

# VIHREÄN SIIRTYMÄN TUOTEKEHITYS



# Sisällys

Bioenergia .....	1
Osaamistavoitteet.....	1
Bioenergia yleisesti.....	1
Bioenergian eri tyypit.....	2
Puupolttoaineet .....	3
Biopolttonesteet.....	5
Biokaasu .....	7
Bioenergian tuotannon tehotiheys.....	8
Bioenergian kestävyys ja tulevaisuus .....	11
Lähteet .....	14

# Bioenergia

## Osaamistavoitteet

Tämän osion jälkeen sinun pitäisi:

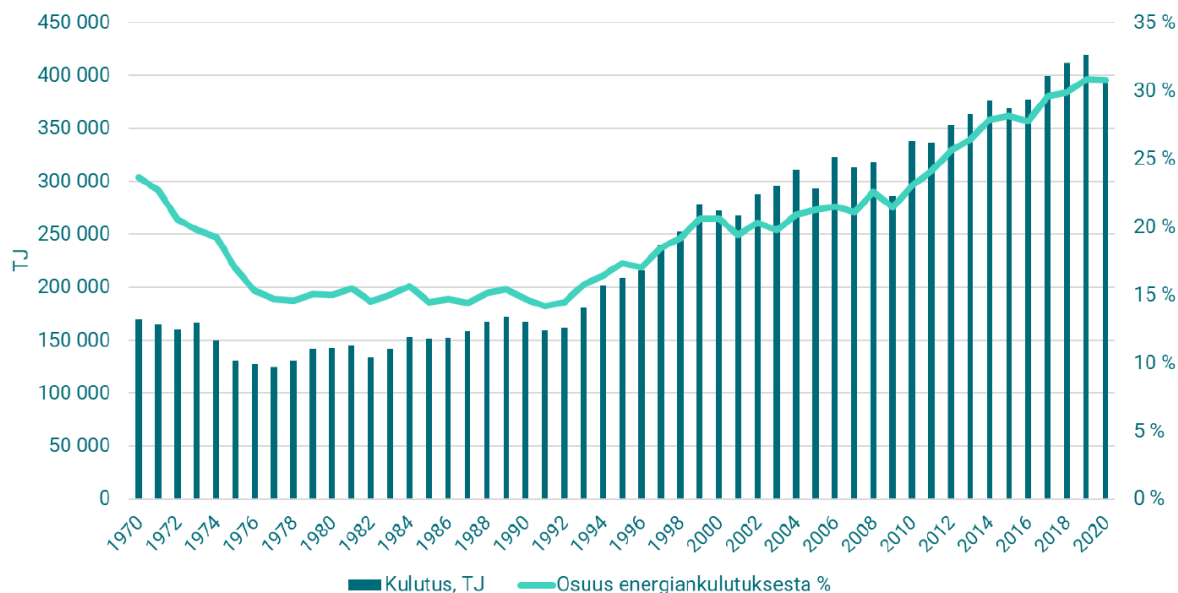
- Ymmärtää mitä on bioenergia ja kuinka sitä käytetään Suomessa sähkön ja lämmön tuotannossa
- Oppia tuntemaan bioenergiaan liittyviä energiatalous- ja kestävyyskysymyksiä

## Bioenergia yleisesti

Bioenergia on energiamuoto, jota tuotetaan polttamalla esimerkiksi puusta ja hakkuutähdistä saatavaa biomassaa sähköksi ja lämmöksi tai valmistamalla kasviöljystä liikenteen polttoainetta. Bioenergiaa käytetään ja tuotetaan laajasti eri kokoluokissa, suurista metsäteollisuuden laitoksista pienen kokoluokan yksittäisiin kotitalouksiin ja kiinteistöihin. Bioenergia on Suomessa 77 % osuudella merkittävin uusiutuvan energian lähde ja se kattaa 30 % koko maan energiankulutuksesta. Lähinnä puun käytön myötä bioenergia on myöskin merkittävin yksittäinen energiantuotantomuoto Suomessa ja biomassan osuus energian kokonaiskulutuksesta on teollisuusmaiden korkein. Nykyisin bioenergia kattaa kuusi prosenttia koko maailman energiantuotannosta ja IEA ennustaa, että sen osuus yli kaksinkertaistuu vuoteen 2040 mennessä. [Tietopankki; Bioenergia; Bioenergian käyttö; Viljanen & Rantanen 2023.]

Suomessa alue- ja kaukolämpölaitokset ovat viime vuosina lisänneet bioenergian osuutta merkittävästi verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin [Bioenergia]. Kuvassa 1 esitetään Bioenergian kulutuksen kehitys vuosina 1970–2020. Kulutus on 50 vuoden aikana reilusti yli kaksinkertaistunut.

## Bioenergia Suomessa 1970 – 2020



Kuva 1 Bioenergian osuus energiankulutuksesta Suomessa 1970–2020 [Perustietoa bioenergiasta 2022].

Kotimaisen bioenergian käyttö ja käytön lisääntyminen liittyy kasvihuonepäästöjen vähentämistavoitteiden lisäksi energiatuotannon omavaraisuuteen sekä huoltovarmuuteen. Lisäksi kotimaisten biomassojen hyödyntäminen luo erityisesti maaseutualueille uusia työpaikkoja. Kun investoinnit öljyyn ovat vähentyneet, on fossiiliset polttoaineet joka tapauksessa korvattava muilla energianlähteillä lähitulevaisuudessa. [Bioenergian käyttö; Johdanto bioenergiaan.]

Suomen energia- ja ilmastostrategiassa tavoitellaan erityisesti puupolttoaineiden, tuulivoiman ja lämpöpumppujen käytön lisäämistä. Puupolttoaineiden kasvusta suurin osa syntyy suoraan metsäteollisuuden tuotannon kasvun myötä sivuvirtoina (kuori, sahanpuru ja selluntuotannossa syntyvä mustalipeä). Myös metsähakkeen käyttö kasvaa nykytasosta, mutta sen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa kääntyy skenaarioissa laskuun vuoden 2025 jälkeen. [Bioenergian käyttö.]

Fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen bioenergialla on vielä paljon uusia mahdollisuuksia etenkin suurempien kiinteistöjen, alueiden ja liikenteen sektoreilla. Kehittyneiden liikenteen biopolttoaineiden tuotannossa ja käytössä Suomi on Euroopan kärkimaita ja niiden käytön kasvun odotetaan jatkuvan. Henkilöautoliikenteen sähköistyessä nestemäisten biopolttoaineiden, biokaasun ja uusien sähköpolttoaineiden rooli korostuu jatkossa raskaassa tieliikenteessä, meriliikenteessä sekä lentoliikenteessä. [Tietopankki; Bioenergia; Bioenergian käyttö.]

## Bioenergian eri tyypit

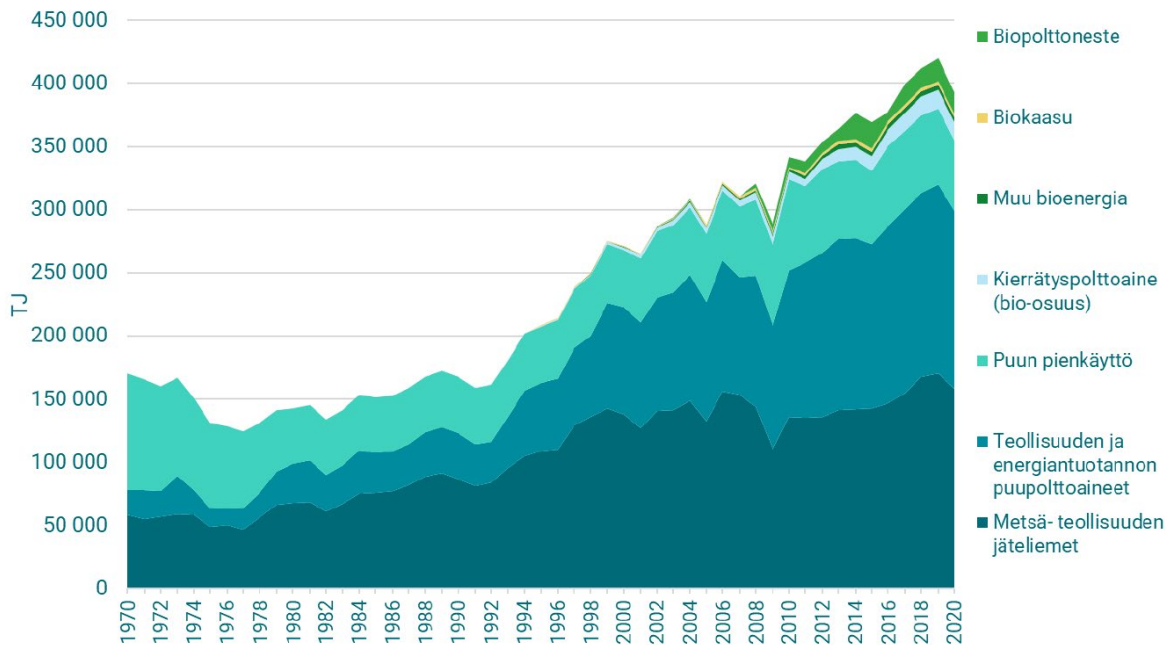
Biomassoista saatavaa bioenergiaa hyödynnetään useassa eri olomuodossa. Biomassoja saadaan metsistä, soista, pelloilta ja maataloudesta sekä teollisuuden sivuvirroista ja jätteistä. Biomassaa ovat kaikki kasvit ja kasvipohjainen aines, kuten metsästä saatu hakkuutähde ja puu sekä pelloilla viljeltävät kasvit. Myös teollisuuden jätetä, teollisuuden puupohjaiset jäteliemet ja yhdyskuntien biojätteet soveltuvat energiaksi. Biomassoista voidaan jalostaa kiinteän polttoaineen lisäksi kaasumaisia ja nestemäisiä polttoaineita. [Bioenergia; Johdanto bioenergiaan.]

Puuta voidaan polttaa halkoina, hakkeena tai pellettinä ja siitä voidaan tehdä öljyä tai kaasua. Turvetta käytetään sellaisenaan. Erilaisista viljelyskasveista voidaan tehdä liikennepolttoaineita, esimerkiksi biodieseliä. Kaatopaikoilla ja maataloudessa voidaan tuottaa biokaasua, paistorasvoista saadaan biodieseliä tai -etanolia ja paperiteollisuuden sivutuotetta mustalipeää voidaan polttaa energiaksi.

Kuvassa 2 esitetään bioenergian eri lajit ja niiden käyttöaste vuodesta 1970–2020. Bioenergia voidaan lajitella esimerkiksi:

- Metsä- ja puuenergiaan
- Biopolttonesteisiin
- Biokaasuun
- Kierrätyspolttoaineiden biohajoaviin osiin
- Puun pienkäyttöön
- Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineisiin
- Metsäteollisuuden jäteliemiin

## Bioenergia lajeittain 1970 – 2020



Kuva 2 Bioenergian eri lajien käyttöaste Suomessa vuosina 1970-2020 [Perustietoa bioenergiasta 2022].

Valtaosa Suomessa käytetystä uusiutuvasta energiasta ja yli neljännes koko energiankäytöstä tuotetaan puuperäisistä biomassoista. Merkittävimmät puuperäiset energialähteet Suomessa ovat metsäteollisuuden tuottamat jäteliemet (kuten sellunkeiton sivutuotteena syntyvä mustalipeä) sekä teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet. Metsäteollisuus on selkeästi suurin bioenergian tuottaja ja käyttäjä Suomessa. [Energiaa metsästä; Perustietoa bioenergiasta 2022.]

### Puupolttoaineet

Suomen metsissä ei kasvateta erikseen energiapuuta, vaan energiaksi käytettävä puu on yleensä metsäteollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta hakkuista ja metsänhoidosta tulevaa puuta sekä metsäteollisuuden sivutuotetta. Yli puolet (50-60 %) Suomessa käytetystä puusta päätyy energiaksi ja loput tuotteiksi. [Energiaa metsästä; Puuenergia.]

Metsästä korjattu puu pystytään hyödyntämään kokonaan tuotteisiin ja energiaksi (kuva 3). Arvokkaimmat osat puusta eli rungot ohjataan korkean jalostusarvon tuotteisiin kuten puutuotteisiin. Kuitupuuta hyödynnetään selluteollisuuden raaka-aineena. Oksia, latvuksia ja pieni määrä juuria ja kantoja käytetään energiaksi. Energiaksi päätyvät myös teollisuuden sivutuotteina syntyvät jakeet – kuoret, purut ja teollisuusliemet. Näitä jakeita on jo melko pitkään hyödynnetty täysimääräisesti energialähteinä, valtaosin teollisuuden omissa voimalaitoksissa ja lämpökattiloissa tuottamalla niillä sähköä, prosessihöyryä ja lämpöä. [Faktopaketti: Puuenergia; Energiaa metsästä].

0 % on hukkaa, tuhkakin käytetään kasvavien metsien lannoitteena.

35 % tukkia

25 % muuta runkoa

10 % oksia

5 % latvusta

+25 % juurta ja kantoa

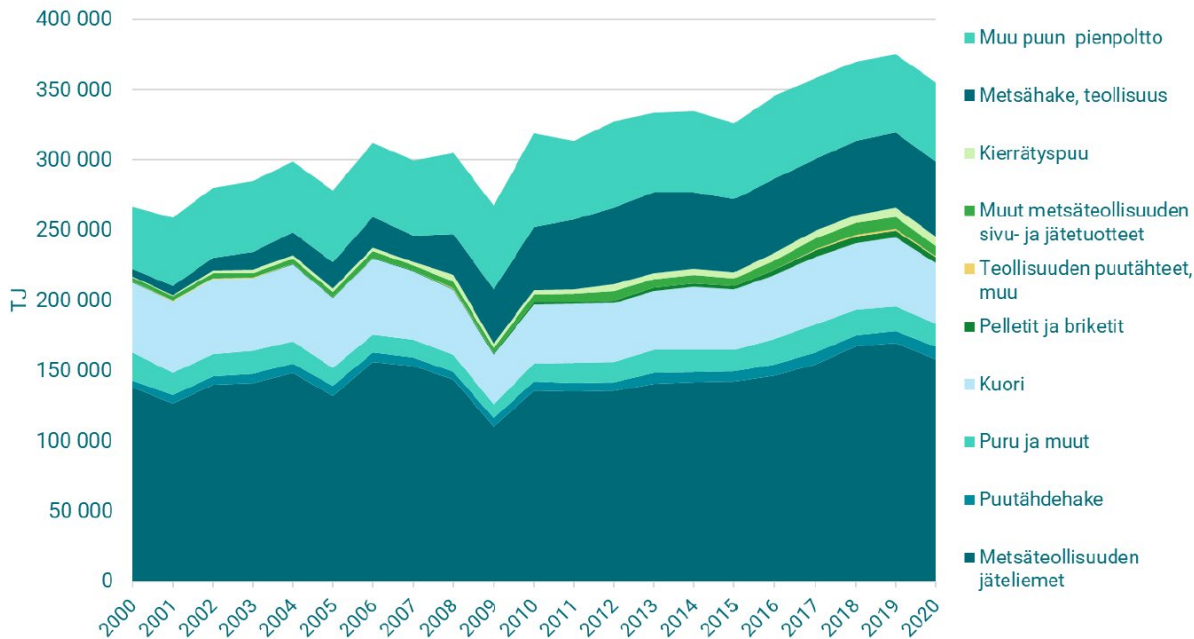
100 % täysikokoinen puu



Kuva 3 Puun osien hyödyntäminen [Faktopaketti: Puuenergia].

Kuvassa 4 on lajiteltu puupolttoaineet ja niiden osuus vuosina 2000–2020. Metsäteollisuuden jäteliemet käsittää noin puolet puupolttoaineiden käytöstä. Muita merkittäviä puupolttoaineita ovat puun kuori, teollisuuden metsähake ja puun pienpoltto.

## Puupolttoaineet lajeittain 2000 – 2020



Kuva 4 Puupolttoaineet lajeittain vuosina 2000–2020 [Perustietoa bioenergiasta 2022].

Metsähake on yleisnimitys suoraan metsästä energiakäyttöön tuleville hakkeille. Metsähake on koneellisesti hakettua puuta, jota käytetään kiinteistöjen nykyaikaisissa automaattisissa puulämmityslaitteissa, aluelämpölaitoksissa ja kaupunkien sekä teollisuuden lämpö- ja voimalaitoksissa. Integroidun korjuun myötä metsähakkeen talteenotto on tehostunut. Integroidussa puunkorjuussa korjataan samanaikaisesti talteen sekä teollisuuden aines- eli kuitupuuta että energiantuotantolaitosten tarvitsemaa energiapuuta. [Energiaa metsästä.]

Perinteisin puuenergian käyttömuoto on pientalojen ja muiden kiinteistöjen lämmittäminen haloilla tai klapeilla, eli niin sanottu puun pienkäyttö. Puun käyttö kiinteistöjen ainoana lämmitystapana on vuosikymmenten kuluessa vähentynyt merkittävästi, kun kaukolämmön ja sähkölämmityksen osuus on kasvanut. Pienkäytön osuus puunkäytöstä on kuitenkin edelleen merkittävä. Yhtenä lämmityssovelluksena on puupellettien hyödyntäminen. [Energiaa metsästä.]

### Biopolttonesteet

Biomassoista jalostettavia nestemäisiä biopolttoaineita käytetään pääsääntöisesti liikenteessä, jossa niitä sekoitetaan polttoaineisiin. Tätä on edistänyt kansallinen biopolttoaineiden jakeluvelvoite, jonka mukaan vuonna 2020 biopolttoaineiden osuuden tuli olla 20 prosenttia kulutukseen toimitetun moottoribensiinin, dieselöljyn ja biopolttoaineiden energiasisällön kokonaismäärästä. Suomen energia- ja ilmastostrategian mukaan liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydystä polttoaineesta nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Käytännössä biopolttoaineiden

lisääminen tapahtuu siten, että bensiiniin sekoitetaan yhä enemmän biopohjaisia alkoholeja (kuten etanolia ja butanolia) ja vastaavasti dieseliin biomassoista jalostettua biodieseliä tai uusiutuvaa dieseliä. [Nestemäiset biopolttoaineet.]

Liikenteen biopolttoaineita voidaan tuottaa monista eri biomassoista useilla eri teknologioilla ja konsepteilla, joiden mukaan biopolttoaineet myös usein jaotellaan eri sukupolviin. Sukupolvilla kuvataan biopolttoaineiden raaka-aineita, tuotantoteknologiaa sekä niiden kestävyyttä ympäristövaikutuksien näkökulmasta. Niin sanottuja ensimmäisen sukupolven liikenteen biopolttoaineita valmistetaan maailmanlaajuisesti elintarviketuotantoon soveltuvista raaka-aineista, kuten sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista (bioetanoli) sekä öljypitoisista kasveista ja bioraaka-aineista (biodiesel). [Nestemäiset biopolttoaineet.]

Kehittyneempien toisen sukupolven biopolttoaineiden käyttö on kestävämpää. Näiden biopolttoaineiden raaka-aineita ovat korkean lignoselluloosapitoisuuden omaava kasvi- ja puupohjainen selluloosa sekä jätteet ja tähteet. Nämä biopolttoaineet vähentävät tehokkaammin päästöjä ja ovat korkealaatuisempia kuin ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet. Toisen sukupolven biopolttoaineiden valmistus ei myöskään kilpaile ruoantuotannon kanssa. [Nestemäiset biopolttoaineet.]

Jätteiden sekä ruoantuotantoon soveltuvien raaka-aineiden määrä on rajallinen ja tarve korvata liikenteen ja energiantuotannon fossiilisia polttoaineita suuri. Siksi kehitteillä on myös kolmannen sukupolven biopolttoaineita, jotka eivät ole vielä kaupallisessa tuotannossa. Kolmannen sukupolven biopolttoaineita valmistetaan täysin uusista raaka-aineista, kuten levistä. [Nestemäiset biopolttoaineet.]

Suomessa on käytössä kahta bensiinilaatua, joihin kumpaankin on sekoitettu biokomponenttia: 95-oktaaninen 95 E10 ja 98-oktaaninen 98 E 5. E10-bensiinissä on korkeintaan 10 tilavuusprosenttia bioetanolia ja E5-bensiinissä vastaavasti korkeintaan 5 prosenttia. E10-bensiini ei sovellu kaikkiin autoihin ja siksi saatavilla on myös E5-vaihtoehto. Lisäksi on saatavilla korkeaseosetanoli E85, joka sisältää enintään 85 tilavuusprosenttia etanolia ja vähintään 15 prosenttia bensiiniä, ja jota voidaan käyttää eri automerkkien flexfuel-malleissa. [Nestemäiset biopolttoaineet.]

Dieselpolttoaineisiin sekoitettavan biokomponentin osuus on tällä hetkellä korkeintaan 7 tilavuusprosenttia, jos kyseessä on ensimmäisen sukupolven kasviöljypohjainen dieselpolttoaine FAME (Fatty Acid Methyl Ester, rasvahapon metyyliesteri). Tällaista kasviöljyistä vaihtoesteröimällä valmistettua biokomponenttia sisältävää dieselpolttoainetta kutsutaan biodieseliksi. FAME-biodieseliä voidaan nimittää myös syöttöaineen mukaan, jolloin esimerkiksi rypsiöljystä valmistettua biodieseliä kutsutaan RME:ksi (Rapeseed Methyl Ester, rypsimetyyliesteri).

Biodieselit (FAME ja RME) eroavat kemialliselta koostumukseltaan niin fossiilisesta kuin uusiutuvasta dieselistä. Biodieselillä on joitakin heikkouksia, kuten esimerkiksi happimolekyylin aiheuttama härskiintymisen ajan kanssa, sekoittuminen moottorin voiteluaineeseen, tiivisteitä haurastuttava mikrobikasvusto ja huono kylmänkestävyys. Jos autossa on kiellettyä käyttää biodieseliä yli 7 prosentin seoksena, rajoitus koskee nimenomaan FAME:n ja RME:n tyylistä biodieseliä. [Nestemäiset biopolttoaineet; Nestemäiset ja kaasumaiset biopolttoaineet; Turkula 2017]

Jos kyseessä on toisen sukupolven biopohjainen dieselpolttoaine (uusiutuva diesel), sitä voidaan käyttää yli 7 prosentin seoksena, usein jopa sellaisenaan (100 % seos). Uusiutuva diesel eli HVO-diesel (hydrotreated vegetable oil) on valmistettu biomassasta (kasviöljyistä ja eläinrasvoista) vetykäsittelytekniikalla. Kemiallisesti HVO-diesel on perinteisen hiilivetydieselin kaltainen hapeton, mutta biopohjaista alkuperää oleva hiilivetytuote. Sitä tuotetaan etenkin jätepohjaisilla raaka-aineilla tavallisen öljyjalostamon kaltaisessa prosessissa. Raaka-aine käsitellään vedyllä, jotta molekyylit saadaan järjestettyä vastaamaan käytännössä fossiilista dieseliä. Uusiutuvia dieselpolttoaineita ovat esimerkiksi kasviöljystä sekä erilaisista jätteistä ja tähteistä valmistettu Neste MY sekä selluntuotannon tähteenä syntyvästä mäntyöljystä valmistettu UPM BioVerno. [Nestemäiset biopolttaineet; Nestemäiset ja kaasumaiset biopolttaineet; Turkula 2017.]

## Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Hapen puuttuessa hajoaminen tapahtuu mädäntymällä anaerobisten bakteerien vaikutuksesta. Hajoamisprosessin viimeisessä vaiheessa syntyy metaania metaanibakteerien hajotustoiminnan tuloksena. [Biokaasu.]

Biokaasu koostuu lähinnä 50-70 prosenttia metaanista (CH<sub>4</sub>) ja 30-50 prosenttia hiilidioksidista. Kaasun koostumus riippuu mädätettävästä biomassasta ja mädätysprosessista. Biokaasussa on myös pieniä määriä lukuisia muita aineita, kuten vettä, typpeä, happea, vetyä, ammoniakkia ja rikkivetyä. [Biokaasu.]

Biokaasua tuotetaan biokaasureaktorissa biomassasta. Tyypillisiä biokaasun lähteitä ovat jätevedenpuhdistamot, erilliskerätyt yhteiskunnan biojätteet, elintarviketeollisuuden sivuvirrat, metsäteollisuuden lietteet sekä maatalouden lannat ja peltopohjaiset kasvit, kuten nurmi. Kaatopaikoilla kerätään jätetäytöstä muodostuvaa kaatopaikkakaasua. Biokaasu kerätään talteen keräysputkiston avulla ja kerätty, varsin epäpuhdas kaasu hyödynnetään polttamalla se lämmön- ja sähköntuotannossa tai käyttökohteen puuttuessa soihdutetaan, ja siitä voidaan myös jalostaa ajoneuvojen polttoainetta. [Nestemäiset ja kaasumaiset biopolttaineet; Biokaasu.]

Biokaasua voidaan jalostaa edelleen korkeamman jalostusasteen tuotteeksi puhdistamalla sekä metanoimalla ja paineistamalla biometaanina, joka on kemiallisesti sama CH<sub>4</sub> kuin maakaasu. Biokaasu sisältää metaania aivan kuten maakaasu ja sillä voidaan korvata maakaasua. Maakaasun metaanipitoisuus vain on biokaasua suurempi, noin 98 prosenttia. Jalostettuna biokaasua voidaan käyttää monipuolisesti ja se on siirrettävissä paineistettuna CBG:nä (Compressed biogas) tai nesteytettynä LBG (Liquified biogas). Jotta biokaasua voidaan käyttää polttomootoreissa, siitä on poistettava vesi ja rikki. Lisäpuhdistuksella biokaasua voidaan syöttää myös maakaasuverkkoon tai käyttää liikennepolttoaineena. [Nestemäiset ja kaasumaiset biopolttaineet; Biokaasu.]

Metaani on hiilidioksidia 20-70 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu. Siksi biojätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen ja kaatopaikoilta ilmaan vuotavan biometaanin talteenotto ja käyttäminen energiantuotannossa on ympäristön näkökulmasta järkevää. Biokaasun tuotannossa on selviä etuja jätteiden hyödyntämisen näkökulmasta, koska mädätys säilyttää biomassan ravinteet paremmin kuin kompostointi. [Biokaasu.]

## Bioenergian tuotannon tehotiheys

Energiaa on saatava energiantuotannosta enemmän kuin siihen investoidaan eli energiaa on tuotettava enemmän kuin mitä sen tuottamisessa kulutetaan. Puhutaan EROEI-tunnusluvusta (Energy Returned On Energy Invested) eli saadun energian suhteesta sen hankkimiseksi käytettyyn energiaan. Käytännössä EROEI on oltava suurempi kuin 1, jotta energiantuotannossa olisi järkeä. Modernin teollisuusmaan energiajärjestelmän keskimääräisen EROEI-tunnusluvun tulisi arvioiden mukaan olla välillä 5–15. [Biomassojen koostumus ja ominaisuudet.]

Suomessa 2010-luvun loppupuolella Kemiin suunnitteilla ollut Kaidin laitos on esimerkki biojalostamon kehnosta energia- ja hiilitaseesta ja biopolttoaineen sekoitusvelvollisuuden näennäisistä ilmastovaikutuksista. Suunniteltuun bionestevalostamoon aiottiin syöttää puuta ja muuta energiaa 6,1 terawattituntia (TWh) vuodessa, josta saataisiin liikennepolttoainetta irti 2,7 terawattituntia. Tuotteisiin päätyisi siis reippaasti alle puolet syötetystä energiasta. Loppu menisi hukkalämmöksi ja kemiallisiin reaktioihin. Laitoksen energiataase heikkenisi edelleen, jos otetaan huomioon puunkorjuun ja tehtaan rakentamisen viemä energia. [Raunio 2017.]

Kemin laitoksen oli määrä kuluttaa pääasiassa puuta, mutta myös sähköä, mäntyöljyä ja kaasua. Polttoaine tuotettaisiin kaasuttamalla ja Fischer–Tropsch-menetelmällä. Suurin osa puusta ja sen energiasta kuluisi joko kaasuna taivaalle tai lämpönä veteen. Laitoksen EROEI-luku olisi 0,79, kun käytetään ympäristövaikutusten arvioinnissa ilmoitettuja puu- ja energiamääriä. Muun muassa USA:ssa katsotaan, että hiilidioksiditaseen kohentamiseen tarvittaisiin biopoltonesteelle vähintään kerroin 3. Kemin laitoksen siis katsottaisiin olevan ilmaston kannalta hyödytön ja jopa sitä kuormittava. Kemin alueen rankapuu voitaisiin hallituksen energiastrategian perusteella käyttää paremmin täysin normaalissa lämmön ja sähkön tuotannossa, jossa nettoenergian tuotto on hyvä. Syksyllä 2022 Kemi osti takaisin Kaidille myymänsä tontin, kun laitoksen ympäristölupa kaatui. [Raunio 2017; Hiltula 2022.]

Toinen esimerkki prosessista heikolla energiapanostuksen tuottokertoimella on Yhdysvalloissa tapahtunut maissietanolin tuotanto (Kuva 4), jota päätettiin tukea korvaamaan bensiinin kulutusta. Lopulta maissietanolin tuotannossa on kulutettu fossiilisia polttoaineita muun muassa lannoitteiden ja maatalouskoneiden polttoaineiden muodossa samoja määriä, kuin mitä maissietanolin palaminen auton moottorissa on tuottanut energiaa. Tuotannon EROEI-tunnusluku on eri tutkimusten mukaan lähellä lukua 1. Lisäksi maissietanolin tuottaminen on nostanut ruoan hintaa, sillä ruoan sijaan maissia on ohjautunut bensiinin korvikkeeksi. [Biomassojen koostumus ja ominaisuudet.]



Kuva 5 Maissietanolia valmistava tehdas Nevadassa Yhdysvalloissa [© Charlie Riedel / AP / Lehtikuva].

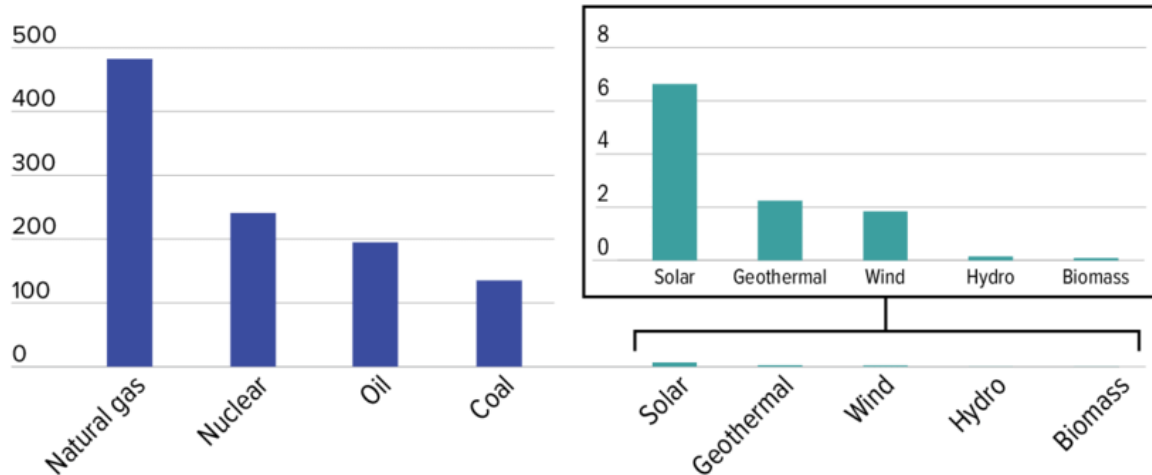
On mahdollista, että energiaa tuotetaan jollakin sektorilla niin, että sen EROEI on alle 1. Tämä tarkoittaa sitä, että jokin toinen energiaylijäämäinen sektori on tukenut eli subventoinut tätä sinänsä kannattamatonta toimintaa. Tästä esimerkkinä voidaan mainita pinnalla oleva vetytalous, jossa ylijäämäisestä tuulivoiman sähkötuotannosta ja runsaasti saatavilla olevasta vedestä tuotetaan elektrolyysin avulla vetyä. Yhden vetykilon tuottamiseksi tarvitaan kymmenen litraa vettä ja noin 55 kilowattituntia sähköä. Vetyä eroteltaessa ja jalostaessa syntyy niin paljon hävikkiä, että alkuperäisestä energiamäärästä voi kadota lähes puolet. Hyötysuhde heikkenee entisestään, kun vety muutetaan takaisin sähköksi. [Viljanen & Rantanen 2023.]

Biopolttoaineet eivät keskimäärin verrattain alhaisen EROEI-luvun vuoksi voi esimerkiksi yksistään mahdollistaa talouskasvua. Mikäli biopolttoaineet olisivat merkittävässä roolissa kaupunkien energiankulutuksessa, myös energiantuotantoon tulisi valjastaa yhä suurempi osa maapallon jäättömästä pinta-alasta. Kaupungeissa energiankulutuksen tehottiheys on sadasta tuhanteen wattia neliometriä kohti kaupungista ja sen alueesta riippuen. Tämä on 100-1000 -kertaisesti suurempi kuin biopolttoaineiden tuotannon tehottiheys. [Biomassojen koostumus ja ominaisuudet.]

Eri energiantuotantomuotojen keskimääräisiä tehottiheyksiä on esitetty kuvassa 5. Kaksi kaaviota esitetään yhden sijaan, koska näiden kahden teknologiaryhmän välillä on huomattava ero tehottiheyksissä. Biomassan tuotannossa energiatiheys on vain 0,1–0,5 wattia neliometriltä. Tässä on laskettu tehottiheys biomassaan yhteyttämisen muodossa sitoutuvan kemiallisen energian suhteena neliometriä kasvatusalaa kohti. Mikäli biomassaa jalostetaan edelleen polttoaineeksi, tapahtuu konversiohäviöitä, jotka alentavat

tehotiheyttä vielä lisää. Voidaan todeta, että fossiilisten polttoaineiden tuotannon tehotiheys on 1000–5000-kertaisesti vähemmän maapinta-alaa vaativaa biopolttoaineisiin nähden.

nähden.

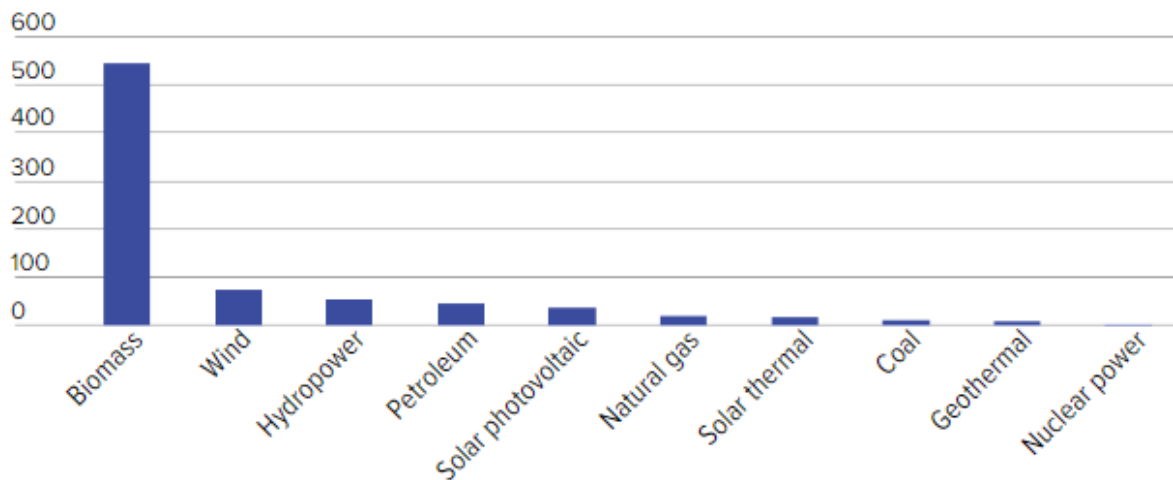


Source: Adapted from Zalk and Behrens 2018.

Kuva 6 Keskimääräisiä tehotiheyksiä fossiilisten polttoaineiden, ydinvoiman ja uusiutuvan energian tuotannolle (W/m<sup>2</sup>) [Saunders 2020: 21].

Kuvassa 6 on ennuste eri sähköntuotantomuotojen maankäytön intensiteetistä vuonna 2030. Arviot sisältävät sekä voimalaitoksen rakentamisen että energiantuotannon kohteena olevan maan eli hiilikaivosten, öljy- ja kaasulähteiden sekä uraani- ja kaivosten tarvitseman maan sekä biomassasatojen viljelyyn tarvittavan maan. Kuva havainnollistaa äärimmäisiä maankäyttövaatimuksia, jos Yhdysvallat viljeli biomassaa sähköntuotannossa suuressa mittakaavassa. Yhdysvaltain laitosten tuottama 4 178 TWh sähköä vuonna 2018 vaatisi lähes 2,3 miljoonaa neliökilometriä maata Yhdysvaltojen 9,5 miljoonan neliökilometrin maa-alalta 100 % biomassasähköjärjestelmää varten. Siis lähes neljäsosa koko maan maapinta-alasta tulisi valjastaa biomassan viljelyyn, mikäli sen sähköntuotanto perustuisi vain biomassaan.

Figure 2. Projected Land Use Intensity of Electricity Generation in 2030 (km<sup>2</sup>/TWh/year)



Source: Mellillo, Richmond, and Yohe 2014, based on McDonald et al. 2009.

Kuva 7 Sähkön tuotannon maankäytön ennustettu intensiteetti vuonna 2030 (km<sup>2</sup>/TWh/vuosi) [Saunders 2020: 22].

Edellä olevista kuvaajista voi päätellä jotain, miksi fossiiliset energiantuotantomuodot kuten öljy ja kivihiili ovat olleet jo vuosisatoja merkittävimpiä energia- ja materiaalilähteitä. Miljoonien vuosien kuluessa kokoon puristuneen biomassan energiasisältö ja käsiteltävyys on omaa luokkaansa muihin energiamuotoihin verrattaessa. Ihminen ei ole keksinyt toista yhtä kevyttä ja turvallista voimanlähdettä kuin öljy, jolla vaikkapa auton saisi liikkumaan yhtä kauas. Jos maailman teollisuus onnistuu siirtymään lähivuosisikymmeninä laajamittaisesti synteettisiin hiilivetyihin ja muihin nyt tunnettuihin uusiutuviin energialähteisiin, olisi kyseessä ensimmäinen kerta, kun maailmantalous siirtyy laajassa mittakaavassa aiempaa tehottomamman energianlähteen hyödyntämiseen. [Af Heurlin 2021.]

## Bioenergian kestävyys ja tulevaisuus

Bioenergian kestävyyskysymykset liittyvät ennen kaikkea maankäyttöön, raaka-aineiden riittävyyteen sekä biomassan polttamisessa vapautuvaan hiilidioksidiin.

Kesäkuussa 2023 päästiin sopuun Euroopan komission päivitetystä esityksestä, jonka mukaan uusiutuvan energian osuuden on oltava vähintään 42,5 prosenttia mutta mielellään 45 prosenttia vuonna 2030. Puupolttoaineiden ansiosta Suomi täytti jo lähes viime vuonna (2022) tämän tavoitteen ja aiempi tavoitetaso, 32 %, täyttyi jo tuolloin vaivatta. Uusiutuvan energian osuus kokonaisenergian käytöstä oli Suomessa vuonna 2022 42 prosenttia, josta valtaosa tuotettiin puupolttoaineilla. [Nuutila & Kokkonen 2023; Energian kokonaiskulutus 2023.]

Bioenergia, luokitellaan hiilidioksidineutraaliksi eli sen ei lasketa lisäävän hiilidioksidipäästöjä. Tämä perustuu siihen, että biomassojen poltossa vapautuva hiili sitoutuu takaisin kasvavaan biomassaan pitkällä aikavälillä. Tosin puun käyttö energianlähteenä voi ilmastonmuutoksen hillitsemisen sijaan pikemminkin kiihdyttää sitä. Kun puuta hakataan ja poltetaan, ilmaan vapautuu hetkellisesti suuri määrä hiilidioksidia. Ajan myötä se sitoutuu kasvavaan puuhun, mutta vauhti on liian hidaskasvu. Ilmastonmuutoksen torjuminen vaatii välitöntä päästöjen leikkaamista. [Bioenergian käyttö; Viljanen & Rantanen 2023.]

Samanlaisia ongelmia liittyy myös biopolttoaineisiin. Liikenteen ilmastopäästöjä on viime vuosikymmeninä vähennetty korvaamalla fossiilisia polttoaineita muun muassa palmuöljystä valmistetulla biodieselillä, sokeriruo'osta valmistetulla bioetanolilla sekä maissista tuotetulla etanolilla. Euroopassa palmuöljyn käyttö liikenteessä on kymmenessä vuodessa kaksinkertaistunut. Raakapuusta valmistetun biopolttoaineen tuottamiseksi täytyy raivata luonnontilaisia sademetsiä, mikä kiihdyttää luontokatoa ja kasvattaa päästöjä. Lisäksi polttoaineen tuottamiseen varatut peltoalat ovat poissa ruoantuotannosta. [Viljanen & Rantanen 2023.]

Erityisesti Euroopassa on jo tehty toimenpiteitä bioenergian haittapuolien ehkäisemiseksi. Muutama vuosi sitten EU ilmoitti kieltävänsä palmuöljyn käytön liikennepolttoaineena vuoteen 2030 mennessä. EU:ssa suhtaudutaan yhä varauksellisemmin myös puun polttoon energiaksi ja syksyllä 2022 parlamentti äänesti raakapuun energiakäytön rajoittamisen puolesta. Parlamentti haluaa rajoittaa ensisijaisen raakapuun, eli kaiken metsässä kaadetun tai muulla tavoin korjatun ja siirretyn raakapuun, käyttöä energiantuotannossa. Kanta on ristiriidassa Suomen pyrkimysten kanssa: Suomessa on ajateltu, että puun polttoa ja metsähakkeen käyttöä on lähivuosina varaa jopa lisätä, kun fossiilisista polttoaineista pyritään eroon. [Viljanen & Rantanen 2023; Sutinen 2022.]

Käytännössä uusiutuvan energian tavoitteisiin voi olla hankala päästä, jos metsätähteiden ja pienpuun käyttöä joudutaan rajaamaan. Keskeisimpiä uusiutuvan bioenergian puuperäisiä biomassoja Suomessa ovat kuitenkin edelleen metsäteollisuuden sivuvirrat eli esimerkiksi mustalipeä, kuori ja purut. Niitä parlamentin katto ei koskisi sillä ne ovat jalostuksen yhteydessä syntyviä sivutuotteita, eivät raakapuuta. [Sutinen 2022.]

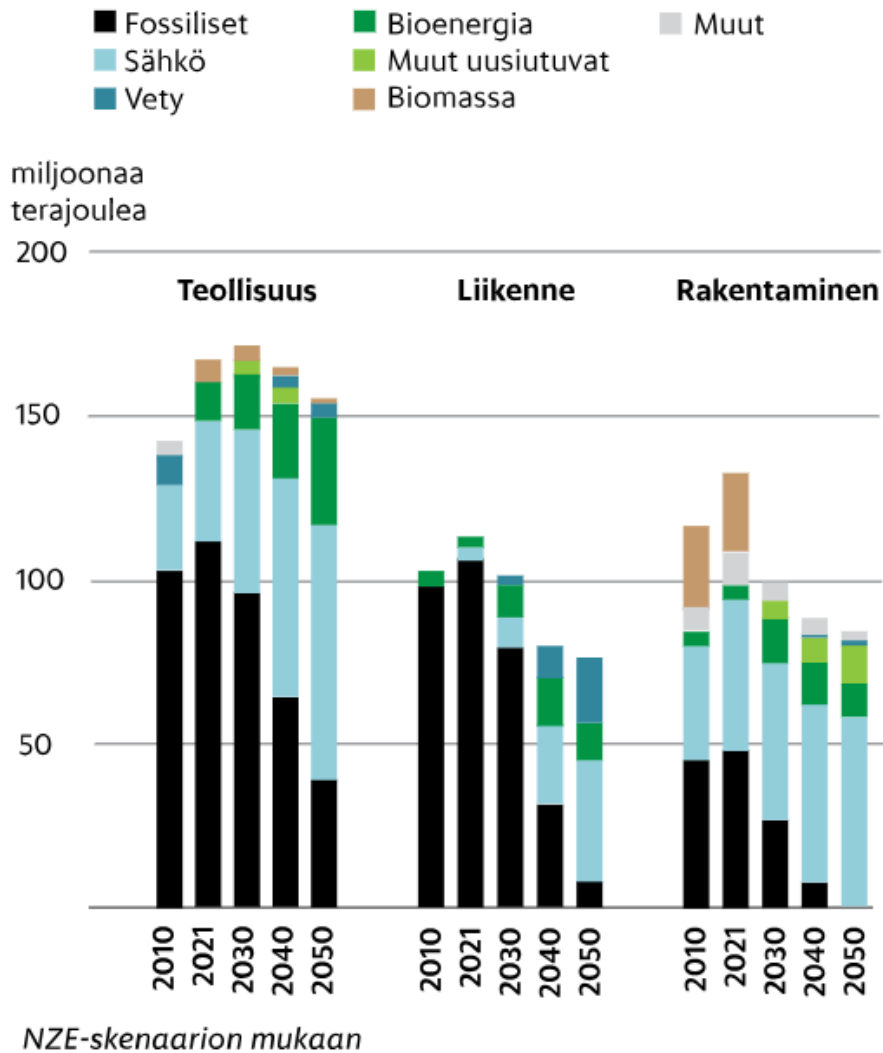
Bioenergiaa voi tuottaa myös kestävästi. Yhä suurempi osa teollisuuden ja maatalouden sivuvirroista jalostetaan energiaksi, lannoitteiksi ja polttoaineiksi. Luonnontilaisten metsien ja peltoalojen sijaan hyödynnetään siis jätettä, joka päätyisi muuten kaatopaikalle. Esimerkiksi Fazerin kauramylyssä syntyy ylijäämänä kaurankuoria, joiden kelpolliset osat käytetään ksylitolin valmistuksessa ja loput bioenergiana. Polttoaineeksi taas sopivat ravintoloiden jäteöljy, eläintuotannon teurasjäte ja kalanjalostuslaitosten perkeet, joista tehdään muun muassa toisen sukupolven biopolttoainetta, HVO-dieselä. [Viljanen & Rantanen 2023.]

Jätteiden käyttämisen heikkoutena on raaka-aineiden niukkuus. Maailmassa kulutetaan vuosittain yli viisi miljardia tonnia (5 000 miljoonaa tonnia) fossiilista öljyä, kun jätteistä syntyy vain noin muutama kymmenen miljoonaa tonnia polttoainetta vuodessa. Biopolttoaineilla on silti tärkeä rooli siellä, missä muiden uusiutuvien energianlähteiden käyttöönotto on hidasta. Esimerkiksi liikenteessä henkilöautot sähköistyvät kovaa vauhtia, mutta raskas liikenne sekä meri- ja lentoliikenne laahaavat jäljessä sillä nykyinen akkuteknologia ei riitä näiden alojen tarpeisiin. Sen sijaan karjan lannasta ja kotitalousjätteistä valmistettu biokaasu sekä paistorasvasta, eläinrasvatähteistä ja muista jätteistä koostuva biodiesel voi paikata tarvetta uusiutuviin vähempipäästöisiin ratkaisuihin siirryttäessä. [Viljanen & Rantanen 2023.]

Bioenergian kestävä tuotannon pitää keskittyä enenevässä määrin teollisuuden ja maatalouden sivuvirtojen hyödyntämiseen eikä neitseellisen biomassan, kuten raakapuun tai viljelmien hyödyntämiseen. Kun esimerkiksi palmuöljyperäisten tuotteiden kysyntä lisääntyy, se lisää

houkuttelevuutta tuottaa niitä lisää. Bioenergian kysynnän kasvu ei saa lisätä painetta muuttaa maata viljelmiksi tuotannon lisäämiseksi.

On mahdollista, että kolmannen sukupolven bioenergiaa tuotetaan tulevaisuudessa myös aivan uusista raaka-aineista, kuten sinilevien sitomasta hiilidioksidista ja ravinteista. IEA:n NZE-skenaarion (The Net Zero Emissions by 2050) mukaan (kuva 7) on oletettavaa, että bioenergia tulee olemaan energiamurroksessa yksi merkittävä osaratkaisu niin teollisuuden, liikenteen kuin rakentamisen sektoreilla.



Kuva 8 Energiamurroksen kehitys eri sektoreilla NZE-skenaarion mukaan [Viljanen & Rantanen].

## Lähteet

Af Heurlin, Alex. 2021. Maailma hukkuu öljyyn. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/visio/art-2000008226482.html>>. Luettu 20.9.2023.

Bioenergia. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/)>. Päivitetty 18.8.2023. Luettu 5.9.2023.

Bioenergian käyttö. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergian\\_kaytto/](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto/)>. Päivitetty 4.8.2023. Luettu 7.9.2023.

Biokaasu. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/biokaasu/](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu/)>. Luettu 18.10.2023.

Biomassojen koostumus ja ominaisuudet. Verkkoaineisto. DIGMA Avoin oppimisympäristö. <<https://www.youtube.com/watch?v=RVCEe3E99Bg>>. Luettu 12.9.2023.

Energiaa metsästä. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_metsasta/](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_metsasta/)>. Päivitetty 2.8.2023. Luettu 16.10.2023.

Energian kokonaiskulutus. 2023. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/energian\\_kokonaiskulutus/](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus/)>. Päivitetty 26.4.2023. Luettu 5.6.2023.

Faktopaketti: Puuenergia. 2019. Verkkoaineisto. Bioenergia Ry. <<https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/03/Faktopaketti.pdf>>. Luettu 17.10.2023.

Hiltula, Kimmo. 2022. Kemi ostaa takaisin Kaidille myymänsä tontin, valtuusto hyväksyi 1,7 miljoonan euron lisämäärärahan. Verkkoaineisto. YLE. <<https://yle.fi/a/3-12648317>>. Luettu 13.9.2023.

Johdanto bioenergiaan. Verkkoaineisto. DIGMA Avoin oppimisympäristö. <<https://www.youtube.com/watch?v=yitBwGCVLAc>>. Luettu 7.9.2023.

Nestemäiset biopolttoaineet. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/nestemaiset\\_biopolttoaineet/](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_biopolttoaineet/)>. Päivitetty 21.4.2023. Luettu 13.10.2023.

Nestemäiset ja kaasumaiset biopolttoaineet. Verkkoaineisto. Bioenergia Ry. <<https://www.bioenergia.fi/tietopankki/biodiesel-ja-biokaasu/>>. Luettu 18.10.2023.

Nuutila, Sakari & Kokkonen, Yrjö. 2023. Kunnianhimoinen tavoite meni läpi: 45 prosenttia EU:n energiasta uusiutuvaksi vuoteen 2030 mennessä. Verkkoaineisto. YLE. <<https://yle.fi/a/74-20037300>>. Luettu 18.9.2023.

Perustietoa bioenergiasta 2022. Verkkoaineisto. Bioenergia ry. <<https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2022/06/Perustietoa-bioenergiasta-kesakuu2022.pdf>>. Luettu 7.9.2023.

Puuenergia. Verkkoaineisto. Bioenergia ry. <<https://www.bioenergia.fi/tietopankki/puuenergia/>>. Luettu 11.9.2023.

Raunio, Helena. 2017. MT: Kemiin suunniteltu Kaidin jalostamo "siirtää liikenteen päästöt laitoksiin ja kasvattaa neljänneksellä". Verkkoaineisto. Tekniikka & Talous.

<<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/mt-kemiin-suunniteltu-kaidin-jalostamo-siirtaa-liikenteen-paastot-laitoksiin-ja-kasvattaa-neljanneksella/ebf45c64-66d6-33e2-85e2-fce9059db0bd>>. Luettu 13.9.2023.

Saunders, Paul. 2020. Land Use Requirements of Solar and Wind Power Generation: Understanding a Decade of Academic Research. Verkkoaineisto.

<[https://www.researchgate.net/publication/345638945\\_Land\\_Use\\_Requirements\\_of\\_Solar\\_and\\_Wind\\_Power\\_Generation\\_Understanding\\_a\\_Decade\\_of\\_Academic\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/345638945_Land_Use_Requirements_of_Solar_and_Wind_Power_Generation_Understanding_a_Decade_of_Academic_Research)>. Luettu 18.9.2023.

Sutinen, Teija. 2022. EU suhtautuu yhä kielteisemmin puun polttoon – Suomessa tuli-linjalla olisivat metsä-hakkeen kasvava käyttö ja puu-poltto-aineiden verotuki. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/politiikka/art-2000009078612.html>>. Päivitetty 25.9.2022. Luettu 7.9.2023.

Tietopankki. Verkkoaineisto. Bioenergia ry. <<https://www.bioenergia.fi/tietopankki/>>. Luettu 6.9.2023.

Turkula, Timo. 2017. Siis häh HVO, FAME, LPG? – Liikennepolttoaineiden koottu sanasto. Verkkoaineisto. Moottori-lehti. <<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/siis-hah-hvo-fame-lpg-liikennepolttoaineiden-koottu-sanasto/>>. Luettu 18.10.2023.

Viljanen, Miina & Rantanen, Kalevi. 2023. Saksalaiset rekat ovat merkki siitä, miten aurinkoenergia valtaa maailman — Näin energiatuotanto mullistuu vuoteen 2040 mennessä. Verkko-aineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/tiede/art-2000009312863.html>>. Päivitetty 19.4.2023. Luettu 1.6.2023.



VIHREÄN  
SIIRTYMÄN  
TUOTEKEHITYS

