi.

6 Yleistä metsäpolttoaineista ja varastoinnista

Metsäpolttoaineet, kuten metsähake, rankapuu, harvennuspuu ja muut puuperäiset sivuvirrat, muodostavat tärkeän osan Suomen uusiutuvaa energiantuotantoa. Niiden käyttö perustuu kotimaisuuteen, saatavuuteen ja vähäisiin päästöihin. Varastointi on keskeinen osa toimitusketjua, sillä polttoaineiden saatavuus vaihtelee kausittain ja tarve korostuu lämmityskaudella.

Varastoinnin tavoitteena on varmistaa polttoaineen laatu sekä toimitusvarmuus. Varastointiin vaikuttavat erityisesti kosteus, varastointiaika ja varastointipaikan

olosuhteet. Yleisimmät varastointitavat ovat metsäteiden varrella tapahtuva lyhytaikainen metsävarastointi sekä terminaalivarastointi, joka mahdollistaa suuremmat määrät ja tasaisen toimitusrytmin. Laadukas varastointi edellyttää kantavaa maapohjaa, hyvää järjestelyä, kuivumisen varmistamista sekä paloturvallisuuden huomioimista.

Energiasiirtymä lisää tarvetta kehittää tehokkaampia ja pitkäkestoisempia varastointimenetelmiä, jotta polttoaineen toimitusvarmuus säilyy muuttuvassa energiantuotannossa.

7 Metsäpolttoaineiden yleiset varastointitavat

Puutavaran terminaalivarastoinnissa on useita hyviä käytäntöjä ja huomioon otettavia seikkoja, jotka varmistavat varastoinnin tehokkuuden, turvallisuuden ja puutavaran laadun säilymisen. Alla on koottuna keskeisiä ohjeita ja käytäntöjä.

VARASTOINNIN HYVÄT KÄYTÄNNÖT

Varaston sijainti

- Sijainti liikenteellisesti keskeisellä paikalla: Terminaalivarasto tulisi sijoittaa lähelle pääteitä ja raiteita, jotta puutavaran kuljetus on mahdollisimman sujuvaa.
- Maaperä ja kantavuus: Varmista, että varastoalueen maaperä on riittävän kantava ja kuiva, jotta raskaiden koneiden käyttö ei aiheuta ongelmia. Alueen pohjan tulisi olla hyvin salaojitettu.

Varastointialueen järjestely

- Logistinen tehokkuus: Puutavara tulee järjestää siten, että varastosta on helppo ottaa tarvittavaa materiaalia ilman ylimääräistä siirtelyä.
- Turvavälit: Riittävien turvavälien pitäminen eri puutavarapinojen välillä on tärkeää tulipalojen leviämisen ehkäisemiseksi ja turvallisen työskentelyn varmistamiseksi.
- Korkeus: Pinojen korkeuden on oltava turvallinen, jotta vältetään kaatumisriskit. Yleensä korkeus määräytyy tavaratyyppin ja terminaalilaitteiston mukaan.

Puutavaran laatu ja käsittely

- Lajittelu ja merkintä: Puutavara on syytä lajitella ja merkitä selkeästi esimerkiksi lajin, mittojen ja laadun mukaan, jotta sen jatkokäsittely ja toimitukset sujuvat mutkattomasti.

- Suojelu säältä: Tarvittaessa puutavara voidaan suojata säältä esimerkiksi peittämällä se, erityisesti pitkäaikaisessa varastoinnissa, jotta vältetään lahon ja homeen syntyminen.
- Kuivaus ja ilmankierto: Jos puutavara varastoidaan pidemmäksi aikaa, on varmistettava riittävä ilmankierto, jotta kosteus ei pääse kertymään.

Turvallisuus

- Tulipalon ehkäisy: Tulipalojen ennaltaehkäisemiseksi on tärkeää pitää varastoalue siistinä ja varmistaa, ettei alueella ole syttyviä materiaaleja. Varastoalueella on hyvä olla myös riittävä määrä palontorjuntavälineitä.
- Työturvallisuus: Alueen turvallisuudesta on huolehdittava mm. selkeillä liikennejärjestelyillä, riittävällä valaistuksella ja asianmukaisella koulutuksella.

Koneet ja laitteet

- Soveltuvat laitteet: Käytettävien koneiden ja laitteiden on oltava tarkoitukseen sopivia ja huollettuja. Tämä koskee esimerkiksi nostureita, kuormaimia ja trukkeja.
- Kunnossapito: Koneiden ja laitteiden säännöllinen huolto varmistaa niiden toimintakunnon ja ehkäisee työtapaturmia.

Ympäristövaikutukset

- Melunhallinta: Koneiden ja varastotoiminnan aiheuttamaa melua on pyrittävä hallitsemaan esimerkiksi meluvallien avulla, jos varasto sijaitsee asutuksen lähellä.
- Jätehuolto ja ympäristönsuojelu: Varastoalueella tulee olla selkeät käytännöt jätehuollon ja mahdollisten vuotojen hallinnan suhteen, jotta ympäristövaikutukset minimoidaan.

Seuranta ja dokumentointi

- Varastonhallintajärjestelmä: Hyvä käytäntö on käyttää varastonhallintajärjestelmää, joka helpottaa varastoitavan puutavaran seurantaa ja inventointia.
- Raportointi: Säännöllinen raportointi ja tarkastukset varaston kunnosta ja turvallisuudesta auttavat ennakoimaan ja ehkäisemään ongelmia. Näiden käytäntöjen ja seikkojen huomioiminen auttaa varmistamaan, että puutavaran terminaalivarastointi sujuu turvallisesti ja tehokkaasti, samalla säilyttäen puutavaran laadun ja ympäristövaikutukset minimissä.

8 Varastointiaika

Metsäenergian eri jakeiden tyypilliset varastointiajat eri varastointimenetelmillä.

8.1 Metsävarastointi (tievarsivarastot) – lyhytaikainen varastointi

Soveltuu: rankapuu, kokopuu, harvennuspuu, metsätähdehake

Tyypillinen varastointiaika:

- **3–9 kuukautta**, yleensä hakkuukohteelta syksystä kevääseen
- Metsätähdehake voidaan kuivattaa tienvarressa 1–6 kk

Huomiot:

- Sääolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti kosteuteen
- Sopii pienille ja keskisuurille laitoksille, joissa varastointitarve on kohtalainen
- Varastointi on pääosin lyhytjaksoista ja sidottu hakkuukauteen

8.2 Terminaalivarastointi – keskitetty varastointi

Soveltuu: hake, rankapuu, kokopuu, pelletit, sivuvirrat

Tyypillinen varastointiaika:

- **Hake:** 1–6 kuukautta
- **Rankapuu ja kokopuu:** 6–18 kuukautta
- **Kuorijakeet ja teollisuuspuu:** 3–12 kuukautta

Huomiot:

- Mahdollistaa suuret volyymit ja tasaisen toimitusrytmin
- Edellyttää kantavaa maapohjaa, järjestettyä alueen käyttöä ja paloturvallisuuden huomioimista (varastointikäytännöt)

8.3 Peitetty tai suojattu varastointi (peitteet, hallit, katokset)

Soveltuu: hake, rankapuu, brikitit, pelletit

Tyypillinen varastointiaika:

- **Hake ja rankapuu:** 6–12 kuukautta
- **Brikitit ja pelletit:** 6–24 kuukautta (edellyttää kuivaa ja suojattua tilaa)

Huomiot:

- Käytetään, kun halutaan vähentää kosteutta ja hävikkejä
- Peittäminen ja kuivaaminen mainitaan raportissa ratkaisuna pitkäaikaiseen varastointiin (viite: ratkaisut osiossa)

8.4 Prosessoidut polttoaineet (pelletti, briketti, torrefioitu materiaali)

Soveltuu: jatkojalostetut polttoaineet

Tyypillinen varastointiaika:

- **Pelletti:** 6–18 kuukautta sisävarastoituna
- **Briketti:** 6–18 kuukautta
- **Torrefioitu hiili / biohiili:** jopa **12–36 kuukautta** (hyvä varastointikestävyys)

Huomiot:

- Torrefioidut tuotteet mainitaan raportissa varastointia parantavina vaihtoehtoina
- Herkkiä kosteudelle → sisävarastointi suositeltavaa

8.5 Nestemäiset ja kaasumaiset bioenergiajakeet

Soveltuu: pyrolyysiöljy, biokaasu

Tyypillinen varastointiaika:

- **Nesteet:** 6–12 kuukautta (säiliövarastointi)
- **Kaasu:** jatkuva varastointi paineastioissa, varastointiaika käytännössä käyttörytmin mukaan

Huomiot:

- Varastointi riippuu prosessista, ei yleensä pitkäkestoista kuten kiinteillä jakeilla

Yhteenveto yhdellä silmäyksellä

Varastointimenetelmä	Soveltuvat jakeet	Tyypillinen varastointiaika
Metsävarastointi	rankapuu, kokopuu, metsätähde	3–9 kk
Terminaalivarastointi	hake, rankapuu, kokopuu	1–18 kk
Peitetty varastointi	hake, rankapuu, pelletit	6–24 kk
Jatkojalostetut tuotteet	pelletti, briketti, torrefioitu materiaali	6–36 kk
Neste/kaasu	pyrolyysiöljy,	

Taulukko 6. Varastointimenetelmien vertailu

9 Metsä- vs. terminaalivarastointi

9.1 Logistiikkaerot

9.1.1 Metsävarastointi

- Varastointi tapahtuu **hakkuukohteiden tai metsäteiden varsilla**, tyypillisesti 3–9 kk ajan.
- Soveltuu **pienille ja keskisuurille laitoksille**, joiden hankinta-alue ja kuljetusmatkat ovat lyhyitä.
- Kuljetukset ovat usein **suoria**, eli haketus ja toimitus käyttöpaikalle tapahtuvat peräkkäin ilman välivarastointia.

9.1.2 Terminaalivarastointi

- Varastointi tapahtuu keskitetysti **terminaaleissa ja varastoalueilla**, usein lähellä pääteitä ja rautateitä logistisen tehokkuuden varmistamiseksi.
- Mahdollistaa **suurten volyymien käsittelyn** ja tasaisen toimitusrytmin, mikä on tärkeää etenkin suurille laitoksille.
- Logistiikkaketju voi sisältää useita vaiheita (kuljetus metsältä → terminaaliin → käyttöpaikalle).

9.1.3 Yhteenveto logistiikasta

- *Metsävarastointi* sopii lyhyisiin toimitusketjuihin ja pienempiin laitoksiin.
- *Terminaalivarastointi* on osa laajaa ja ammattimaista toimitusketjua, etenkin maakuntatason laitoksissa.

9.2 Kustannuserot

9.2.1 Metsävarastointi

- Maapohjan investointitarvetta ei juuri ole.
- Kustannuksia syntyy lähinnä **kuljetusmatkojen vaihtelusta** ja pinojen peittämisestä tarvittaessa.
- Epäsuoria kustannuksia aiheutuu siitä, että varastointiolosuhteet eivät ole optimaaliset → mahdolliset hävikkitappiot.

9.2.2 Terminaalivarastointi

- Terminaalien perustaminen ja ylläpito lisää kustannuksia:
- Päälystetyn kentän hinta voi olla n. **25 €/m²**.
- Tarvitaan koneita, kunnossapitoa ja logistiikan hallintaa.
- Vastineeksi logistiikka tehostuu, laatu paranee ja hävikki pienenee.

9.2.3 Yhteenveto kustannuksista

- *Metsävarastointi* on investoinneiltaan halvempi mutta laadullisesti riskialttiimpi.
- *Terminaalivarastointi* on investointipainotteinen mutta tehokkaampi ja laadultaan tasalaatuisempi.

9.3 Laatuero

9.3.1 Metsävarastointi

- Altis **säälle ja kosteuden vaihtelulle** → kosteuspitoisuus voi vaihdella paljon.
- Sopii lyhytjaksoiseen varastointiin, ei ideaali pitkäaikaiseen laatuun.
- Varastointiolosuhteet riippuvat täysin maapohjasta ja säästä.

9.3.2 Terminaalivarastointi

- Laatu on hallittavampi:
 - Kantava maapohja, salaojitus, järjestetty alue.
 - Mahdollistaa **kuivumisen, ilmankierron ja suojauksen** paremmin.
 - Peitetyt tai suojatut varastot (hallivarastointi) vähentävät kosteutta ja parantavat laatua.

9.4 Hävikierot

9.4.1 Metsävarastointi

- Hävikkiriski on suurempi:
 - Vaihtelevat sääolosuhteet → kosteus kasvaa, lahoamista voi tapahtua.
 - Pienissä varastoissa varastokierto on hitaampaa, mikä lisää hävikkiä.

9.4.2 Terminaalivarastointi

- Hävikkitappiot ovat pienempiä:
 - Parempi kuivuminen ja suojaus.
 - Mahdollisuus seuloa ja käsitellä materiaalia ennen toimitusta.
 - Logistiikkaketju suunniteltu varastointiaikojen lyhentämiseksi.

9.4.3 Yhteenveto hävikistä

- *Metsävarastointi* → suurempi hävikkiriski.
- *Terminaalivarastointi* → hävikki minimoidaan hallituilla olosuhteilla.

9.5 Huoltovarmuusnäkökulma

9.5.1 Metsävarastointi

- Riippuvainen säästä ja kausivaihteluista.
- Ei mahdollista suuria, pitkäaikaisia varastoja.
- Soveltuu paikalliseen ja lyhyen aikavälin puskuriksi.

9.5.2 Terminaalivarastointi

- Kriittinen osa huoltovarmuutta:
 - Mahdollistaa **suuret varastomäärät**.
 - Tukee alueellisia ja kansallisia toimitusketjuja suurten laitosten tarpeisiin.
 - Terminaaleilla on keskeinen rooli erityisesti eteläisen Suomen energiaketjuissa, joissa volyymit ovat suuria.

9.5.3 Yhteenveto huoltovarmuudesta

- *Metsävarastointi* ei yksin riitä takaamaan huoltovarmuutta.
- *Terminaalivarastointi* on välttämätön osa alueellista ja valtakunnallista huoltovarmuutta.

Kokonaisvertailu yhdellä silmäyksellä

Ominaisuus	Metsävarastointi	Terminaalivarastointi
Logistiikka	Lyhyet ketjut, suorat toimitukset	Keskitetty, tehokas, suurten volyymien hallinta
Kustannukset	Matala investointitarve	Korkeat investoinnit, mutta tehokkaampi
Laatu	Vaihteleva, altis säälle	Tasalaatuinen, hallitut olosuhteet
Hävikki	Suurempi riski	Pienempi riski
Huoltovarmuus	Rajallinen	

Taulukko 7. Metsä- ja terminaalivarastoinnin kokonaisvertailu

10 Ratkaisuja metsäpolttoaineen pitkäaikaisempaan varastointiin

10.1 Polttoaineen kuivaaminen

Kustannustehokkain kuivausmenetelmä: Luonnollinen ilmakeivaus (Natural Air Drying, NAD)

Sekä tutkimuskirjallisuus että metsäenergian käytännön toiminta osoittavat, että **luonnollinen ilmakeiväus** on ylivoimaisesti kustannustehokkain tapa kuivata metsähaketta, rankaa ja muuta metsäenergiaa.

Perustelut tutkimuksesta

- Laajassa metsäbiomassojen kuivaustutkimuksessa (An Assessment of Ambient and Heated Forced Air Drying Pre-treatments for Enhancing the Quality of Various Forests Biomass Feedstocks) todettiin, että natural air drying (NAD) tarjoaa *positiivisen nettoenergiatuoton 9–32 %* ilman lisäenergian tarvetta. [\[frontiersin.org\]](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.00007/full)
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.00007/full>
- NAD toimii useille biomassoille (hakkuujätteet, kuori, puru), kun varastointiolosuhteet mahdollistavat ilmankierron.
- Tutkimuksessa todetaan, että NAD on selvästi halvempi kuin koneellinen kuivatus, ja lämpöä vaativat menetelmät tuottavat jopa negatiivisen energiataseen, ellei käytettävissä ole erittäin halpaa hukkalämpöä. [\[frontiersin.org\]](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.00007/full)

Mitä NAD käytännössä tarkoittaa?

10.1.1 Avoin, tuulettuva varastointipaikka

Energiapuun kuivuminen perustuu:

- ilmavirtaan
- säteilyyn
- sateelta suojaamiseen (tarvittaessa peitteillä)

Samat suuntaiset havainnot esiintyvät myös varastoinnin laatuohjeissa, jotka korostavat **ilmankiertoa, kuivaa maapohjaa ja järjestettyjä pinoja**.

10.1.2 Oikea pinotekniikka

- Pitkät pinot tai rankakasa tien varressa
- Pinojen väliin jätetään rakoja ilmankiertoa varten,
- Pino nostetaan irti maasta, jotta pohjakosteus ei siirry puuhun. Pinoon sijoitetaan välipuut



Kuva 9. Välipuvin rakennettu tuuletus energiapuupinoon

10.1.3 Kevyt suojaus

Raportissa mainitaan peittäminen ratkaisuna **pitkäaikaisvarastoinnin parantamiseksi**.

Peittäminen vähentää sateen tuomaa uudelleen kostumista ja on kustannuksiltaan pieni toimenpide verrattuna koneelliseen kuivaukseen.

10.1.4 Varastoinnin ajoitus

- Kuivumista nopeuttavat kesän lämpö ja tuuli
- Haketus kannattaa ajoittaa loppukesään/syksyyn, jolloin kosteus on minimissään

Miksi tämä tapa on kustannustehokkain?

Ei tarvitse energiaa

- Kuivuminen tapahtuu luonnon olosuhteilla → ei lämpö-, sähkö- tai koneinvestointeja.

Alhaiset investoinnit

- Ei vaadi muuta infrastruktuuria kuin kantavan varastoalueen (metsävarasto tai terminaali).

- Terminaalivarastointi voi vaatia päällystystä (25 €/m²), mutta NAD toimii hyvin myös perusmaapohjalla. Pinojen etelä-pohjoinen-suunta ja pinojen alusrakenteet tehostavat vaikutusta.

Hävikkitappiot vähenevät

- Parempi kuivuminen → korkeampi lämpöarvo → pienemmät kuljetus- ja polttokustannukset.
- Tämä havainto toistuu toimitusketju- ja kustannusanalyysissä.

Tuottaa tasalaatuisempaa polttoainetta

- Vaihtelu kosteudessa pienenee verrattuna täysin suojaamattomaan metsävarastointiin.

Hyvä energiatase

- NAD toi tutkimuksissa parempaa nettoenergiaa kuin lämpökuivaus (joka kuluttaa energiaa enemmän kuin poistaa kosteutta). [\[frontiersin.org\]](https://frontiersin.org)

Mihin tilanteisiin NAD soveltuu parhaiten?

Erityisen kustannustehokas seuraavissa kohteissa:

- Metsävarastot (rankapuu, kokopuu, harvennusrangat)
- Terminaalit ilman kalliita kuivauslaitteita
- Pien- ja kuntatason lämpölaitosten polttoaineketjut
- Pitkä varastointiaika (6–12 kk)

Milloin NAD ei riitä?

On tilanteita, joissa tarvitaan nopeampaa tai tasalaatuisempaa kuivausta:

- nopeat toimitusketjut suurille laitoksille
- sateiset ja kosteat vuodet
- pelletöinti/briketöinti (vaatii kuivempaa raaka-ainetta)

Näissä tapauksissa voidaan käyttää:

- hukkalämpöä hyödyntäviä teollisia kuivureita
- aurinkolämpöavusteisia kuivausjärjestelmiä
- torrefiointia (kallis mutta parantaa varastointikestoa)

Suositus: Paras kustannustehokas malli Suomessa

**→ Luonnollinen ilmakuivaus + kevyt peittäminen
(peitepaperit/pressut/katokset)**

Tämä yhdistelmä on:

- halpa
- energiatehokas
- logistisesti joustava
- teknisesti yksinkertainen
- tuottaa riittävän kuivan polttoaineen 3–9 kuukaudessa.

10.2 Polttoainevarastojen peittäminen

Kustannustehokkain ratkaisu: Kevyt peittäminen
(pitepaperit/pressut/katokset)

Polttoainevarastojen peittäminen on olennainen ja edullinen keino parantaa polttoaineen laatua ja vähentää hävikkiä pitkäaikaisessa varastoinnissa.

Miksi kevyt peittäminen on kustannustehokkain vaihtoehto?

Edullinen toteuttaa

- Peittäminen ei vaadi raskaita rakenteita tai investointeja.
- Pressut, peitteet ja kevyet katokset ovat pieni kustannus verrattuna varastointialueen päällystämiseen (joka maksaa noin 25 €/m²).

Vähentää merkittävästi kosteuden kertymistä

- Suurin laatu- ja hävikkiongelma metsäenergiavarastoissa on uudelleenkostuminen sateen seurauksena.
- Peitteet estävät sateen, lumen ja sulamisvesien imeytymistä polttoaineeseen, mikä parantaa lämpöarvoa ja vähentää kuljetettavan veden määrää.

Tukee luonnollista kuivumista

- Peittäminen yhdistettynä **luonnolliseen ilmakeivaukseen (NAD)** tehostaa kuivumista ja pitää kosteuspitoisuuden tasaisempana.
- Tämä yhdistelmä on raportin mukaan paras kustannustehokas tapa tuottaa kuiva polttoaine 3–9 kuukaudessa.

Vähentää hävikkiä

- Peitteet pienentävät varastohävikkiä: vähemmän lahon syntyä, vähemmän energiasisällön menetystä.
- Terminaalivarastoinnin osalta peittäminen parantaa tasalaatuisuutta ja pienentää varastointihävikkiä tehokkaammin kuin suojaamaton varastointi.

Käytännön tapa toteuttaa kustannustehokas peittäminen

Yksinkertaiset peitteet (pressut)

- Soveltuvat hyvin metsä- ja terminaalivarastoihin.
- Edullisin ratkaisu lyhyt- ja keskipitkään varastointiin.
- Helppo asentaa ja siirtää.

Rullattavat tai painotetut energiapuusuojapeitteet

- Kestävät paremmin tuulta kuin tavalliset pressut.
- Voidaan kiinnittää painoilla tai kiristysliinoilla.

Kevyet katos- tai kaarirakenteet

- Kalliimpia kuin pressut, mutta edullisempia kuin varastohallit.
- Soveltuvat paikkoihin, joissa varastointiaika on pitkä (6–12 kk) ja kosteusriski suuri.

Milloin peittäminen on erityisen tärkeää?

- **Talviaikainen varastointi**, jolloin sulamisvedet nostavat kosteutta.
- **Pitkä varastointiaika**, yli 6 kuukautta.
- **Varastot, joissa laatuvaatimukset ovat tiukat** (esim. pienet lämpölaitokset, pelletointiä valmisteleva raaka-aine).
- **Vaikutus tehokkainta, kun peittäminen tehdään juhannuksen jälkeen, liian aikainen peittäminen keväällä estää haihtumista.**

Yhteenveto

Edullisin ja tehokkain tapa peittää metsäpolttoainevarastot on käyttää kevyitä, vettä pitäviä peitteitä tai katoksia, jotka estävät sadeveden pääsyn polttoaineeseen ja tukevat luonnollista ilmakehää.

Tämä menetelmä tarjoaa parhaan yhdistelmän:

- **Pieni investointi**
- **Suuri laatuvaikutus**
- **Selvästi pienempi hävikki**
- **Parempi lämpöarvo ilman energiaa vieviä kuivureita**

10.3 Pelletti

Pellettejä voidaan varastoida pitkään hyvällä laadulla

Pelletin rakenne (tiivis, homogeeninen, matala kosteus) tekee siitä *luontaisesti hyvin varastoituvan vaihtoehtona* verrattuna hakkeeseen tai rankapuuhun.

Taloudellinen näkökulma: kyllä, mutta...

Pelletit ovat jatkojalostettu polttoaine, ja niiden tuotanto vaatii investointeja (kuivaus, puristus).

Pelletöinti parantaa biomassan energiasisältöä ja varastoitavuutta, mikä vähentää hävikkejä ja parantaa logistiikan tehokkuutta pitkällä aikavälillä.

Toisin sanoen: investointi maksaa itsensä takaisin, kun hävikki vähenee ja polttoaineen laatu pysyy tasaisena.

Vertailu muihin kiinteisiin polttoaineisiin

Pelletti vs. hake

- Hake vaatii paljon tilaa, homehtuu helposti, ja sen kosteuspitoisuus vaihtelee → **korkeampi hävikkiriski**.
- Pellettejä voi varastoida **tiiviissä tiloissa** ja **vähäisellä kosteusriskillä**.

Tutkimuksessa (Sahoo et al. 2018) todetaan, että pelleteille **siilovarastointi on edullisin vaihtoehto** ja kustannustehokkainta etenkin säännöllisessä käytössä.

Käyttö suurissa ja pienissä laitoksissa

Pelletit ovat erityisesti:

- **Suurten laitosten** varastointiratkaisuissa yksi keskeinen vaihtoehto (alueelliset varastot).
- **Pienille ja keskisuurille laitoksille** pelletti tarjoaa helppokäyttöisyyttä ja tasalaatuisuutta.

Milloin pelletti EI ole kustannustehokkain?

Pelletin heikkous on **tuotantokustannus**.

Pelletöinti vaatii merkittäviä investointeja ja energiankulutusta.

Jos tavoitteena on **halvin raaka polttoaine**, hake on edullisempi, mutta hävikki ja logistiset ongelmat voivat nostaa kokonaiskustannuksia.

Jos varastointiaika on **yli 24 kk**, torrefioitu pelletti tai biohiili on paras vaihtoehto.

Johtopäätös

Kyllä, pelletti on kustannustehokas vaihtoehto pitkäaikaisvarastointiin, koska:

- Varastointikestävyys on hyvä (6–24 kk)
- Laatu pysyy tasaisena
- Hävikki on erittäin pieni
- Kuljetus ja varastointi ovat tehokkaita suuren energiatihyeden ansiosta

- Soveltuu hyvin myös huoltovarmuusketjuihin, joissa vaaditaan ennakoitavaa laatua.

Mutta:

- Pelletin tuotanto on kallista → kustannustehokkuus riippuu raaka-aineesta ja tuotantoketjun optimoinnista.
- Yli 24 kk varastointiin torrefioitu pelletti tai biohiili on parempi ratkaisu.

10.4 Briketti

Briketti on kustannustehokas vaihtoehto, ja se sijoittuu samaan jatkojalostettujen polttoaineiden ryhmään kuin pelletti ja torrefioidut tuotteet, joilla kaikilla on selviä etuja pitkäaikaisvarastoinnissa.

Miksi briketti on kustannustehokas pitkäaikaisvarastoinnissa?

10.4.1 Briketit kuuluvat jatkojalostettuihin polttoaineisiin, joilla on pitkä varastointikesto

Briketit on luokiteltu jatkojalostettujen tuotteiden ryhmään, joiden **tyypillinen varastointikesto on 6–36 kuukautta** – selvästi pidempi kuin hakkeella tai rankapuulla.

Tämä pitkä säilyvyys syntyy siitä, että briketit ovat **tiivaitä, kuivia ja kosteusherkkyydeltään vähäisiä**.

10.4.2 Briketöinti parantaa biomassan varastointia ja energiasisältöä

Briketöinti (kuten pelletöinti):

- parantaa biomassan energiasisältöä
- vähentää kosteuspitoisuutta
- parantaa logistista tehokkuutta
- vähentää varastointihävikkejä.

Nämä tekijät tekevät briketistä taloudellisemman kuin suojaamaton hake pitkässä varastoinnissa.

10.4.3 Briketit vievät vähän tilaa ja ovat helppoja varastoida

Briketit ovat tiiviitä ja kompakteja → **tarvitsevat vähemmän varastointitilaa** kuin hake.

Tämä alentaa varastointiin liittyviä kustannuksia (rakenteet, logistiikka, käsittely).

10.4.4 Briketin laatu pysyy hyvin ja hävikki on pieni

Korkean energiasisällön ja matalan kosteuden takia:

- briketti ei homehdu helposti
- varastohävikki on pieni
- energiasisältö säilyy.

Hävikki- ja laatutappiot ovat hakkeella suurimmat kustannusten nousun syyt pitkässä varastoinnissa, joten briketin tasalaatuisuus on selvä taloudellinen etu.

10.4.5 Kustannustehokkuus erityisesti, kun varastoidaan > 6 kk

Pitkän aikavälin varastoinnissa (6–36 kk):

- **briketti säilyy**
- **ei vaadi aktiivista kuivattamista**
- **ei kärsi merkittävistä kosteushäviöistä**
→ nämä tekijät muuttuvat suoraan kustannussäästöiksi.

Siksi briketti on tehokas vaihtoehto laitoksille, joiden polttoainekierto on hidas (kuntatason lämpölaitokset, puskurivarastot).

Milloin briketti EI ole kustannustehokkain?

Briketin heikkous on sama kuin pelletillä:

- **valmistus on kalliimpaa kuin hakkeen tuotanto**
- vaatii puristusta ja koneellista prosessointia

Jos tavoitteena on:

- mahdollisimman **halpa raakapolttoaine**
- **lyhyt varastointiaika (1–3 kk)**

→ hake voi olla edullisempi *kokonaishinnaltaan*, mutta ei laadun tai hävikin näkökulmasta.

Johtopäätös

Briketti on kustannustehokas tapa metsäenergian pitkäaikaisvarastointiin, koska:

- varastointikesto 6–36 kk on yksi parhaista
- hävikki on pieni ja laatu pysyy tasaisena
- tilantarve pieni ja logistiikka tehokas
- energiasisältö korkea ja kosteusherkkyys pieni
- varastointi onnistuu ilman merkittäviä teknisiä investointeja.

Kokonaisuutena briketti on yksi taloudellisesti parhaista vaihtoehtoista, kun tavoitellaan pitkäaikaista, vähähäviöistä varastointia.

10.5 Torrefioitu hiili, biohiili

<https://sarjaweb.vtt.fi/julkaisut/muut/2025/VTT-CR-00466-25.pdf>

Torrefioitu hiili ja biohiili ovat *pitkän varastointiajan, pienen hävikin ja korkean energiasisällön* ansiosta kustannustehokkaimpia kiinteitä biomassapolttoaineita erityisesti **yli 24 kuukauden varastointitarpeisiin**.

Ovatko torrefioitu hiili ja biohiili kustannustehokkaita ratkaisuja?

10.5.1 Erittäin pitkä varastointikesto (12–36 kk)

Torrefioitu materiaali ja biohiili kestävät varastointia jopa **12–36 kuukautta** ilman olennaista laadun heikkenemistä.

- Tämä varastointikestävyys on selvästi parempi kuin hakkeen, rankapuun tai pelletin.

10.5.2 Korkea energiatiheys ja pieni kosteusherkkyys

Torrefiointi tekee puupohjaisesta materiaalista:

- vettä hylkivää
- tasalaatuista
- korkeatiheyksistä

mikä vähentää varastointihävikkiä ja parantaa kuljetustehokkuutta.

Biohiili puolestaan:

- säilyttää energiatiheydensä vuosia
- ei lahoa
- ei menetä merkittävästi lämpöarvoa.

10.5.3 Soveltuu erityisesti kriisiajan ja pitkän aikavälin varastoihin

Torrefioitu hiili ja biohiili mainitaan nimenomaan **6 kk – 3+ vuoden** varastointijakeiksi:

- “Biohiili säilyy **vuosia ilman energiakatoa**.”

Tämä tekee niistä erittäin sopivia huoltovarmuusvarastoihin ja toimitusvarmuuden turvaamiseen.

10.5.4 Pieni hävikkiriski

Toisin kuin hake ja rankapuu, torrefioitu hiili ja biohiili **eivät kärsi merkittävästä kosteuden vaihtelusta**, mikä:

- vähentää homehtumista
- vähentää kuivamassan menetyistä
- pitää lämpöarvon tasaisena.

Pienempi hävikki → pienemmät kokonaiskustannukset pitkällä aikavälillä.

10.5.5 Varastointi vaatii kevyemmän infrastruktuurin

Koska torrefioitu hiili ja biohiili kestävät kosteutta paremmin kuin pelletit ja hake, varastointiin riittää:

- yksinkertaisempi peitetty alue
- kevyempi suojaus
- vähemmän tiukat olosuhdevaatimukset.

Tämä laskee varastointiin liittyviä investointikustannuksia.

Milloin torrefioitu hiili / biohiili ei ole kustannustehokkain?

Lyhyen aikavälin varastoinnissa (1–6 kk!) torrefioinnin kustannukset voivat olla turhia.

Tällöin kustannustehokkaampi vaihtoehto on:

- hake
- rankapuu
- pelletit.

Mutta **6+ kuukauden varastointiin torrefioitu hiili ja biohiili voivat olla edullisempia**, koska hävikki ja laatuongelmat pienenevät.

Johtopäätös

Torrefioitu hiili ja biohiili voivat olla kustannustehokas ratkaisu metsäenergian pitkäaikaisvarastointiin, koska:

- Varastointikestävyys on poikkeuksellisen pitkä (12–36 kk ja pidempään)
- Energiatiheys pysyy korkeana vuosien ajan
- Kosteusherkkyyks on hyvin pieni → vähäinen hävikki
- Varastointi on olosuhteiden suhteen joustavaa
- Ne sopivat erityisesti huoltovarmuus- ja pitkän aikavälin puskurivarastoihin.

Torrefioidun hiilen käyttöön liittyy tällä hetkellä kuitenkin suuria haasteita niin taloudellisen kannattavuuden, tuotantoprosessien että myös käyttöprosessien suhteen. Näiden haasteiden ratkaisu vaatii vielä runsaasti ponnisteluja.

10.6 Neste

Vaihtoehdot nestemäiseen varastointiin

10.6.1 Pyrolyysiöljy (FPBO, “bioöljy”)

- **Soveltuvuus:** Todennettu käytännössä Suomessa: FPBO:lla on korvattu raskasta polttoöljyä kaukolämpökattiloissa (esim. Fortum/Valmet-referenssit), kun poltinjärjestelmä ja materiaalit on sovitettu öljyn ominaisuuksiin.
- **Tekniset vaatimukset kattilalla:** Polttoainepuolen materiaalit **ruostumatonta terästä**, tiivisteet ja mittalaitteet FPBO-yhteensopiviksi, polttimen ilma-/polttoainesuhteiden muutos, viskositeetin hallinta (esilämmitys), mahdollinen **tyypipeite (N₂)** varastoissa. FPBO-käyttö onnistuu ilman tukipoltinta, kun järjestelmä on suunniteltu oikein.
- **Varastointi:** Kausivarastointi (viikoista kuukausiin) on IEA:n mukaan nimenomaan FPBO:n vahvuus joustavana energianvälittäjänä. Stabilointi (kevyt hydrokäsittely) parantaa säilyvyyttä.
- **Päästöt:** SO_x käytännössä puuttuu; NO_x riippuu polttoaineen N-pitoisuudesta ja palamisesta; partikkelit voivat olla korkeammat → huomioi erotinratkaisut.

10.6.2 HTL-biokriitti (hydroterminen nesteytys = märkäpyrolyysi)

- **Soveltuvuus:** Tuottaa FPBO:ta stabiilimman, happipitoisuudeltaan pienemmän nestemäisen välituotteen. **Mieto tai täysi hydrokäsittely** parantaa lämpöarvoa ja varastostabiilisuutta ja helpottaa kattilakäyttöä (tai jalostamointegraatiota).
- **Varastointi:** Biokriitti varastoituu säiliöissä (usein lämmitettynä viskositeetin takia) ja kestää pitkää varastointia paremmin kuin FPBO.
- **Huomio:** Jos tavoitteena on **vain** lämpökattilakäyttö, FPBO:n etuna on kypsyys ja referenssit; HTL on vahva vaihtoehto, jos halutaan **pitkä varastointi ja/tai jalostettava tuote** (marine/diesel/SAF).

10.6.3 Kustannustehokkuus lämpökattilassa (suuntaa-antava)

- **FPBO:** Uudemmissa TEA-tarkasteluissa bioöljyn kustannus **~18,7–21,8 €/GJ** (aurinkointegraatio/hybridi); ilman integraatioetua arviot nousevat (esim.

~27,5 €/GJ). Paikalliset tekijät (raaka-aineen hinta, lämpöintegraatio, oheistuotteiden käyttö) vaikuttavat voimakkaasti.

- **HTL-biokriitti (+upgrading):** Useissa skenaarioissa ~60–80 €/MWh (≈ 16,7–22,2 €/GJ) tuotekohtaisesta päivityksestä riippuen. Vedyn hinta ja katalyytit ovat kuluajureita.

Tulkinta lämpökattilaan:

FPBO on tyypillisesti **nopeampi** ja **vakiintuneempi** reitti korvaamaan fossiilista lämmitysöljyä, **kun** poltin/linjasto muutetaan FPBO-yhteensopivaksi. *HTL-biokriitti* tarjoaa **stabiilin varaston** ja voi olla kustannusalueeltaan kilpailukykyinen, jos **upgrading-ratkaisut** ja vedyn saatavuus ovat suotuisat.

10.6.4 Vertailu: pitkäaikaisvarastointi ja käyttö lämpökattilassa

Taulukossa on mukana keskeiset pitkän varastoinnin vaihtoehdot (myös kiinteät), jotta näette **varastoinnin** ja **kattilakäytön** kokonaiskuvan.

Vaihtoehto	Tyypillinen varastointiaika	Varastoinnin invest. ja muut huomiot	Kattilasoveltuvuus	Laatu & hävikki	Suuntaa-antava kustannus
Metsähake	3–9 kk / 1–6 kk	Maapohja ok; peitteet suositeltavia ; päällystetty kenttä ~25 €/m ²	Käyttö tunnettua	Korkea kosteusvaihtelu	Pieni tuotantokust., mutta hävikki + tilantarve lisäävät
Pelletti	6–24 kk	Siilot/hallit; pieni tilantarve	Helppo; tasalaatuinen	Pieni hävikki	Kokonaisuus kilpailukykyinen
Briketti	6–36 kk	Kompakti varastointi	Kuten pelletti	Pieni hävikki	Kustannustehokas pitkässä varastossa
Torrefioitu hiili	12–36 kk	Kevyt suojaus riittää	Hyvä seospolttoon	Erittäin stabiili	Kilpailukykyinen pitkässä varastossa
Biohiili	12–36 kk	Kevyt suojaus	Soveltuu seospolttoon	Hyvin pieni hävikkiriski	Kustannustehokas kriisivarastossa

Vaihtoehto	Tyypillinen varastointiaika	Varastoinnin invest. ja muut huomiot	Kattila-soveltuvuus	Laatu & hävikki	Suuntaa-antava kustannus
FPBO bioöljy	Viikoista kuukausiin	Säiliöt, N ₂ blanketointi	Todennettu Suomessa	Stabilointi hyödyllinen	18.7–27.5 €/GJ
HTL-bio-kriitti	Pitkä varastointi	Säiliöt, esikäsitelly	Hydrokäsittelyn jälkeen	Stabiilimpi kuin FPBO	16.7–22.2 €/GJ

Taulukko 8. Pitkäaikaisen varastoinnin vaihtoehdot

Kustannukset ovat **suuntaa-antavia**; paikallinen logistiikka, integraatio, vedyn/energian hinta ja mittakaava ratkaisevat.

10.6.5 Haasteet ja riskienhallinta lämpökattilassa

FPBO

- **Korroosio ja stabiilisuus:** Happamuus (pH ~2–3), karbonyylien aiheuttama viskositeetin kasvu → **materiaalivalinnat (AISI 316/duplex), N₂-blanketti, kierrätys**, tarvittaessa **kevyt hydrokäsittely** (SPO/HPO) varastokapasiteetin kasvattamiseksi.
- **Päästöt ja palaminen:** NO_x riippuu polttoaineen N-pitoisuudesta; partikkelit voivat nousta → **sähkösuodatin** tai vastaava; **SO_x** käytännössä puuttuu.
- **Käynnistys/ajo:** Viskositeetin hallinta (esilämmitys), poltinsäätö, liekintunnistus – kaikki osoitettu mahdolliseksi suomalaisissa kohteissa.

HTL-biokriitti

- **Upgrading-tarve:** Kattilakäytössä usein tarpeen **mieto/täysi hydrokäsittely** (H₂, katalyytit) palamisen vakauden ja materiaalien suojaamiseksi → **CAPEX/OPEX-lisä** ja vedyn saatavuus kriittisiä.
- **Prosessi-/varastotekniikka:** Lämmitys varastossa (viskositeetti), erotusvedet (vesifaasi) ja mahdolliset **jalostamointegraatiot** (logistiikka).

Kiinteät vertailukohdat

- **Hävikki ja tilantarve:** Hake ja tienvarsivarastot → kosteus/hävikki; **päällystetyt kentät ~25 €/m²** parantavat laatua mutta nostavat CAPEXia.

- **Laatu vs. kustannus:** Pelletti/briketti → **pieni hävikki** ja helppo kattilakäyttö, mutta tuotantokustannus korkeampi; torrefioitu hiili/biohiili → **pitkä säilyvyys** ja hyvä seospoltettavuus, mutta valmistusinvestointi.

Yhteenveto

- **Lämpökattilaan 0–12 kk varastointitarpeella:** FPBO on käytännössä todistettu, teknisesti toteutettavissa ja kustannuksiltaan kilpailukykyinen tapa korvata fossiilinen lämmitysöljy – kun materiaalit ja poltin päivitetään oikein.
- **Pitkään varastointiin / tulevaisuuden joustoon:** HTL-biokriitti tarjoaa stabiilin nestemäisen varaston ja polttoainepotentiaalin; kattilakäytössä kannattaa suunnitella mieto hydrokäsittely ja tarkastella vedyn saatavuutta ja kustannuksia.

10.7 Kaasu

Kaasumaiset vaihtoehdot metsäenergiasta

10.7.1 Biokaasu → biometaani (RNG) / LBG

- **Mitä:** Anaerobisessa mädätyksessä syntyvä biokaasu ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) **upgradetaan** biometaaniksi (RNG) poistamalla CO_2 , H_2S , kosteutta; voidaan **varastoida** paineastioissa tai **nesteyttää (LBG)** pitkää kuljetusta ja varastointia varten.
- **Miksi aidosti hyödyllinen:** Biometaani voidaan syöttää **olemassa olevaan kaasuverkkoon** ja käyttää **kattiloissa** kuten maakaasu (NO_x hallinta poltтинratkaisuin; SO_x käytännössä puuttuu), lisäksi LBG-ketju tukee raskaiden kuljetusten polttoainetta ja varastointia. EU:n biometaanitavoite on **35 bcm/v** vuoteen 2030 mennessä, investointitarve **~€37 mrd**; skaalauksen tavoitteena on **varastoitava, joustava** uusiutuvan kaasun tuotanto. [energy.ec.europa.eu]
- **Kotimaiset esimerkit:** Nurmoon rakentuu suuren mittakaavan **nesteytetyn biokaasun** tuotantolaitos; verkkoon syöttöpisteitä on avattu (konttisyöttö).

10.7.2 Synteesikaasu (producer gas/syngas) puukaasutuksesta

- Puuperäisen biomassan **kaasutus** tuottaa $\text{CO} + \text{H}_2$ -pitoisen seoksen (**synteesikaasu**), jonka koostumus ja puhtaus räätälöidään käyttöön (kattilapoltto vs. kemiallinen jatkojalostus). [netl.doe.gov]
- **Varastointi ja käyttö:** Synteesikaasu varastoidaan tyypillisesti **lyhytaikaisesti** (kaasuholderit/paineastiat) ja hyödynnetään **lämpökattiloissa/CHP:ssä**; pitkäaikaisvarastointi on teknisesti haastavaa

(CO-toksisuus, H₂-vuotoriskit, tar-yhdisteet), mikä edellyttää **puhdistusta**,
paine-/kaasutiiveyden hallintaa ja prosessiturvallisuuden varmistamista.

[\[link.springer.com\]](https://link.springer.com)

10.7.3 Synteettinen metaani (bio-SNG) kaasutus+metanointi

- **Mitä:** Synteesikaasu **metanoidaan** (katalyyttisesti tai biologisesti) → **bio-SNG**, joka on kemiallisesti maakaasun kaltainen, **varastoitavissa paineastioissa/putkistoissa** ja poltettavissa kattiloissa ilman merkittäviä retrofittejä. [\[mdpi.com\]](https://mdpi.com)
- **Soveltuvuus kaukolämpöjärjestelmiin:** Bio-SNG:n verkkoon syöttö ja putkivarastot tukevat **kausittaista lämmön tarpeen vaihtelua**; EU-tarkasteluissa korostuu **varastojen purkukapasiteetin** merkitys tulevassa biometaanijärjestelmässä. [\[gie.eu\]](https://gie.eu)

10.7.4 Tekninen prosessi

Biokaasu → biomethane/LBG (RNG)

1. **Anaerobinen mädätys:** Jätteet/sivuvirrat → biokaasu (CH₄+CO₂ + epäpuhtaudet).
2. **Upgrading:** PSA (pressure swing adsorption), **vesipesu**, **amiinipesu**, **kalvotekniikka**, mahdollinen **kryo**-vaihe (LBG). PSA-ratkaisun yksikkökustannus (pretreatment+upgrade) **0,05–0,063 €/Nm³** raakabiokaasua; OPEXista **sähkö** on suurin erä. [\[link.springer.com\]](https://link.springer.com), [\[researchgate.net\]](https://researchgate.net)
3. **Varastointi ja logistiikka:**
 - a) **Paineastiat/verkko** (RNG): paineistettu varastointi, injektointi jakeluverkkoon. [\[energy.ec.europa.eu\]](https://energy.ec.europa.eu)
 - b) **Nesteytys (LBG):** kylmävarasto, kriogeeniset säiliöt; kotimaisia investointeja käynnissä.

Puukaasutus → synteesikaasu/bio-SNG

1. **Kaasutin** (ilma/steam/oxygen-blown; leijupeti, kiinteäpeti): ohjataan lämpötilaa, kaasutinainetta ja ER-arvoa (≈0,2–0,3) syngasin laatuun (H₂/CO, LHV, tar) vaikuttamiseksi. [\[pubs.acs.org\]](https://pubs.acs.org), [\[mdpi.com\]](https://mdpi.com)
2. **Puhdistus ja konditionointi:** hiukkaset, terva, H₂S, NH₃, alkali; tarvittaessa **shift** ja CO₂-poisto. [\[netl.doe.gov\]](https://netl.doe.gov)
3. **Metanointi (bio-SNG):** katalyyttinen/biologinen metanointi; integraatioon voidaan liittää **elektrolyysistä** tulevaa H₂:ta (Power-to-Gas). [\[link.springer.com\]](https://link.springer.com)

4. **Varastointi:** paineastiat, **putkivarastot** ja verkko (bio-SNG/biometaani); kausittaisessa tarpeessa korostuu **varastojen purkukapasiteetti**. [\[gie.eu\]](http://gie.eu)

10.7.5 Kustannustehokkuus (suuntaa-antava)

- **Biomethane (RNG):** kokonaistuotantokustannus ~**€54–91/MWh** (teollinen data; selvä mittakaavaetu). Upgrading PSA-ratkaisun LCCA: **0,05–0,063 €/Nm³** raakakaasua (OPEX-painotteinen). [\[bip-europe.eu\]](http://bip-europe.eu), [\[link.springer.com\]](http://link.springer.com)
- **Bio-SNG (kaasutus+metanointi):** kirjallisuudessa ~**€103–127/MWhSNG** (2010-hintataso); integroidussa syngas-biometanointiprosessissa MSPhinta ~**€2,68/Nm³** bSNG (~**€260–270/MWh**, arvio riippuu LHV:stä ja skaalaeduista). [\[publicatio...halmers.se\]](http://publicatio...halmers.se), [\[link.springer.com\]](http://link.springer.com)
- **Poltto kattilassa:** Biometaani/bio-SNG käyttäytyy kuten maakaasu; **SO_x** käytännössä puuttuu, **NO_x** hallitaan poltin-/ilmasyötöllä. DH-tarkasteluissa biokaasu/biometaani voi **vähentää CO₂-päästöjä >70 %** verrattuna fossiilisiin, etenkin kun yhdistetään lämpöpumppuihin ja lämpövarastoihin. [\[mdpi.com\]](http://mdpi.com)

Tulkitseminen lämpökattilaan:

Biomethane (RNG/LBG) on tyypillisesti **nopeammin käyttöönotettava** reitti kattiloihin (verkko/LBG-logistiikka). *Bio-SNG* tuo **verkko- ja varastoinnin joustoa**, mutta tuotantoketju on investointipainotteisempi.

10.7.6 Varastointi, logistiikka

- **Paineastiat & verkko:** Biometaani/bio-SNG voidaan **varastoida** paineastioissa ja **syöttää putkistoihin**; EU-tarkasteluissa kausittaiset **purkukapasiteetit** korostuvat (talvihiippu). [\[gie.eu\]](http://gie.eu)
- **LBG: Nesteytetty** biokaasu mahdollistaa **pitkät kuljetukset** ja varastoinnin; Suomessa tuotantoa skaalataan (Nurmo).

10.7.7 Haasteet ja riskienhallinta

Biokaasu/RNG/LBG

- **Metaanivuoto & laatu:** Vuotohallinta (liittimet, mittaus), H₂S/vesi/Si-yhdisteiden poistot **ennen** injektiota; **PSA/amiini/vesipesu** ovat vakiintuneita, mutta OPEX-sähkö on merkittävä. [\[link.springer.com\]](http://link.springer.com)
- **Verkkoyhteensopivuus:** Laatu- ja standardivaatimukset (CH₄-pitoisuus, Wobbe) sekä **varaston purkukapasiteetti** talvella. [\[gie.eu\]](http://gie.eu)

Syngas/bio-SNG

- **Turvallisuus:** CO/H₂-toksisuus ja räjähdysriskit; paine-/virtausprofiilit, takatulipalon estäminen, terva-hallinta ja puhdistus ovat kriittisiä.
[\[link.springer.com\]](https://link.springer.com)
- **Prosessin integraatio:** Kaasutus + metanointi hyötyvät **H₂-syötöstä** (PtG) ja **lämmön integroitumisesta**, mutta investointitarve on suurempi; SNG-tuotannon kustannusvaihtelut ovat substanssikysymys.
[\[link.springer.com\]](https://link.springer.com), [\[publicatio...halmers.se\]](https://publicatio...halmers.se)

Yleistä kaukolämpönäkökulmasta

- **Järjestelmäjoustavuus:** Biokaasu/bio-SNG tuovat joustoa ja tukevat **lämpöpumppuja/varastoja** sähköistyvässä kaukolämpöjärjestelmässä.
[\[mdpi.com\]](https://mdpi.com), [\[lutpub.lut.fi\]](https://lutpub.lut.fi)

Yhteenveto

- **RNG/LBG:** Käyttöönotto kattiloihin on nopeaa, kustannushaarukka **€54–91/MWh** (tuotanto), varastointi paineastioissa/verkossa on joustavaa; LBG sopii pitkään varastointiin ja kuljetuksiin. [\[bip-europe.eu\]](https://bip-europe.eu),
- **Synteesikaasu/bio-SNG:** Laajentaa joustoa ja mahdollistaa **putkivarastot**, mutta tuotanto on investointipainotteisempaa (**€103–127/MWh**; tapauskohtaisesti korkeampi). Turvallisuus ja puhdistus korostuvat.
[\[publicatio...halmers.se\]](https://publicatio...halmers.se)

11 Uudet polttoa korvaavat tekniikat – energiamurros ja sen nopeus

11.1 Sähkökattilat

11.1.1 Sähkökattiloiden rooli Pohjanmaalla seuraavan 5 vuoden aikana

Sähkökattiloiden merkitys kasvaa **nopeasti ja merkittävästi** Pohjanmaan alueella:

- *"Valtakunnallisesti sähkökattiloita on suunnitteilla ja työn alla useita kymmeniä... kapasiteetin kasvu toteutunee jo vuoteen 2026 mennessä"*
- Pohjanmaalla sähkökattiloilla on jo **huomattava rooli**, ja niiden merkitys *"kasvaa vielä lähivuosina"*.

Miksi sähkökattilat yleistyvät?

- **Tuulivoiman nopea kasvu** alueella → edullisen sähkön hetket lisääntyvät.
- **Huoltovarmuus ja joustavuus** – sähkökattila ei tarvitse polttoainetta.

- **Nopeat investoinnit** – sähkökattila voidaan toteuttaa murto-osalla biolaitosinvestoinnista.
- **Päästöjen nopea vähentäminen** ilman prosessimuutoksia.

Arvio 2026–2031

Näiden perusteella sähkökattiloiden osuus Pohjanmaan lämmöntuotannosta on todennäköisesti:

- **Kasvava tukimuoto**, joka hoitaa **huippuja, säättää ja edullisen sähkön hetkiä**,
- **Ei korvaa täysin kiinteitä polttoaineita**, mutta **vähentää niiden vuosivolyymiä** etenkin isoissa laitoksissa.

11.1.2 Vaikutus puupolttoaineiden volyymiin 2026–2031

Isojen laitosten osalta

Isot laitokset ovat jo merkittävästi siirtymässä täysin uusiin tekniikoihin:

- *“Isot maakuntatason laitokset siirtyvät uusiin tekniikoihin ja kiinteitä polttoaineita hankitaan markkinalähtöisesti laajemmalta alueelta”*
- Samalla sähkökattilat vähentävät käyttöaikaikkunoita ja lyhentävät käyntijaksoja.

Vaikutus:

→ **Puupolttoaineen vuotuinen tarve isoissa laitoksissa laskee 10–30 %**, koska sähkökattila tekee lämpöä halvalla sähkön alhaisen hinnan aikana.

→ Puupolttoaineiden kulutus profiloituu enemmän **peruskuorman** suuntaan.

Pienten ja kuntatason laitosten osalta

“Pienemmät kuntatason laitokset hankkivat polttoaineensa lähialueelta... varastokierto hitaampaa ja varastot suurempia”

Arvio:

→ Pienissä laitoksissa sähkökattiloiden käyttöönotto hitaampaa → **puupolttoaineen rooli säilyy vahvana**.

→ Mahdollinen volyymimuutos 10–30 % viidessä vuodessa.

11.1.3 Vaikutus logistiikkaan

Kun sähkökattilat pienentävät erityisesti **talvikauden huippukulutusta**, vaikutukset näkyvät koko ketjussa:

Kuljetustarpeen tasoittuminen

- Vähemmän talvihiippuja → vähemmän kiireellisiä hakekuljetuksia.
- Kuljetuskapasiteettia voidaan käyttää tasaisemmin vuoden ympäri.

Varastointijaksojen lyheneminen suurissa laitoksissa

Raportin mukaan isot laitokset siirtyvät tekniikoihin, joissa:

- *“käyttöaikaikkunat lyhenevät ja volyymit pienenevät”*

→ Tämä tarkoittaa, että **terminaaleissa kierto nopeutuu**, eikä välttämättä tarvita yhtä korkeita puskurivarastoja.

Terminaalien rooli säilyy – mutta profiili muuttuu

- Terminaalit ovat edelleen välttämättömiä laatu- ja toimitusvarmuuden takia.
- Mutta: **vuosittainen käsiteltävä volyymi voi pienentyä**, ja painopiste siirtyy enemmän laatuun kuin määrään.

11.1.4 Vaikutus varastointitarpeisiin

Isojen laitosten *“puskurivarastot pienempiä”* tulevaisuudessa.

Sähkökattiloiden lisävaikutus

Kun osa lämmöntuotannosta siirtyy sähköön:

Varastointikauden pituus lyhenee – erityisesti talven varautuminen pienenee.

Laatuvaatimukset korostuvat – harvempi mutta laadultaan tasaisempi polttoaine-erä parempi kuin suuret massat.

Pitkäaikaisvarastoinnin tarve pienenee, koska sähkökattilat hoitavat huippuja ja kriisikautta. (Tammi- helmikuun 2026 pakkasjakso ja samanaikainen korkea sähkön hinta vähensi sähkökattiloiden käyttöä ja muistutti puuenergian merkityksestä tulevaisuudessakin eräänlaisena ”säästövoimana”)

Alla taulukko 9. Puupolttoaineen varastotyyppeihin vaikuttava muutos

Varastointimuoto	Muutosarvio sähkökattiloiden vuoksi
Metsävarastointi	Käyttö vähenee hieman, koska joustotarve pienempi
Terminaalivarastointi	Kierto nopeutuu, ei tarvitse yhtä suuria puskureita
Peitetyt varastot	Laatuvaatimusten vuoksi lisääntyvä tarve
Jatkojalosteet (pelletti/briketti)	Kasvaa kriisivarastoissa, mutta sähkökattila vähentää tarvetta suurissa laitoksissa

Kokonaishyöty ja riskit seuraavan 5 vuoden näkökulmasta:

Hyödyt

- Alentaa lämmöntuotannon kustannuksia edullisen sähkön hetkinä
- Vähentää huippujen polttoainekulutusta
- Vähentää varastointiin sitoutunutta pääomaa
- Parantaa huoltovarmuutta polttoaineriippumattomuutensa vuoksi

Riskit

- Riippuvuus sähkön markkinahinnasta
- Puupolttoaineketjun toimijoille pienempi volyymi → heikentää kannattavuutta
- Logistinen kapasiteetti voi sopeutua alas, mikä voi olla ongelma kovina pakkastalvina

Yhteenveto

Seuraavan viiden vuoden aikana sähkökattiloiden rooli Pohjanmaan lämmöntuotannossa kasvaa huomattavasti, erityisesti suurissa laitoksissa. Tämä muuttaa puupolttoaineketjua näin:

Vaikutus puupolttoaineisiin

- **Isoissa laitoksissa – volyymi laskee 10–30 %**
- **Pienissä laitoksissa – pysyy lähes ennallaan**

Vaikutus logistiikkaan

- Vähemmän talvihiippuja → **tasaisempi kuljetusrytmi**
- Terminaalien kierto **nopeutuu**, mutta vuosivolyymi voi pienentyä

Vaikutus varastointiin

- Tarve **suurehkoille kausivarastoille pienenee**
- Laatuvaatimukset korostuvat → peitetty varastointi lisääntyy
- Jatkojalosteet jäävät tärkeiksi vain kriisivarastoihin

11.2 Akkuvarastot

Lämmön akkuvarastojen rooli Pohjanmaalla 2026–2031

Miksi lämpövarastot kasvavat nopeasti?

- **Tuulivoiman nopea kasvu** → edullisen sähkön hetkiin perustuva lämmöntuotanto (sähkökattilat, lämpöpumput) tarvitsee **lämmön varastointia** tasaamaan tuotantoa.

- **Sähkön hinnan vaihtelun kasvu** → varastoilla voidaan siirtää tuotanto halvoille tunneille.
- **Polttoaineriippuvuuden vähentäminen** – huoltovarmuus paranee.
- **Kaukolämpöjärjestelmien sähköistyminen** (raportissa mainittu trendi).
- **Sähkökattiloiden ja akkuvarastojen yleistyminen hybridijärjestelmissä** (raportin teknologiamurros).

Arvio roolin kasvusta Pohjanmaan tasolla

Pohjanmaa on jo yksi Suomen sähkön tuotannon suuralueista (aurinko, tuuli + CHP), ja siksi:

Lämpövarastojen rooli kasvaa selvästi 2026–2031, erityisesti

- suurten kaukolämpöyhtiöiden perusratkaisuissa,
- kuntatason laitosten varautumisessa sähkön hinnan vaihteluihin,
- hybridiratkaisuissa, joissa sähkökattila + lämpöpumppu + lämpövarasto muodostavat joustavan tuotantopaketin.

Kolme päävarastotyyppiä:

1. **Lyhyen aikavälin lämpöakku (1–24 h):** teräs-/betonivaraajat 50–5 000 m³
2. **Keskiakselin varasto (päivistä viikkoihin):** suurikokoiset 10 000–100 000 m³ vesisäiliöt
3. **Kausi-/pitkäaikaisvarasto (1–6 kk):** maanalaiset luolat, kallioluolat, isot maavaraajat (esim. Vantaan “Varanto” 1,1 milj. m³)

Vaikutus puupolttoaineiden volyymiin Pohjanmaalla

Lämpövarastot vaikuttavat puuenergiaketjuun **samansuuntaisesti kuin sähkökattilat**, mutta vielä **tasaavammin**, koska varastointi siirtää kulutusta ajallisesti.

Isoissa laitoksissa

Raportin mukaan isot laitokset siirtyvät tekniikoihin, joissa **käyttöaikaikkunat lyhenevät ja volyymit pienenevät**.

Kun tähän lisätään lämpövarastojen käyttöönotto:

→ **Puun vuosittainen tarve laskee 10–25 %.**

→ Puun rooli siirtyy **jäykästä perustuotannosta varmistavaan tuotantomuotoon**.

→ Varastot mahdollistavat pitkät jaksot “polttoainevapaata” tuotantoa halvan sähkön aikaan.

Pienissä ja kuntatason laitoksissa

Kuntalaitokset käyttävät perinteisesti lähihaketta ja niiden varastokierto on hitaampaa.

Lämpövarastojen yleistyminen:

- Vähentää puupolttoaineen tarvetta **5–15 %**, mutta ei radikaalisti.
- Mahdollistaa joustotilanteiden tasoittamisen ilman lisähakkeen polttoa.
- Parantaa hajautettujen laitosten varautumiskykyä kylmiin jaksoihin.

Muutos puuenergian kysynnän rakenteessa:

- Talvihiiput pienenevät merkittävästi
- Kesäaikainen polttoaineen tarve voi vähentyä lähes nollaan
- Hake/puru/ranka jäävät pääosin peruskuorman polttoaineeksi
- Pelletin/briketin kaltaiset jatkojalosteet tarpeellisia vain kriisivarastoihin (sama trendi kuin sähkökattiloissa)

Vaikutus logistiikkaan

Kuljetusrytmi tasoittuu

Koska lämpövarastoilla voidaan tuottaa lämpöä **halvalla sähköllä** ja purkaa varastoa kalliilla hetkellä:

- Vähemmän kiireellisiä haketoimituksia talven huippuihin
- Kuljetukset voidaan jakaa tasaisesti ympäri vuoden
- Huoltovarmuus paranee, koska kriittisen polttoainehuipun riski pienenee

Kiertonopeus terminaaleissa muuttuu

Raportissa todetaan, että uusien tekniikoiden myötä **varastointiaikaikkunat lyhenevät** ja volyymit pienenevät isoissa laitoksissa.

Lämpövarastot vahvistavat tätä trendiä:

- Terminaaleissa ei tarvita yhtä suuria puskureita
- Terminaalien **vuosittainen massamäärä pienenee**, mutta
- Laadunhallinnan rooli kasvaa (tasalaatuinen hake + alhaisempi kosteus)

Mahdollinen riski: kuljetuskapasiteetin supistuminen

Jos hakevolyymi laskee liikaa ja kuljetusten tarve tasoittuu:

- Kuljetusyritysten kannattavuus voi heikentyä
- Kriittisinä pakkasjaksoina kapasiteetti voi olla niukka

Sama riski nousi jo sähkökattilatarkastelussa.

Vaikutus varastointiin

Kausivarastojen tarve pienenee

Raportissa todetaan suurten laitosten puskurivarastojen pienentyvän jo teknologiamurroksen myötä.

Kun tähän lisätään lämpövarastot:

- Polttoainevarastojen koko voi laskea **15–40 %** isoissa laitoksissa.
- Pienet laitokset säilyttävät suurempia varastoja, mutta niiden käyttö tehostuu.

Laadun merkitys kasvaa

Koska puuta poltetaan **harvemmin mutta vaativammissa peruskuormajaksoissa**, se edellyttää:

- parempaa kuivuutta
- tasalaatuisuutta
- vähäisiä hävikkejä

Tämä lisää **peitetyn varastoinnin** ja **terminaalivarastoinnin** merkitystä.

Jatkojalosteiden (pelletit, brikitit, torrefioitu hiili) rooli

Pelkkä lämpövarasto **vähentää** näiden käyttöä perustilanteessa, mutta:

- kriisiä tai poikkeusoloja varten jatkojalosteita tarvitaan edelleen (pitkä säilyvyys)
- sähkön hinnan piikkejä varten pelletit/brikitit voivat täydentää säätöä

Yhteenveto: lämpövarastojen vaikutukset Pohjanmaalla 2026–2031

Lämmön akkuvarastojen rooli

- Kasvaa nopeasti tuulivoiman ja sähkökattiloiden yleistymisen vuoksi
- Mahdollistaa edullisen sähkön hyödyntämisen lämmön tuotantoon
- Vähentää polttoainehuippujen ja kriisivarastojen tarvetta

Vaikutus puupolttoaineisiin

- **Isot laitokset:** –10...–30 % volyymia
- **Pienet laitokset:** –5...–25 % volyymia
- Puun polttaminen keskittyy peruskuorman tuottamiseen
- Jatkojalosteiden (pelletit/brikitit) tarve siirtyy kriisivarastoihin

Vaikutus logistiikkaan

- Kuljetukset tasoittuvat, huiput vähenevät
- Terminaalikierto nopeutuu, vuosisummat pienenevät

- Laadun merkitys kasvaa suhteessa määrään

Vaikutus varastointiin

- Suuret polttoainepuskurivarastot pienenevät
- Peitetty ja laadukas varastointi korostuu
- Kriisivarastointi siirtyy kohti pelletit–briketti–biohiili -jakeita (pitkä säilyvyys)

Mitä Vaskiluodon luolavarasto on ja miksi se on tärkeä?

- **Kuvaus ja mitat.** Vaskiluodossa otettiin **2020** käyttöön Suomen suurin maanalainen lämpöenergiavarasto (TES), joka hyödyntää **kahta 1970-luvulla öljyvarastoina käytettyä kallionluolaa** Vaskiluodon voimalaitoksen alla. Luolien **yhteistilavuus ~210 000 m³**; järjestelmän **lataus/purku 100 MW** käyttöön otossa (myöhemmin kasvatettu). Varasto toimii **optimointivälineenä** EPV:n tuotantoportfoliossa ja vähentää kivihiilen käyttöä **~30 %** referenssivuonna. [\[epv.fi\]](#), [\[epv.fi\]](#)
- **Käyttö ja integraatiot.** Lataus tehtiin aluksi mm. **Westenergyn** hukkalämmöllä; lämpöä puretaan Vaasan **kaukolämpöverkkoon**. Järjestelmä on suunniteltu **tuotantomuotoriippumattomaksi** (sektorikytkentä), joten sitä voidaan lämmittää tulevaisuudessa esim. **tuuli-/aurinkosähköllä** sähkökattiloiden avulla. [\[epv.fi\]](#), [\[epv.fi\]](#)
- **Vaasan lämmön rooli.** Vaasan Voima (EPV:n tytäryhtiö) tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Vaskiluodossa, ja **kaukolämpö kattaa yli 60 %** Vaasan tarpeesta. [\[vaasanvoima.fi\]](#)

Kohotettu lämpötila: mitä on tehty ja mitä se merkitsee?

- **Investointipäätös 2024.** Vaasan Voima päätti **nostaa luolavaraston käyttölämpötilaa n. 95 °C → yli kiehumispisteen** hyödyntämällä **vesipatsaan staattista painetta**. Tämän seurauksena varaston **kokonaiskapasiteetti kasvaa ~11 GWh → 17 GWh (+50 %)**. Samalla lisätään **uusi 60 MW sähkökattila**, päivitetään prosessiverkosto korkeammalle lämpötasolle ja kasvatetaan puskurikapasiteettia. Koekäyttö tähtää **loppuvuoteen 2025**. [\[epv.fi\]](#), [\[epv.fi\]](#)
- **Tehokkuus ja jousto.** Investointi **tuplaa** luolaston lataus/purku-tehon **220 MW:iin**, vahvistaen kykyä varastoida **sääriippuvaista sähköä** ja toimittaa lämpöä myös **kylmimpinä kuukausina**. [\[epv.fi\]](#)
- Vaskiluodosta tulee **ensimmäinen yli 100-asteinen suuren mittakaavan kaukolämpövarasto**, jota voidaan hyödyntää **ympäri vuoden**; kapasiteetin nosto **17 GWh**. [\[vaasansahko.fi\]](#)

Yli 100 °C veden varastointi (paineistettuna) **nostaa lämpösisältöä per m³** ja mahdollistaa **talviverkon** vaatimien menolämpötilojen syötön suoraan varastosta. Tämä **pienentää huipputehojen** polttoperusteista tuotantoa ja vahvistaa **sektorikytkentää** (sähkö → lämpö). [\[epv.fi\]](#), [\[epv.fi\]](#)

Vaikutukset puupolttoaineiden volyymeihin Pohjanmaalla

Isoissa laitoksissa (Vaskiluoto-tyyppinen järjestelmä):

- TES + sähkökattilat mahdollistavat **pitkät polttoaine vapaat jaksot** halvan sähkön aikana; 2023 Vaasan Voiman sähkökattilakapasiteetti nostettiin **160 MW:iin**, ja TES-teknologiamuutos kasvatti varastoa **~11 GWh:iin** jo ennen 17 GWh laajennusta. Tämä vähentää **biopolttoaineiden huippukulutusta** ja siirtää puun käyttöä **tasaisemmaksi peruskuormaan**. [\[vaasanvoima.fi\]](#), [\[energiakaupungit.fi\]](#)
- Metsäenergian vuosikulutus **laskee erityisesti talvihuippuissa**: aiemmassa analyysissä arvioitiin isoissa laitoksissa **–10...–30 %** seuraavien 5 vuoden aikana sähkökattiloiden yleistyessä; lämpövarastojen lisäys **vahvistaa** tätä kehitystä (alempaan haarukkaan kohdistuva lisävähennys).

Pienissä/kuntalaitoksissa:

- Kuntalaitoksissa käyttöönotto on tyypillisesti hitaampaa, ja **lähihakkeeseen** tukeutuva tuotanto säilyy vahvana; lämpövarasto **leikkaa huippuja** ja tuo **5...15 %** hillintää, mutta ei muuta kokonaiskuvaa radikaalisti.

Vaikutukset logistiikkaan

- **Huippukuljetusten tasoittuminen.** Kun 17 GWh TES ja **jopa 220 MW** purkuteho otetaan käyttöön, **kiireelliset talvihuippujen haketoimitukset vähenevät** ja kuormitus voidaan jakaa tasaisemmin vuoden mittaan. [\[epv.fi\]](#)
- **Terminaalien roolin muutos.** Aiempien havaintojen mukaan uudet tekniikat **lyhentävät käyttöaikaikkunoita** ja **pienentävät vuosivolyymejä** isoissa laitoksissa; TES voimistaa tätä: **puskureiden** tarve pienenee, mutta **laatuvaatimukset** kiristyvät (tasainen kosteus, alhaiset hävikit).
- **Toimialariski.** Tasaisempi (ja mahdollisesti pienempi) kysyntä voi **heikentää kuljetusyritysten kannattavuutta** ja nostaa kapasiteettiriskiä **kireimpinä pakkastalvina** – sama riski tunnistettiin jo sähkökattiloiden kohdalla.

Vaikutukset polttoainevarastointiin

- **Biopolttoainepuskureiden pieneneminen.** Isoissa yksiköissä **kausivarastojen tarve** pienenee entisestään, kun TES hoitaa kylmien

jaksojen tasauksen. **Peitetyn ja laadukkaan varastoinnin merkitys** korostuu (tasalaatu → tehokas TES-yhdistelmä).

- **Jatkojalosteet kriisivarastoihin.** Pelletti/briketti/torrefioitu biohiili säilyttävät paikkansa **pitkän varautumisen ja kriisivalmiuden** jakeina, mutta **arjen peruspuskuria** voidaan pienentää TES:n ansiosta.

EPV-case: avainluvut ja yhteys Pohjanmaan energiasiirtymään

Ominaisuus	Arvo / kuvaus	Lähde
Luolien tilavuus	~ 210 000 m³ (150 000 m ³ + 60 000 m ³)	[epv.fi]
Lataus/purku (2020)	100 MW	[epv.fi]
Kapasiteetti (ennen laaj.)	~ 7–9 GWh (myöh. ~11 GWh teknologiamuutoksen jälkeen)	[epv.fi] , [vaasanvoima.fi]
Kohotettu lämpötila	> 100 °C (paineistus), kapasiteetti 17 GWh, purku/lataus 220 MW	[epv.fi] , [epv.fi]
Sähkökattilat Vaskiluoto	160 MW käytössä (2023), + uusi 60 MW investoinnissa	[vaasanvoima.fi] , [epv.fi]
Vaasan kaukolämmön kattavuus	> 60 % Vaasan tarpeesta	[vaasanvoima.fi]
Kivihiilen käytön vähennys	~ 30 % referenssivuonna varaston myötä	[epv.fi]

Taulukko 10. EPV:n avainluvut

Johtopäätös EPV-casesta: Pohjanmaan murros (sähkökattilat, akkuvarastot, hybridiratkaisut) johtaa isoissa laitoksissa **käyttöjaksojen lyhenemiseen ja vuosivolyymien pienenemiseen**. TES-investoinnit (kuten Vaskiluoto) **kiihdyttävät** tätä kehitystä ja lisäävät **laadun** merkitystä suhteessa **määrään** koko metsäenergian ketjussa.

11.3 Hybridiratkaisut

Hybridiratkaisut – miten eri lämmöntuotantotekniikat toimivat yhdessä ja mitä se merkitsee metsäenergian pitkäaikaisvarastoinnille Pohjanmaalla

Hybridikoko-naisuus	Tyypillinen rooli 2026–2031	Vaikutus puupoltto- aineen vuosikulu- tukseen	Vaikutus pitkäai- kaisvaras- toinnin kokoon ja profiiliin	Logistiikka- vaikutus
Sähkökattila (P2H) + lämpövarasto (TES)	Huippujen leikkaus, halvan sähkön hyödyntäminen	Isot: –10...–30 %, pienet: 0...–10 %	Kausipuskuri pienenee, painotus laatuun	Huiput tasaantuvat, terminaali-kierto nopeutuu
Lämpöpumppu + sähkökattila + TES	Perustuotanto + säätö -paketti	Sama suunta; lämpöpumput korostavat edullisia tunteja	Pitkä varaston tarve pienenee; tasalaatu korostuu	Kuljetusrytmi tasoittuu
Monipolttoainekattila + TES	Puun peruskuorma + TES huipputasaukseen	Isot: –10...–25 %, pienet: –5...–15 %	Pitkä puskuri pienempi, kriisivarastot säilyvät	Vähemmän kiiretoimittuksia
Biomassa CHP + FPBO + TES	Nestevarasto lisää joustoa	Puun kulutus pienenee huipuissa	Pitkä puuvarasto pienenee	Varmuus paranee
Biomassa + biometaani/bioSNG + TES	Kaasu tuo verkko-/säiliövaraston	Huippukulutus pienenee	Puuvaraston pituus pienenee	Kuljetus tasoittuu

Taulukko 11. Hybridiratkaisut – yhteenvetotaulukko vaikutuksista.

Perusviesti: Pohjanmaan isoissa yksiköissä hybridiratkaisut siirtävät puun käytön painetta huipuista peruskuormaan ja **pienentävät** vuosittaisia puuvolyymejä sekä **kausivarastojen** tarvetta. Pienissä ja kuntatason laitoksissa puu säilyy pääroolissa, mutta varaston **laatu** (kuivuus, tasaisuus, peitetty varastointi) korostuu määrän sijasta.

P2H + TES (sähkökattila + lämpövarasto)

Mitä on: Sähkökattila muuntaa edullisen sähköenergian lämmöksi. TES (lyhyestä kausitason varastoon) tasaa tuotannon ja kulutuksen. Pohjanmaalla yleistyminen on nopeaa 2026 mennessä; investointeja on useita, ja rooli kasvaa edelleen.

Vaikutus metsäenergiaan:

- **Isot laitokset:** puun vuotuinen tarve laskee arviolta **10–30 %**, kun halvan sähkön tunneilla korvataan polttoainetta.
- **Pienet laitokset:** muutos **0–10 %**; puu säilyy pääpolttoaineena.

Varastointi ja logistiikka: **Kausipuskurit pienenevät**, terminaalien **vuosivolyymit** voivat laskea, mutta laatuvaatimukset kiristyvät (tasainen kosteus, pienet hävikit). Huipputarve ja päivystysajot vähenevät.

Lämpöpumppu + sähkökattila + TES

Mitä on: Lämpöpumppu nostaa matalalämpöisten lähteiden lämpöä hyvässä hyötysuhteessa, sähkökattila hoitaa nopeat hinnan/kuorman vaihtelut ja TES sitoo edullisen tuotannon varastoon. Tätä yhdistelmää kuvataan loppuraportin rungossa osana “hybridejä”.

Vaikutus metsäenergiaan: Yhdistelmä **vahvistaa** edellä kuvattua suuntaa: puu keskittyy **peruskuormaan**, huiput hoidetaan sähköllä ja varastoilla → **pitkän puupuskurin** tarve edelleen **pienempi**.

Varastointi ja laatu: Peitetyn ja laadukkaan varastoinnin merkitys nousee (tasalaatuinen hake toimii paremmin harvemmissa, mutta tärkeissä ajanjaksoissa).

Monipolttoainekattila (hake/pelletti/briketti) + TES

Mitä on: Biomassakattila ajaa peruskuormaa; pelletit/briketit toimivat **kriisivarastona**; TES leikkaa huippuja. **Jatkojalosteiden** (pelletti, briketti, torrefioitu hiili) etuna on pitkä varastokesto ja pieni hävikkiriski.

Vaikutus metsäenergiaan: Isot laitokset: **–10...–25 %** (TES-vaikutus); pienet: **–5...–15 %**. Puu jää peruskuorman polttoaineeksi.

Varastointi: **Kausivarastojen tarve tyypillisesti –15...–40 %** isoissa yksiköissä; pienissä varastot säilyvät suhteellisesti suurempina, mutta laatu korostuu.

Biomassa + FPBO-bioöljy (varapolttoaine) + TES

Mitä on: Pyrolyysiöljy (FPBO) on käytännössä todennettu **lämmitysöljyn korvaaja** kaukolämpökattiloissa, kun materiaalit ja poltin päivitetään oikein. TES mahdollistaa edullisen ajoituksen.

Vaikutus metsäenergiaan: Huipputilanteiden aikana **bioöljy** vähentää puun tarvetta ja **lyhentää** puuvarastoinnin kestoa – pitkä puupuskuri voidaan mitoittaa pienemmäksi. (Kustannukset tapauskohtaisia; varastoitavuus FPBO:lla viikoista kuukausiin.)

Biomassa + biometaani (RNG/LBG) / bioSNG + TES

Mitä on: Biokaasu upgradetaan biometaaniksi ja **varastoidaan paineastioissa** tai nesteytetään (LBG). BioSNG tuotetaan kaasutuksella + metanoinnilla; molemmat ovat **verkkoon syötettäviä** ja kattiloissa poltettavia kaasuja. TES tasaa kulutusta.

Vaikutus metsäenergiaan

Kaasu kattaa **huippukulutusta**, puu jää **peruskuormaan**. Puuvaraston **merkitys** pienenee ja **kriisinkestävyys** paranee kaasupuskurin ansiosta.

Tapausesimerkit

Case A: Iso lämmöntuottaja (maakuntatason) – Vaskiluodon malli

- **Nykyinen ja päätetty kapasiteetti:** TES-luolastot, kapasiteetin nosto n. **17 GWh** ja purku/lataus jopa **220 MW**, sähkökattilat **160 MW** (+ uusi 60 MW investoinnissa).
- **Mitä se tarkoittaa puulle:** Pitkät “polttoainevapaat” jaksot edullisen sähkön aikaan → **huippujen puunkulutus alas**, puu siirtyy **tasaisemmaksi peruskuormaksi**.
- **Varastointi ja logistiikka:** **Kausipuskurit pienenevät**, terminaalien rooli muuttuu määrävetoisesta **laatuvetoiseksi**; kiireajot vähenevät, mutta kuljetuskapasiteetin sopeutuminen on riski kovilla pakkasilla.

Case B: Kuntatason lämmöntuottaja

- **Tyypillinen hybridi:** Biomassakattila (hake lähialueelta) + **pienehkö sähkökattila + lyhyt-keskipitkä TES**. Puu säilyy pääroolissa.
- **Vaikutus puuhun:** Kulutus **0...–10 %**, mutta **varaston laatu** korostuu (peitetty varastointi, kuivuminen, pienempi hävikki).

- **Varastointi: Tienvarsivarastointi** säilyy, terminaalivarastoinnin päällystäminen ($\approx 25 \text{ €/m}^2$) parantaa käytettävyyttä ja vähentää hävikkejä – investointi punnittava tapauskohtaisesti.

11.4 Vaikutus metsäenergian pitkäaikaisvarastointiin – johtopäätökset Pohjanmaalle

1. **Kausipuskurit pienenevät isoissa yksiköissä** (arviolta $-15\ldots-40 \%$), kun P2H + TES tasaa talvihiippuja. **Laatu** korostuu määrän sijasta (tasainen kosteus, alhainen hävikki).
2. **Pienissä laitoksissa** puun rooli säilyy vahvana; varastot suhteessa käyttöön ovat suurempia, mutta **peitetty varastointi** ja **luonnollinen ilmakeuivaus** ovat kustannustehokkaimmat keinot.
3. **Kriisivarastointi** kannattaa rakentaa jatkojalosteilla (**pelletti, briketti, biohiili**), joilla on **pitkä säilyvyys** ja pieni hävikkiriski; puupuskuria voidaan näin pienentää ilman huoltovarmuuden heikkenemistä.
4. **Neste- ja kaasujakeet** (FPBO, biometaan/bioSNG) toimivat **hybrideissä** huippujen ja poikkeustilanteiden polttoaineina, mikä **lyhentää puun pitkäaikaisvarastoinnin** tarvetta etenkin isoissa järjestelmissä.

Suosittelut etenemispolku (työpakettin WP2 näkökulmaan)

- **Isot laitokset (maakuntataso):**
 1. Maksimoi **P2H + TES** -hyöty (huiput, hinnanvaihtelut)
 2. Mitoita **puupuskuri** uudelleen ($-15\ldots-40 \%$) ja siirrä painopiste **laadunhallintaan** (alhaiset hävikit, tasainen kosteus)
 3. Pidä **kriisivarasto** jatkojalosteilla (pelletti/briketti/torrefioitu hiili).
- **Kuntatason laitokset:**
 1. Säilytä paikallinen hake peruskuormana
 2. Ota käyttöön pienehkö sähkökattila + lyhyt TES,
 3. Paranna peitettyä varastointia ja ilmakeuivausta (kustannustehokkain yhdistelmä).
- **Terminaalit ja varastoalueet:**

Priorisoi **päällystys** kohteissa, joissa volyyymi ja hävikin väheneminen perustelee investoinnin ($\approx 25 \text{ €/m}^2$), ja siirrä prosesseja kohti **tasalaatuisuutta** (seulonta, peitteet).

12 Case ”Iso lämmöntuottaja” yhteenveto

Polttoaineiden käytön kehitys, nykytila ja tulevaisuuden ennuste

12.1 Kehitys: mistä on tultu?

EPV on viime vuosina muuttanut tuotantopalettiaan voimakkaasti kohti **päästötöntä energiaa**, mikä näkyy erityisesti:

- **CHP-tuotannon laskuna**, mikä on pienentänyt kiinteiden polttoaineiden tarvetta ja hävittänyt huippukulutuspiikkejä.
- **Turpeen ja fossiilisten polttoaineiden alasajona**, jotka toimivat enää viitepisteinä; fokuksessa uusiutuvat ja sähköistyvät ratkaisut.

Samalla sivutuotevirrat (saha- ja metsäteollisuus) ovat olleet **suhdanneluonteisesti pieniä**, mikä on rajoittanut perinteistä puupolttoaineen hankintaa.

12.2 Nykytila: miten EPV tuottaa lämpöä nyt?

a) Sähköistyminen ja uudet tekniikat

EPV hyödyntää yhä enemmän **halpaa sähköä, hukkalämpöä ja lämpövarastoja**, mikä on jo johtanut tilanteisiin, joissa suuria laitoksia ei ole tarvinnut ajaa puupolttoaineella lainkaan kuukausiin.

b) Puupolttoaineen rooli

- Pääasiassa **kotimaista lähipuuta**, hankintamatkat n. 100 km säteellä.
- Saatavuus **tällä hetkellä hyvä**, mutta käyttömäärät vaihtelevat sähkön markkinatilanteen mukaan.
- Puun käyttö suuntautuu yhä enemmän **tasaisen peruskuorman** kattamiseen, ei huippuihin.

c) Logistiikka ja varastointi

- EPV:llä on oma kokenut puunhankintaorganisaatio sekä aluevarannot, jotka takaavat toimitusvarmuutta.
- Varastointiin liittyy kuitenkin edelleen:
 - laatuvaihteluita
 - säilyvyysongelmia
 - kustannus- ja ympäristöriskejä

12.3 Tulevaisuuden ennuste: mihin EPV on menossa?

EPV:n strategia (Uuden sähkön vallankumous[®]) perustuu **päästöttömään sähköön ja hybridijärjestelmiin**, jotka muuttavat myös polttoaineen kysyntärakennetta:

a) Kiinteiden polttoaineiden (erityisesti puun) kysyntä laskee

- Sähkökattilat, lämpöpumput ja lämpövarastot (TES) leikkaavat **huippukuormaa**.
- Polttoaineen tarve keskittyy **peruskuormaan**, ja vuosivolyymit laskevat arviolta **10–30 %** isoissa laitoksissa.

b) Joustavat ratkaisut vähentävät pitkäaikaisvarastoinnin tarvetta

- TES-varastot mahdollistavat pitkät polttoaineenvapaat jaksot.
- Halvan sähkön aikana tuotettu lämpö korvaa biomassaa-ajoa → pienempi tarve puskurivarastolle.

c) Jatkojalosteiden ja vaihtoehtoisten polttoaineiden kasvu

- Pitkässä varautumisessa (kriisitilanteet) kasvaa tarve:
 - pelletille
 - briketille
 - torrefioidulle hiilelle
(pitkä säilyvyys, pieni hävikki)
- Samalla vähitellen yleistyvät nestemäiset ja kaasumaiset biopolttoaineet (FPBO, biometaani/bioSNG), jotka tasoittavat huippuja.

d) Puupolttoaineesta tulee “optimoitava resurssi”

Sähköistymisen, varastoinnin ja jouston ansiosta puupolttoaineesta ei luovuta — mutta sitä käytetään **vähemmän, laadukkaammin ja oikea-aikaisemmin**.

Vaikutus metsäpolttoaineiden pitkäaikaisvarastointiin

Varastojen koko pienenee

- Kiinteiden polttoaineiden kausipuskuritarve pienenee **15–40 %**, koska TES + sähkökattilat hoitavat huiput.

Laatuvaatimukset nousevat

Kun polttoa tehdään harvemmin mutta kriittisissä peruskuormajaksoissa, vaaditaan:

- tasalaatuista kosteutta

- vähäistä hävikkiä
- hallittuja ja peitettyjä varastoja

Varastointiratkaisut kehittyvät

EPV:n mittakaavassa kustannustehokkaimmat mallit ovat:

- **peitetty terminaalivarastointi**
- **luonnollinen ilmakuivaus (NAD)**
- **jatkojalosteet kriisivarastoissa**

Logistiikan rooli kasvaa – kapasiteettiriskit korostuvat

Kun puun kulutus tasoittuu ja pienenee:

- kuljetusvolyymit voivat laskea → joillakin urakoitsijoilla kannattavuus laskee
- äkilliset pakkasjaksot voivat aiheuttaa kapasiteettipulaa

Varastointifilosofia muuttuu “laadusta joustavuuteen”

Aiempi määrään perustuva varautuminen muuttuu:

- pienemmiksi, laadukkaiksi varastoiksi
- korkealuokkaisiksi kriisivarastoiksi (pelletit/brikitit/biohiili)
- hybridipohjaiseksi kokonaisuudeksi, jossa puu on vain yksi osa toimitusvarmuutta

12.4 Tiivistetty johtopäätös

EPV:n polttoainestrategia siirtyy määrävetoisesta mallista joustavuus- ja laatupohjaiseen malliin.

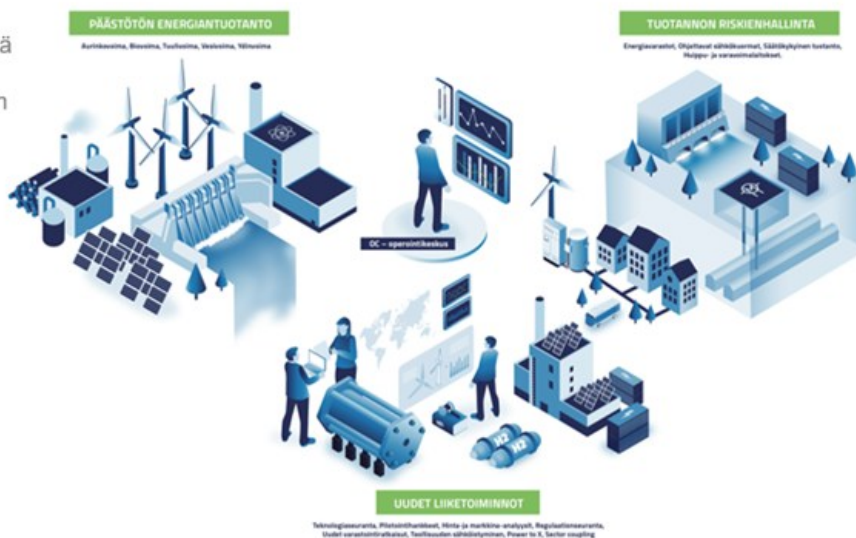
Sähkökattilat, lämpöpumput ja lämpövarastot pienentävät puupolttoaineen vuosikulutusta ja muuttavat varastoinnin painopisteen: **suurista puskureista kohti tasalaatuisia ja hallittuja, mutta pienempiä varastoja.**

Pitkän varautumisen ratkaisuihin nousevat **pelletit, brikitit ja torrefioitu hiili**, kun taas peruskuorman puuvirrat säilyvät mutta optimoituvat.

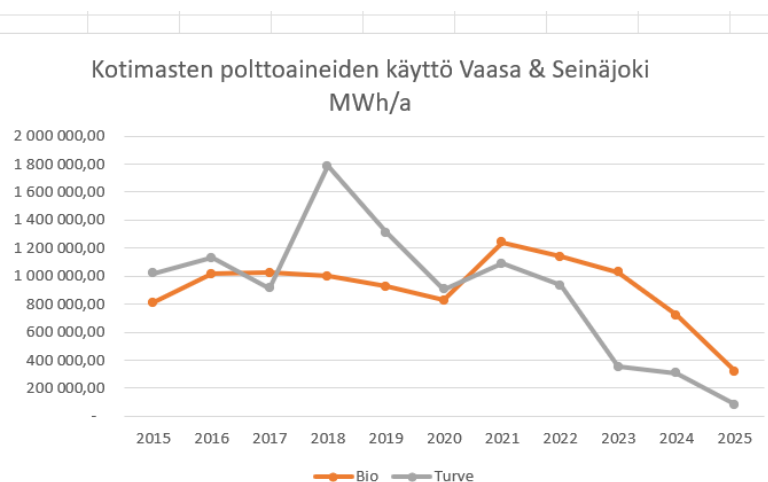
EPV ENERGIAN STRATEGIAN KULMAKIVET



Aiemmin sähkön tuotantoa ohjattiin kulutuksen ehdoilla. Jatkossa sähköä tuotetaan pääosin luonnon ehdoilla. Uuden sähkön maailmassa meillä on energiavarastoja sekä uutta teollisuutta, jota ajetaan puhtaasti sähkön tarjonnan ehdoilla. Myös perinteinen kulutus muuttuu joustavaksi.



Vuosi	Bio	Turve
2015	809 735,00	1 020 119,00
2016	1 016 128,00	1 129 120,00
2017	1 025 633,00	915 421,00
2018	1 000 174,00	1 784 210,00
2019	926 956,00	1 311 243,00
2020	826 473,00	903 922,00
2021	1 241 182,00	1 091 569,00
2022	1 141 185,00	934 811,00
2023	1 026 697,00	353 415,00
2024	722 491,00	307 364,00
2025	321 203,00	81 956,00



Kuva 10. EPV Energian strategia sekä kiinteiden puupolttoaineiden käyttö v.2015-2025

13 Case ”Kuntatason lämmöntuottaja” yhteenveto

Polttoaineiden käytön kehitys, nykytila ja tulevaisuuden ennuste

13.1 Kehitys: mistä on tultu?

PK Bioenergia toimii tyypillisellä kuntatason logiikalla, jossa tuotanto perustuu lähialueelta hankittuun puupolttoaineeseen. Toiminta on kehittynyt asteittain kohti:

- **Hajautettua, paikallista bioenergiamallia**, joka hyödyntää alueen metsätalouden sivuvirtoja ja energiapuuta.

- **Paikallisen huoltovarmuuden vahvistamista**, sillä toiminta tukee alueellista työllisyyttä ja hyödyntää lähipuuta.

PK Bioenergia on kasvanut osaksi laajempaa alueellista bioenergiaverkostoa.

13.2 Nykytila: miten PK Bioenergia tuottaa lämpöä nyt?

a) Polttoainepohja

- Pääpolttoaineena **metsähake, rankapuu ja teollisuuden puutähteet**, joita hankitaan paikallisesti.
- Varastointi tapahtuu osin terminaaleissa, osin **metsäteiden varsilla**, josta hake toimitetaan suoraan käyttöpaikalle.

b) Varastointi ja logistiikka

- PK Bioenergia hyödyntää **lähivarastoja**, tienvarsikasoja ja terminaaleja toimitusvarmuuden varmistamiseksi.
- Toiminnan ytimessä on **paikallisuus**, mikä lyhentää kuljetusmatkoja ja vähentää logistiikan kustannuksia.

c) Toimitusvarmuus

- Yritys toimii osana alueellista bioenergiaketjua, joka takaa vakaamman hankinnan — **toiminta vahvistaa paikallista energiahuoltoa**.

13.3 Tulevaisuuden ennuste: mihin PK Bioenergia on menossa?

Kuntatason laitoksilla murros tapahtuu hitaammin kuin maakuntatason isoissa yksiköissä. Nykyiset trendit ennakoivat:

Puupolttoaineen rooli säilyy vahvana

- Kuntalaitoksissa sähkökattiloiden käyttöönotto on hitaampaa → **hakkeen merkitys pysyy korkeana**.
- Muutokset polttoainevolyymeissä jäävät tyypillisesti **0–20 %** tasolle.

Laadun merkitys korostuu

- Käyttöprofiili muuttuu tasaisemmaksi, ja varastoitavan polttoaineen **kuivuus, tasaisuus ja pienet hävikit** nousevat tärkeimmiksi kehityskohteiksi.

Varastointimenetelmien kehittäminen

- Kustannustehokkaimmiksi keinoiksi arvioidaan:
 - **peitetty varastointi**
 - **luonnollinen ilmakehä (NAD)**
 - **päällystettyjen terminaalien harkittu lisääminen** ($\approx 25 \text{ €/m}^2$)

Joustoratkaisut lisääntyvät mutta rajatumminkin

- Pienet TES-varastot tai pienehköt sähkökattilat voivat tulla käyttöön, mutta ne **eivät korvaa puuta**, vaan täydentävät järjestelmää.

Vaikutus metsäpolttoaineiden pitkäaikaisvarastointiin (PK Bioenergia)

Varastokoko pysyy suhteellisesti suurena

Kuntatason laitoksissa:

- varastokierto on **hitaampaa**,
- laitosten omat puskuritarpeet ovat **suhteellisesti suurempia** kuin isoissa laitoksissa,
- kausivaihtelu vaikuttaa enemmän.

Laatu korostuu määrän sijasta

Pitkäaikaisvarastoinnin kehittämisessä avainkohtia ovat:

- polttoaineen kuivuus
- tasalaatuisuus
- hävikin minimointi

Peitetty varastointi ja ilmakeivaus ovat **kustannustehokkaimmat** keinot.

Jatkojalosteet kriisivarastoissa

Kuntatasolla pitkän aikavälin varautumiseen sopivat:

- **pelletti**
- **briketti**
- **biohiili**

(pitkä säilyvyys, pieni hävikkiriski)

13.4 Tiivistetty johtopäätös

PK Bioenergia edustaa kuntatason bioenergiamallia, jossa puupolttoaine säilyy lämmöntuotannon ytimenä myös tulevana vuosina.

Pienemmät investointimuutokset, paikallisuus ja lyhyet kuljetusmatkat pitävät hakkeen käytön vakaana. Pitkäaikaisvarastoinnin osalta painopiste siirtyy **määrävarastoista laadunhallintaan**: kuivuuteen, peittämiseen ja ilmakeivaukseen.

Sähkökattiloiden ja TES-varastojen rooli kasvaa rajallisesti, lähinnä täydentävänä tekniikkana. Kriisivarastointi tulee rakentaa jatkojalosteilla

(pelletti/briketti/torrefioitu hiili), kun taas peruskuorman hakevirta säilyy alueellisesti vahvana.

14 Loppuyhteenvedo – Hankkeen havainnot ja tulokset suhteessa tavoitteisiin

SBS-hankkeen tavoitteena oli alusta lähtien **tunnistaa kiinteiden polttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnin haasteet ja mahdollisuudet**, analysoida energiasiirtymän vaikutuksia sekä esittää **teknisiä, taloudellisia ja huoltovarmuuteen liittyviä ratkaisuja** Pohjanmaan toimintaympäristöön. Hankkeen aikana kerätyt tilannekuvat, toimijahaastattelut ja tapaustutkimukset osoittavat, että **energiasektorin muutosnopeus on huomattavasti ennakoitua voimakkaampi**, ja polttoaineketjujen rooli, rakenne ja riskit ovat muuttuneet lyhyessä ajassa.

Alla yhteenvedo keskeisistä havainnoista suhteessa tavoitteisiin:

1. Tavoite: Selvittää kiinteiden polttoaineiden nykytila, mitoitus ja varastointikäytännöt

Hankkeessa tehty tilannekuva osoittaa, että:

- Kiinteitä polttoaineita varastoidaan Suomessa edelleen **sekä metsäteiden varsilla että terminaaleissa**, mutta käytäntöjen kirjo on laaja ja laadunhallinta vaihtelee merkittävästi.
- Terminaaliverkosto on Pohjanmaalla kohtuullisen kattava (**13 merkittävää terminaalialia, 23 ha**), mutta rakenteiden taso vaihtelee ja osa alueista on vain maapohjaisia.
- Varastointi ja mitoitus ovat pitkälti historiallisia: turpeen käytön nopea alasajo ja metsähakkeen kasvava kysyntä ovat siirtäneet painopistettä puupolttoaineisiin ilman, että varastointirakenteita olisi ehditty laajasti päivittää.

Johtopäätös: Hankkeen tavoite nykytilan kartoittamisesta täyttyi. Lisäksi havaittiin, että varastointiin liittyvät perusratkaisut ovat jääneet jälkeen energiamurroksen vauhdista.

2. Tavoite: Tunnistaa energiasiirtymän tuomat muutokset ja haasteet

Hankkeen aineisto osoittaa, että:

- Sähkökattilat, lämpöpumput ja lämpövarastot (TES) ovat **muuttaneet polttoon perustuvan lämmöntuotannon profiilin kokonaan**, erityisesti isoissa laitoksissa (EPV).



- Talvihiiput, jotka aiemmin määrittivät hakkeen saatavuus- ja varastointitarpeita, ovat pienentyneet.
- Lämpimät talvet ja halpa sähkö ovat jo johtaneet tilanteisiin, joissa **hakekattiloita ei ole käytetty lainkaan kuukausiin**.
- Kuntatasolla muutos on hitaampi, mutta myös siellä korostuu **tasaisempi kulutuskäyrä ja laadun tärkeämpi rooli**.

Johtopäätös: Tavoite toteutui – ja saadut havainnot osoittavat, että energiasiirtymä vaikuttaa varastointiin syvemmin kuin hankkeen alussa oletettiin.

3. Tavoite: Arvioida varastointimenetelmien teknisiä ja taloudellisia vaihtoehtoja

Hankkeessa tunnistettiin ja analysoitiin:

- **Luonnollinen ilmakeiväisyys (NAD)** – kustannustehokkain ratkaisu suurimmalle osalle metsäenergiaa.
- **Peitetty varastointi** – selvin yksittäinen laatu- ja hävikkiparannus.
- **Päällystetyt terminaalit** – parantavat laatua ja logistiikan tehokkuutta, mutta investointikustannus (~25 €/m²) rajoittaa laajaa käyttöönottoa.
- **Jatkojalosteet (pelletti, briketti, biohiili)** – kriisivarastoinnin ydinratkaisu pitkän säilyvyyden vuoksi.

Johtopäätös: Hankkeen tavoite varastointimenetelmien arvioinnista täyttyi ja tuotti konkreettisia, perusteltuja suosituksia.

4. Tavoite: Selvittää tekniset ja logistiset haasteet polttoaineen vaihtamisessa ja toimitusketjussa

Hanke osoitti, että:

- Puupolttoaineketjun haasteet eivät liity enää vain *määrään* vaan *logistiikan toimivuuteen*, etenkin:
 - kuljetuskapasiteetin sopeutumiseen laskeviin volyymeihin
 - terminaalien laatuun ja siisteyteen
 - varastointiaikojen lyhentymiseen isoissa laitoksissa
- Energiantuottajat korostivat tarvetta **ennustettaville, laadukkaille ja tasalaatuisille erille**, erityisesti kun polttoa tehdään harvoin mutta kriittisissä käyttöjaksoissa.

Johtopäätös: Tavoite toteutui, ja lisäksi esiin nousi uusi huoltovarmuusriski: jos kuljetuskalustoa karsiutuu liikaa, kapasiteetti ei riitä kovina pakkasjaksoina.

5. Tavoite: Tuottaa suosituksia ja kehittämiskäytäntöjä

Hankkeen perusteella keskeiset suositukset ovat:

A. Isoille laitoksille (EPV-tyyppiset)

- Puskurivarastot pienennettävä **15–40 %**, mutta laatuvaatimuksia kiristettävä.
- Hybridituotanto (P2H + TES + CHP) vähentää polttoainehuippuja – peruskuorman hake riittää.
- Jatkojalosteet kriisivarastoinnin ytimeen.

B. Kuntatason laitoksille (PK Bioenergia -tyyppiset)

- Hake säilyy pääpolttoaineena – pitkäaikaisvarastointia tarvitaan **suhteessa enemmän** kuin isoissa laitoksissa.
- Peitetty varastointi ja NAD tuovat suurimmat hyödyt.
- Terminaaliverkoston hyödyntäminen vähentää oman varaston rakentamistarvetta.

C. Alueelliselle järjestelmälle

- Logistinen kapasiteetti on turvattava → yrittäjäkentän elinkelpoisuus kriittinen.
- Terminaaliverkon laatu ja käytettävyys on nostettava tasaiselle perustasolle.
- Tarvitaan valtakunnallista ennakkointia, koska energiamurros muuttaa varastointitarpeita nopeasti.

Kokonaisarvio suhteessa hankkeen tavoitteisiin

Alkuperäinen tavoite	Toteutuminen	Arvio
Kiinteiden polttoaineiden nykytilan kartoitus	✓	Toteutui kattavasti – tuotti tilannekuvan ja varastotyyppien analyysin
Energiasiirtymän vaikutusten tunnistaminen	✓	Vaikutukset osoittautuivat odotettua suuremmiksi
Varastointimenetelmien tekninen ja taloudellinen arviointi	✓	Tuotti konkreettiset suositukset (NAD, peittäminen, jatkojalosteet)
Toimitusketjujen ja vaihtohaasteiden tunnistus	✓	Erityisesti logistiikkariskit nousivat uudeksi löydökseksi

Uusien kehittämistoimien ehdottaminen	✓	Ehdotettiin ratkaisuja suurille toimijoille, kuntasektorille ja alueelliselle varautumiselle
---------------------------------------	---	--

Loppupäätelmä

Hankkeen päätulos on selkeä:

Pohjanmaan metsäenergian pitkäaikaisvarastointi siirtyy määrään perustuvasta ajattelusta **laatu- ja joustokeskeiseen malliin**, jossa polttoaineita käytetään harvemmin mutta täsmällisemmin, ja jossa niiden rooli integroidaan laajempaan **hybridi-energiajärjestelmään**.

Hanke tuotti konkreettista tietoa siitä:

- miten energiajärjestelmän murros vaikuttaa metsäpolttoaineketjuun
- miten varastointia tulee kehittää
- millaisia ratkaisuja eri kokoluokan toimijat tarvitsevat
- miten huoltovarmuuden ja kustannustehokkuuden tasapaino voidaan saavuttaa.

Hankkeen tavoitteet täyttyivät – hanke onnistui myös tunnistamaan muutoksia, joita suunnitteluvaiheessa ei voitu vielä ennakoida.