

Seinäjoen
ammattikorkeakoulun
julkaisusarja

C

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Risto Lauhanen, Jukka Ahokas, Jussi Esala,
Tuomas Hakonen, Heikki Sippola, Juha Viirimäki,
Esa Koskiniemi, Jussi Laurila & Ismo Makkonen

Metsätoimihenkilön energialaskuoppi

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
C. Oppimateriaaleja 6

Risto Lauhanen, Jukka Ahokas, Jussi Esala,
Tuomas Hakonen, Heikki Sippola, Juha Viirimäki,
Esa Koskiniemi, Jussi Laurila & Ismo Makkonen

Metsätoimihenkilön energialaskuoppi

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

- A. Tutkimuksia Research reports
- B. Raportteja ja selvityksiä Reports
- C. Oppimateriaaleja Teaching materials
- D. Opinnäytetöitä Theses

SeAMK julkaisujen myynti:

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Kalevankatu 35, 60100 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-76-5 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5581 (verkkojulkaisu)

ALKUSANAT

Metsätoimihenkilön energialaskukirja sai alkunsa Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksikössä ja Helsingin yliopiston maataloustieteen laitoksella laadittujen laskuharjoitustehtävien pohjalta. Tehtävien ollessa hajallaan tietokoneiden levyasemilla ja luentoaineistoissa, nähtiin tarpeelliseksi koota materiaalit yhteen kirjaan. Havaittiin myös, ettei metsätoimihenkilöille suunnattua suomenkielistä energia-alan laskuoppikirjaa ole olemassa. Eri hankkeet ja organisaatiot ovat kylläkin tehneet hyviä yleisen tason energiaoppaita metsäenergian hankinnasta ja käytöstä.

Tämä kirja sisältää käytännönläheisiä, ammatillisia laskutehtäviä erityisesti metsäenergian hankinnan ja käytön osalta. Laskutehtävien tarkoituksena on matemaattisen opettamisen lisäksi kuvata asioita ammatillisen osaamisen lähtökohdista. Kirjassa on käsitelty myös turvetta ja peltobioenergiakasveja, koska metsäammattilaisten on tunnettava myös näihin liittyvät suureet ja mittayksiköt.

Oppikirjahanke toi saman pöydän ääreen biotalouden eri toimijoita. Tarkoituksena oli välittää lämpöyrittäjätason ja suuren voimalaitoksen ajatuksia ja toiveita metsäpäähän, koska viime aikoina metsätoimihenkilöitä on alkanut työllistyä suurten energialaitosten organisaatioihin, haketusrenkaisuun ja energiaosuuskuntiin.

Kirja on suunnattu metsätoimihenkilöille sekä alan ammattikorkeakouluihin ja yliopiston kandidaattitason opiskelijoille. Kirjaa tarjoaa hyödyllistä perustietoa myös metsänomistajille ja muille asoista kiinnostuneille.

Kirjan laskut ovat arkielämän esimerkkejä, eikä niissä ole mukana liikesalaisuuksia. Laskuja ei ole tarkoitettu alan sopimusneuvottelujen eikä hinnanomääritysten pohjiksi. On hyvä muistaa, että metsänomistaja, lämpöyrittäjä tai metsäkoneyrittäjä tekee aina omat laskelmansa ja päätöksensä sekä vastaa niistä.

Kirjan tekijät toivovat palautetta sähköisen kirjan kehittämiseksi. Lukujen lopussa on lueteltu lähteitä, joista löytyy teoriaa ja käytännön esimerkkejä laskujen tueksi. Lähteitä voi käyttää myös itseopiskelun lisämateriaalina.

Tekijät kiittävät Metsämiesten Säätiötä oppikirjan toteuttamisen tukemisesta. Lisäksi tekijät kiittävät Suomen metsäkeskuksen aluejohtaja Jorma Vierulaa sekä SeAMK Elintarvike ja maatalous yksikön johtaja Antti Pasilaa suosituksista ja resursseista.

SeAMK Oy:n metsänhoitaja Ossi Vuori sekä Metsäntutkimuslaitoksen tohtori Juha Laitila antoivat arvokkaita ja rakentavia kommentteja oppikirjan käsikirjoitukseen. Juha Laitila antoi luvan energialaskureiden käyttöön. Kirjan taitosta vastasi graafinen suunnittelija Sanna Kontiola.

Seinäjoella 4.9.2014

Risto Lauhanen, Jukka Ahokas, Jussi Esala,
Tuomas Hakonen, Heikki Sippola, Juha Viirimäki,
Esa Koskiniemi, Jussi Laurila & Ismo Makkonen

KIRJOITTAJAT

Risto Lauhanen

MMT, dosentti, metsänhoitaja
Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Jukka Ahokas

professori, TkT, eläkkeellä
Helsingin yliopisto

Jussi Esala

agronomi, MML, yliopettaja
Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Jussi Laurila

MMT, esittelijä
Suomen metsäkeskus, Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueyksikkö, julkiset palvelut

Tuomas Hakonen

MMM, KTM, projektipäällikkö
Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Juha Viirimäki

metsätalousinsinööri amk, projektipäällikkö
Suomen metsäkeskus, Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueyksikkö, julkiset palvelut

Esa Koskiniemi

metsätalousinsinööri amk, hankintainsinööri,
EPV energia

Heikki Sippola

maatalousteknikko, metsäenergian hankinnan apulaispäällikkö, eläkkeellä

Ismo Makkonen

MMM, metsäenergiatutkija
Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Bioenergia-alan dosentti **Risto Lauhanen** toimi hankkeen pääkirjoittajana ja koordinoi työtä. Lauhanen on vuosia opettanut ja tutkinut mm. bioenergia-asioita. Lisäksi hänellä on käytännön kokemusta metsäenergian hankinnasta Metsäliitossa ja yksityismetsänomistajan roolissa.

Professori **Jukka Ahokas** konsultoi projektia energiapuolen teorialaskuissa sekä peltobioenergiakasviasioissa. Ahokkaalla oli tärkeä tehtävä fysiikan käsitteiden tarkistamisessa ja kirjoittamisessa. Jukka Ahokas on ollut aiemmin mm. Vakolassa.

Lisensiaatti, agronomi **Jussi Esala** konsultoi projektia energiapuolen teorialaskuissa sekä peltobioenergiakasviasioissa. Jussi Esala on lisäksi käytännön maanviljelijä.

Tutkija, MMT **Jussi Laurila** toimi energiapuun hankintalogistiikan ja mittauksen asiantuntijana. Jussi Laurila antoi valokuviansa oppikirjaan.

Tutkija, MMM **Tuomas Hakonen** toimi myös energiapuun hankintalogistiikan ja mittauksen asiantuntijana.

Metsänomistaja, hakelämmittäjä ja Suomen metsäkeskuksen projektipäällikkö **Juha Viirimäki** toi lämpöyrittäjäkentän näkemyksen hankkeeseen.

Metsätalousinsinööri ja hankintainsinööri **Esa Koskiniemi** konsultoi oppikirjaan suuren mittakaavan energialaitoksen ja turvealan näkemykset.

MetsäGroupin energiapuolen apulaispäällikkö **Heikki Sippola** on eläkkeellä ja edustaa metsäteollisuuden yleisnäkemyksiä hankkeessa erityisesti metsäenergian hankinnan suunnittelussa.

Metsänhoitaja, MMM **Ismo Makkonen** kirjoitti luvun päästökaupasta.

LYHENTEET JA TERMIT

Kiintokuutiometri (m^3 tai kiinto- m^3)

Suomessa puun tilavuus mitataan ja ilmoitetaan kuorellisina kiintokuutiometreinä. Kuitupuupinossa, rankakasassa tai tukkierässä kiintokuutiometriin kuuluvat puut ilman puiden välisiä rakoja ja vieraita esineitä. Yksittäisen puun tai rungon tilavuus voidaan ilmoittaa myös kuutiodesimetreinä (dm^3) eli litroina.

Pinokuutiometri ($p-m^3$)

Pinokuutiometri sisältää puut ja niiden välissä olevat raot ja ilman. Yksi kiintokuutiometri puuta on 1,5 pinokuutiometriä. Jos siis puupinon kehystilavuus on 1 pinokuutiometri, on kiintotilavuusprosentti 66,7 ja kiintotilavuus 0,7 kiintokuutiometriä.

Irtokuutiometri ($i-m^3$, irto- m^3)

Irtokuutiometri klapeja, pilkkeitä tai haketta vastaa 0,4 kiintokuutiometriä puuta. Irtokuutiot muunnetaan kiintokuutiometreiksi jakamalla hakemäärä luvulla 2,5. Vanhan hakevaraston osalta jakajana voi käyttää lukua 2,2, koska vanhassa hakevarastossa on tapahtunut hidasta palamista eli biomassahävikkiä. Tällöin 100 irtokuutiosta haketta tulee 45,5 kiintokuutiometriä.

Kerrannaisyksiköt:

k = kilo = 1 000

M = mega = 1 000 000

G = giga = 1 000 000 000

T = tera = 1 000 000 000 000

P = peta = 1 000 000 000 000 000

Energian, työn ja tehon yksiköt esitellään varsinaisissa laskuissa.

SISÄLLYS

ALKUSANAT

KIRJOITTAJAT

LYHENTEET JA TERMIT

1	ENERGIA JA BIOENERGIA	11
2	PUU POLTTOAINEENA	16
2.1	Puun kosteus	16
2.2	Puun palaminen	18
3	ENERGIAN MITTAYKSIKÖT ERI POLTTOAINEILLA	23
4	TEHO	29
5	HYÖTYSUHDE	31
6	NETTOENERGIA, ENERGIASUHDE SEKÄ SUORAT JA EPÄSUORAT ENERGIAPANOKSET	33
7	ENERGIAPOTENTIALIT	36
8	ENERGIAPUUKAUPPA JA METSÄENERGIAN HINNOITTELU	40
8.1	Pienpuuhake	41
8.2	Hakkuutähdehake (latvusmassahake)	47
8.3	Kantomurske	48
9	KONEKUSTANNUSLASKENTA	53
10	METSÄHAKKEEN KAUKOKULJETUS - VETTÄ VAI PUUTA	57
11	ENERGIAPUUN MITTAUS	63
12	KORJUUTYÖMAAN TYÖNJÄLKI JA TUKIKELPOISUUS	73
13	METSÄENERGIAN HANKINTASUUNNITE JA -BUDJETTI	80
14	MAATILAN LÄMPÖKESKUSINVESTOINNIT	86
15	PÄÄSTÖKAUPPA	89
16	PUUTUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ	92
	LIITTEET	97

1 ENERGIA JA BIOENERGIA

Risto Lauhanen, Jukka Ahokas & Jussi Esala

Energia tarkoittaa kykyä tehdä työtä. Kun materiaalia poltetaan, vapautuu energiaa. Lämpöä ja sähköä voidaan tuottaa uusiutumattomilla energianlähteillä, kuten öljyllä, kivihiilellä ja maakaasulla. Tällöin puhutaan fossiilisista energianlähteistä. Tuuli- ja vesivoima ovat uusiutuvaa energiaa. Kun energiaa tuotetaan kasvi- ja eläinpohjaisilla raaka-aineilla kuten puulla, oljella, ruokohelvellä, navetan biokaasulla tai grillirasvoilla, puhutaan bioenergiasta, joka on myös uusiutuvaa energiaa.

Puuperäisellä energialla tarkoitetaan metsäenergiaa sekä metsäteollisuuden sivutuotteilla tuotettua energiaa. Metsäteollisuuden sivutuotteita ovat sahanpuru, puunkuori sekä selluloosateollisuuden mustalipeä ja muut jäteliemet. Metsäenergia sisältää pienpuuhakkeen, hakkuutähdehakkeen sekä kannoista ja juurakoista valmistetun murskeen.

Öljyn energiatiheys on suuri. Biopolttoaineen, kuten puun tai oljen energiatiheys on alhainen. Siksi biopolttoainetta mahtuu vähän autokuormaan öljykuljetuksiin verrattuna. Bioenergian kustannustehokas hankintalogistiikka onkin suuri haaste.

Puun tai ruokohelven kosteus laskee biopolttoaineen energiasisältöä. Märkää puuta tai olkea ei voi varastoida pitkään ja se voi pilaantua varastossa, mikä aiheuttaa hankintalogistiikalle lisää haasteita. Bakteeri- ja mikrobitoiminnan takia biomassavarastossa tapahtuu hidasta palamista eli mätänemistä sekä samalla materiaalin hävikkiä. Energia ja työ ovat vuorovaikutuksessa. Energiaa tarvitaan työn tekemiseen ja toisaalta työllä (mm. generaattori) saadaan energiaa.

Matemaattisesti työ (W) on voima (F) kertaa matka (s).

$$W = F \cdot s \tag{1.1}$$

Työn ja energian perusyksikkö on yksi joule (J).

$$[W] = [F] \cdot [s] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \text{ eli joule}$$

Työtä tarvitaan erilaisten vastusten voittamiseen. Metsätraktoriin kohdistuu maastossa vierimisvastus, erityisesti upottavissa oloissa puskuvastus ja rinnevastus mäkeä noustessa. Jos käytössä on kokopuujuonto, tarvitaan työtä puun rungon ja maan välisen kitkan voittamiseen. Kun kappaleen ja alustan välillä

on kitkaa, saadaan kitkan voittamiseksi tarvittavan työn määrä kitkakertoimen (μ) avulla kaavan 1.2 mukaisesti. Kappaleen paino (G) on massa (m) kertaa putoamiskiihtyvyyden (g). Putoamiskiihtyvyyden (g) on maassa noin 10 m/s^2 .

$$W = \mu \cdot G \cdot s = \mu \cdot m \cdot g \cdot s \quad (1.2)$$

ESIMERKKI 1.1

Kun 80 kg :n puukappaletta vedetään tasaisella puualustalla vaakasuoraan $2,0$ metrin matka. Kappaleen ja alustan välinen kitkakerroin (μ) on $0,3$. Kuinka suuri työ tehdään?

Lähtötiedot:

Kappaleen massa on 80 kg .

Matka on $2,0 \text{ m}$.

Kitkakerroin on $0,3$.

Laskenta:

Kaavan 1.2 avulla saadaan: $W = 0,3 \cdot 80 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 480 \text{ J}$.

Vastaus:

Puukappaletta vedettäessä tehdään 480 joulen työ. Kun tasaisella pinnalla tehdään työtä kitkan voittamiseksi, syntyy samalla lämpöä.



Kuva 1.1. Hakkeen poltossa syntyy lämpöenergian lisäksi vettä, hiilidioksidia ja puutuhkaa. Voimalaitosalueen työkonemat kulkevat fossiilisella polttoöljyllä. (Kuva: Jussi Laurila).

Tehtävä 1.1

10 kg:n puulaatikkaa vedetään tasaisella puualustalla vaakasuoraan 3,0 metriä. Laske, kuinka suuri työ tehdään, jos kitkakerroin (μ) on 0,3? Ilmoita tulos jouleina ja kilojouleina.

Yksi joule (J) on yhtä paljon energiaa kuin yksi wattisekunti (Ws): $3\,600\,000\text{ J} = 3\,600\,000\text{ Ws} = 3\,600\text{ kWh} = 1\text{ kWh}$. Joule on siis energian perusyksikkö. Koska yksi joule on tavattoman pieni määrä energiaa, käytetään useimmiten sen monikertoja MJ (1 000 000 J) tai GJ (1 000 000 000 J). Wattituntia pidetään käytännönläheisenä sähköenergian tai puun energiasisällön yksikkönä. Yliopiston tutkijat puhuvat jouleista. Metsäntutkimuslaitoksen Metsätilastollinen vuosikirja käyttää myös jouleja Suomen energiankulutusta tarkasteltaessa (taulukko 1.1). Energialaitosten insinöörit taas puhuvat megawattitunneista tai gigawattitunneista ja metsäammattilaiset puhuvat metsänomistajien kanssa kiinto-kuutiometreistä ja hehtaareista. Energialaskujen ongelmana onkin useiden eri mittayksiköiden käyttö.

Taulukko 1.1. Energian yksiköiden muuntotaulukko.

	MJ	kWh	toe
1 MJ =	1 MJ	0,278 kWh	0,0000238 toe
1 kWh =	3,6 MJ	1 kWh	0,000086 toe
1 toe =	41 900 MJ	11 639 kWh	1 toe

Lyhenne "toe" tarkoittaa ekvivalenttia öljytonnia. Toisin sanoen öljytonnin energiasisältö on 41 900 megajoulea tai 11 639 kilowattituntia.

ESIMERKKI 1.2

Jos öljytonnin energiasisältö on 11 639 kWh ja puukuution energiasisältö on 2,0 MWh, montako kiinto-kuutiometriä puuta vastaa energiasisällöltään yhtä öljytonnia?

Lähtötiedot:

Taulukon 1.1. mukaan 1 toe on 11 639 kWh.

Puukuution energiasisältö on 2,0 MWh.

Laskenta:

1 toe = 11 639 kWh = 11,64 MWh

$11,64\text{ MWh} / 2\text{ MWh} = 5,82\text{ m}^3$.

Vastaus:

5,8 kiintokuutiometriä puuta vastaa energiasisällöltään yhtä öljytonnia.

Huom!

Öljytonni eli 1 000 kg öljyä ei ole sama kuin 1 000 litraa öljyä, koska öljy on kevyempää kuin vesi. Öljytonnissa on noin 1 200 litraa öljyä.

ESIMERKKI 1.3

Kun 100 kg:n kappale ($m = 100$ kg) on kahden metrin korkeudessa ($h = 2,0$ m), sillä on 2 000 joulen asemaenergia eli potentiaalienergia. Alla olevassa kaavassa on g = kappaleen putoamiskiikkyvyys eli maapallolla noin 10 m/s².

$$W = m \cdot g \cdot h \quad (1.3)$$

Kun kappale putoaa, sen asema- eli potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi. Maan pinnan kohdatessaan kappaleella on liike-energiaa. Kun liike päättyy, ovat sekä korkeus (h) että nopeus (v) nolla. Ilmanvastusta ei huomioida tässä yhteydessä.

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1.4)$$

Tehtävä 1.2

Paljonko 1 GJ on kilowattitunteina?

Tehtävä 1.3

Puutavara-auton kuormaimesta putoaa vahingossa 200 kg painava, kuiva risutukki 3,0 metrin korkeudesta kohtisuoraan maahan. Laske, mikä on tukin nopeus juuri ennen maahan iskeytymistä.

Tehtävä 1.4

Säännöstelyaltaassa (esim. 1 km × 2 km × 5 m) on 10 000 000 m³ vettä. Jos allas valutetaan tyhjäksi, kuinka monen omakotitalon vuotuisen sähköenergian 36 m alempana oleva vesivoimala tuottaisi? Oletuksena on, että veden potentiaalienergiasta 50 % muuttuu sähköenergiaksi ja omakotitalon sähköenergian tarve on 5 MWh/v.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. VTT tiedotteita 2045.

Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Berlin: Springer.

Metsäntutkimuslaitos. 2013. Metsätilastollinen vuosikirja. Suomen virallinen tilasto. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

2 PUU POLTTOAINEENA

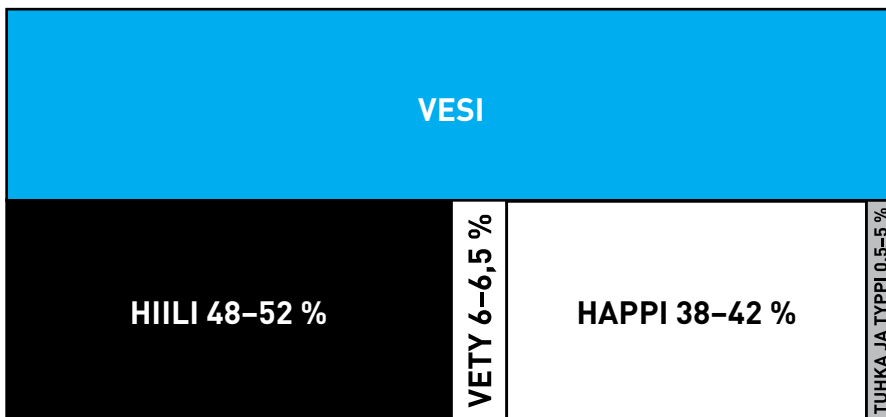
Risto Lauhanen, Jussi Esala & Jukka Ahokas

Puut ja muut vihreät kasvit yhteyttävät auringon valossa vedestä (H_2O) ja hiilidioksidista (CO_2) sokeria eli glukoosia ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) kasvien rakennusaineeksi. Puut muodostavat glukoosista hiilihyaatteja eli selluloosaa, ligniiniä ja hemiselluloosaa. Yhteyttäminen vapauttaa ilmaan happea (O_2) seuraavasti:



2.1 Puun kosteus

Tuoreessa puussa on keskimäärin 50 % vettä ja loput kuiva-ainetta. Kuiva-aineesta on 48–52 % hiiltä, 6,0–6,5 % vetyä ja happea 38–42 %. Loput 0,5–5,0 % on tuhkaa, typpeä ja muita ravinteita. Hiili ja vety ovat biopolttoaineiden keskeiset energiaa tuottavat alkuaineet. (Hakkila 1989).



Kuva 2.1. Puun koostumus (Hakkila 1989). (Kuva:Tuomas Hakonen).

Matemaattisesti puun kosteus (MC) lasketaan puun kuivauksen aikana tapahtuvasta massan muutoksesta:

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (2.2)$$

missä

MC = märkäpainoa kohti laskettu kosteus [%],

m_1 = märän näytteen massa ja

m_2 = kuivan näytteen massa.



Kuva 2.2. Hyvälaatuisen polttohakkeen kosteus on noin 30 %. [Kuva: Tuomas Hakonen].

Toisinaan käytetään ilmaisua kosteussuhde (U). Tässä puun sisältämää vesimäärää verrataan puun kuiva-ainemasaan. Kosteussuhdelukemat ovat siksi aina lukuarvoltaan suurempia. Esimerkiksi kun puun kosteus on 50 %, puun kosteussuhde on jo 100 %.

Kaatotuoreen pienpuun kosteus on männyllä ja kuusella 50 – 60 %, sekä raudus- ja hieskoivuilla 40 – 50 % (Hakkila 1989). Polttohakkeen kosteus vaihtelee vuosittain sääoloista riippuen. Kun puuta haketetaan alkutalvella, on hake kosteimmillaan (noin 40 %). Vastaavasti kesällä saadaan kuivinta haketta, jolloin pinossa kuivuneista puista tehdyn hakkeen kosteus on 30 – 35 %.

Tehtävä 2.1

Kiintokuutiometri puuta painaa 860 kg tuoreena eli 50 prosentin kosteudessa. Jos puukuutiosta on puolet vettä ja kuiva-aineesta on 50 % hiiltä, 6,0 % vetyä ja happea 40 %, paljonko on veden, hiilen, vedyn ja hapen massa puukuutiossa?

2.2 Puun palaminen

Palamiseen tarvitaan palava materiaali, happea sekä sopiva lämpötila. Kun puuta tai muuta biomassaa poltetaan, vapautuu palaessa energiaa ja ilmaan hiilidioksidia ja vesihöyryä. Syömisen jälkeen ihmisen elimistössä tapahtuu hidasta palamista ja samalla vapautuu energiaa. Myös puun lahoaminen on hidasta palamista. Vesi ei pala, koska se on palamistuote.

Kun biomassaa poltetaan, vapautuu energiaa. Esimerkiksi glukoosi palaa seuraavasti (ks. selitykset edellä):



Kun suokaasuna tunnettu metaani eli biokaasu palaa, niin palaminen tapahtuu seuraavasti:



Epätäydellisessä palamisessa heikossa hapessa syntyy häkää:



Puun palamisen periaate on hiilen ja vedyn osalta seuraava:



sekä



Vesi haittaa puun palamista, koska palamisessa puun kosteus höyrystyy. Toisaalta vesipitoisen puun kuljettaminen metsästä voimalaitokselle ei ole taloudellisesti järkevää.

Puun lämpöarvo kuvaa puun energiasisältöä. Mitä kostempaa puupolttoaine on, sen alhaisempi on sen lämpöarvo saapumistilassa.

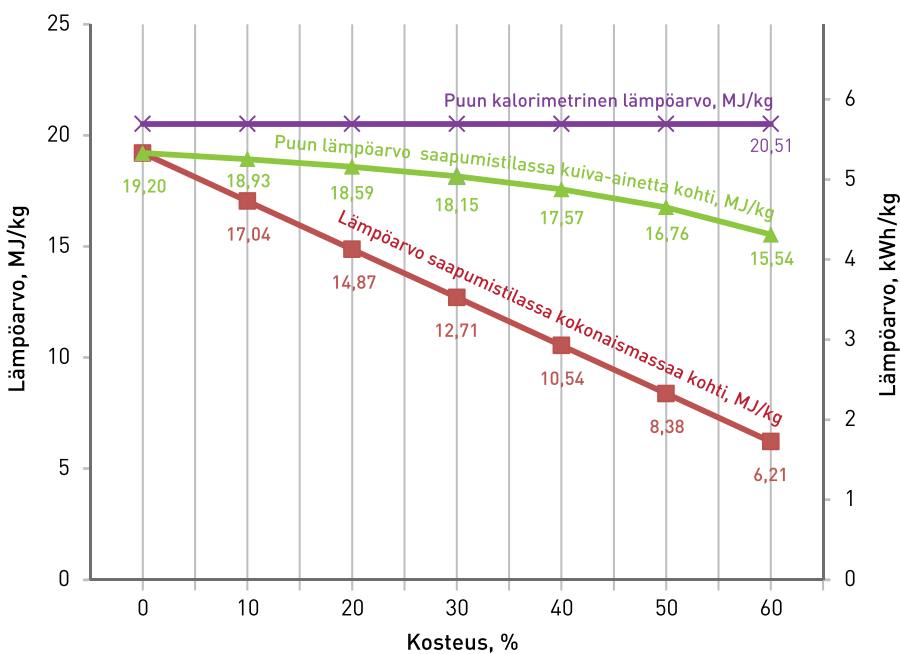
Puun kuivamassaa kohti kalorimetrissä määritetty lämpöarvo eli ylin lämpöarvo on noin 20,5 MJ/kg puulajista ja puun osasta riippuen (kuva 2.3). Kalorimetrinen lämpöarvo saadaan, kun polttoaine palaa lämpöenergiaa tuottaen täydellisesti kalorimetrissä. Mukaan lasketaan myös energia joka saadaan, kun palamis-

kaasut laudutetaan alkulämpötilaan (25 °C) ja vesihöyry tiivistetään vedeksi. Koivun tuohen kalorimetrinen lämpöarvo on noin 33,3 MJ/kg.

Kuivan puun tehollinen lämpöarvo on 19,2 MJ/kg kuiva-ainetta kohti. Tehollisen lämpöarvon määrittelyssä palamiskaasuissa poistuva vesihöyry jää vesihöyryksi, jolloin lukema on vedyn palamisessa syntyvän vesihöyryn höyrystymisenergian verran alempi kuin kalorimetrinen lämpöarvo (kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo). Pienpuun, poltto-hakkeen, hakkuutähteen sekä kantojen ja juurakoiden tehollinen lämpöarvo on 18–20 MJ/kg.

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa eli toimituskosteudessa on alin lämpöarvo. Sitä laskettaessa vähennetään pois energiamäärä, joka kuluu polttoaineen sisältämän ja palamisessa syntyvän veden haihtumiseen. Mitä kosteampaa puu on, sitä pienempi on tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa (kaava 2.8).

Pienpuun tuoremassaa kohti on 20 %:n kosteudessa männyn lämpöarvo 15,0 MJ/kg, kuusen 14,8 MJ/kg ja koivun 15,1 MJ/kg. Kun kosteus on 60 %, ovat lämpöarvot vastaavasti männyllä 6,2 MJ/kg, kuusella 6,2 MJ/kg ja koivulla 6,3 MJ/kg (kuva 2.3). Energiatiheys tilavuutta kohti ilmaistaan yksiköillä MJ/m³ tai kWh/m³ (Taulukko 2.1).



Kuva 2.3. Puun kalorimetrinen lämpöarvo sekä puun lämpöarvo saapumistilassa kuiva-ainetta ja kokonaismassaa kohti. (Hakkila 1989). (Kuva: Tuomas Hakonen).

Puun tai muun biopolttoaineen lämpöarvo saapumiskosteudessa voidaan laskea tarkasti kaavalla 2.8 noin 23 %:n kosteuteen asti. Tätä kuivempaa polttoainetta poltettaessa joudutaan käyttämään hieman palamisessa tuotettua energiaa veden ja polttoainemateriaalin välisten sidosten purkamiseen. Tätä kaava ei ota huomioon.

$$H_{pk} = H_k \cdot (1 - w) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot w, \quad (2.8)$$

missä

H_{pk} = lämpöarvo polttokosteana

H_k = kuiva-aineen lämpöarvo

w = kosteuspitoisuus (märkä) prosentteina.

ESIMERKKI 2.1

Kuivan puun tehollinen lämpöarvo 19,2 MJ/kg. Mikä on puun lämpöarvo, jos puun polttokosteus on 40 %?

Lähtötiedot:

Puun polttokosteus on 40 %.

Puun tehollinen lämpöarvo on 19,2 MJ/kg.

Laskenta:

Sijoitetaan lähtötiedot kaavaan 2.8:

$$H_{pk} = 19,2 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,4) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot 0,4 = 10,5 \text{ MJ/kg}$$

Vastaus:

Lämpöarvo on 10,5 MJ/kg.

Kiintotilavuusyksikköä kohti laskettuna puun lämpöarvot vaihtelevat puulajittain sekä puun kosteuden mukaan (taulukko 2.1). Perimä ja kasvupaikka vaikuttavat puun kosteuteen ja ominaisuuksiin.

Taulukko 2.1. Puun teholliset lämpöarvot (MJ/m³) tilavuutta kohti laskettuna tuoremassaan pohjautuen. Kokopuuhake oli aikanaan taulukon laadinnan tutkimusmateriaalina. Otos ja suomennos Hakkilan (1989) koostamasta taulukosta. Kuusen (20 %) osalta lukuarvo on Lauhasen interpoloima.

Puulaji	Puun kuiva-tuoretiheys (kg/m ³)	Puun kosteus			
		0 %	20 %	40 %	60 %
		Puun tehollinen lämpöarvo (MJ/m ³)			
Mänty	385	7450	7310	6920	6130
Kuusi	400	7430	7225	7020	6210
Koivu	475	9040	8750	8270	7300

Tehtävä 2.2

Kuivan puun tehollinen lämpöarvo 19,2 MJ/kg. Mikä on puun lämpöarvo, jos puun polttokosteus on a) 20 % ja b) 80 %?

Tehtävä 2.3

Polttohakkeen tehollinen lämpöarvo on 19,0 MJ/kg. Laske polttohakkeen lämpöarvo 35 %:n saapumiskosteudessa.

Tehtävä 2.4

Jos kuusen hakkuutähteen polttokosteus on 45 % ja kuiva-aineen lämpöarvo 19,8 MJ/kg, mikä on hakkuutähteen lämpöarvo saapumistilassa?

Tehtävä 2.5

Jos kuusen kantoerän kosteus on 25 % ja kuiva-aineen lämpöarvo 19,1 MJ/kg, mikä on kantoerän lämpöarvo toimituskosteudessa?

Tehtävä 2.6

Muunna taulukon 2.1 teholliset lämpöarvot megawattitunneiksi (MWh/m³) eli metsäammattilaisten ja metsänomistajien kielelle. Puukuutiossa on energiaa 7,2 GJ eli 2 MWh.

Tehtävä 2.7

Jos kuusipuun kuiva-tuoretiheys on 400 kg/m³ ja lämpöarvo 18,6 MJ/kg (kosteus 0 %), mikä on kokopuun korjuussa puukuution lämpöarvo megajouleina (MJ/m³) ja megawattitunteina (MWh/m³)? Puukuutiossa on energiaa 7,2 GJ eli 2 MWh.

Tehtävä 2.8

Koivukuitupuista haketetun polttohakekuorman tilavuus on 140 i-m³ ja kosteus 40 %. Mikä on hake-erän energiasisältö? Tuohen osuutta ei oteta erikseen huomioon. Irtokuutiometri haketta vastaa 0,4 kiintokuutiometriä.

Tehtävä 2.9

Rekkalastillinen (40 t) rankahaketta palaa arinakattilassa. Kuinka paljon on savukaasuissa veden höyrystymisenergiaa, kun hakkeen kosteus on 35 % ja veden höyrystymislämpö 2,5 MJ/kg. Hakkeen kuiva-aineessa on myös n. 6 % vetyä, mutta sen palamistuotteena syntyvää vesihöyryä ei tässä lasketa mukaan.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. VTT tiedotteita 2045.

Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Berlin: Springer.

3 ENERGIAN MITTAYKSIKÖT ERI POLTTOAINEILLA

Risto Lauhanen, Jukka Ahokas & Jussi Esala

Taulukossa 3.1 on esitetty kooste keskeisten polttoaineiden energiasisällöistä ja mittayksiköistä. Öljymäärää mitataan tonneina ja puuta kiintokuutiometreinä tai kilogrammoina. Olkea ja ruokohelpeä mitataan tonneina.

Taulukko 3.1 Keskeisiä polttoaineita, niiden energiasisältöjä ja mittayksiköitä (Alakangas 2000). Otokseen Alakankaan taulukosta on lisätty energiaranka.

Polttoaine	Mitta- yksikkö	GJ	MWh	toe	kg/m ³ tai t/irto-m ³
Raakaöljy	tonni	41,87	11,63	1,00	855
Polttoöljy	tonni	42,50	11,81	1,02	845
Polttoöljy	m ³ , 1 000 l	35,90	10,00	0,86	845
Moottoripolttoöljy	tonni	41,50	11,53	0,99	845
Kivihili	tonni	25,21	7,00	0,60	800
Jyrsinturve	i-m ³	3,24	0,90	0,08	320
Palaturve	i-m ³	5,04	1,40	0,12	380
Sahanpuru	i-m ³	2,16	0,60	0,05	300
Energiaranka	m ³	7,20	2,00	0,17	850
Koivuhalot	p-m ³	5,40	1,50	0,13	400
Sekahalot	p-m ³	4,51	1,25	0,11	350
Polttohake	i-m ³	2,88	0,80	0,07	300
Puupelletti	tonni	16,92	4,70	0,40	690
Havupuun kuori	i-m ³	2,16	0,60	0,05	300
Koivun tuohi	i-m ³	2,52	0,70	0,06	350

Selitykset:

toe = ekvivalentti öljytonni, eli yhden öljytonnin energiamäärä vertailtaessa eri polttoaineita keskenään

m³ = kuutiometri (kiintokuutiometri)

p-m³ = pinokuutiometri

i-m³ = irtokuutiometri

Energiatiheys (δ) saadaan jakamalla massa (m) tilavuusyksiköllä (V) tai pinta-alalla. Lämpöarvo on puolestaan energiasisältö massayksikköä kohti.

$$\delta = m / V \quad (3.1)$$

ESIMERKKI 3.1

Varastoaumassa on 1 000 kuutiota jyrshinturvetta. Mikä on turvemäärän energiasisältö gigajouleina ja megawattitunteina?

Lähtötiedot:

Taulukon 3.1. mukaan irtokuutio jyrshinturvetta sisältää energiaa 3,24 GJ eli 0,90 MWh.

Laskenta:

Energiasisältö gigajouleina: $1\,000 \text{ i-m}^3 \cdot 3,24 \text{ GJ/i-m}^3 = 3\,240 \text{ GJ}$

Energiasisältö megawattitunteina: $1\,000 \text{ i-m}^3 \cdot 0,90 \text{ MWh/i-m}^3 = 900 \text{ MWh}$

Vastaus:

Energiasisältö on 3 240 GJ eli 900 MWh.



Kuva 3.1. Kiintokuutiometri puuta sisältää keskimäärin noin 2,0 MWh energiaa. Kiintokuutiometristä puuta saadaan 2,1–2,5 irtokuutiometriä haketta. Hakekuution energiasisältö on 0,7–1,0 MWh puulajista, vuodenajasta, kosteudesta ja hakkurista riippuen. (Kuva: Jussi Laurila).



Kuva 3.2 Turvetuotanto on tärkeää Etelä-Pohjanmaalla. Keskimääräinen energiaturvesato on vuodessa 425 MWh/ha. (Kuva: Risto Lauhanen).

Tehtävä 3.1

Montako megawattituntia on 20 GJ?

Tehtävä 3.2

Yksi kiintokuutiometri puuta sisältää 2,0 MWh energiaa. Kuinka montaa megajoulea tämä vastaa?

Tehtävä 3.3

Laske paljonko 500 000 kiintokuutiometriä puuta sisältää energiaa?

Tehtävä 3.4

Jos raakaöljytönnin energiasisältö on 11,63 MWh, paljonko öljytönnin energiasisältö on gigajouleina ja jouleina?

Tehtävä 3.5

Varastossa on 1 tonni olkea ja sen kosteus on 40 %. Montako kiintokuutiometriä puuta vastaa energiasisällöltään samaa olkimäärää? Olkitönnin energiasisältö on 9 GJ.

Tehtävä 3.6

Varastossa on 500 irtokuutiometriä palaturvetta. Montako kiintokuutiometriä puuta vastaa energiasisällöltään tuota palaturvemäärää?

Tehtävä 3.7

Pientalon vuotuinen lämmönkulutus on 20 MWh? Paljonko a) haketta b) palaturvetta c) polttoöljyä tarvittaisiin talon lämmittämiseen? Mitä asioita on hyvä huomioida kulutusta arvioidessa?

Tehtävä 3.8

Jos jyrshinturvetta saadaan eteläpohjalaiselta nevalta kesän satona keskimäärin 425 MWh/ha, montako kiintokuutiometriä puuta vastaa samaa energiamäärää?

Tehtävä 3.9

Montako litraa moottoripolttoöljyä traktori kuluttaa tunnissa, jos tunnissa kulutetun moottoriöljymäärän energiasisältö on 1 GJ?

Tehtävä 3.10

Metsäntutkimuslaitoksen (2013) mukaan vuonna 2012 Suomen kokonais-energiankulutus oli 1374 PJ.

- a) Fossiilisten polttoaineiden tilastokulutus oli 573 PJ, ydinvoiman 241 PJ ja puuperäisten energianlähteiden 332 PJ. Paljonko olivat näiden prosenttiosuudet?
- b) Pientalojen puuperäisen energian kulutus oli samana vuonna 6,7 miljoonaa kiintokuutiometriä. Paljonko tämä oli megawattitunteina?
- c) Montako kiintokuutiometriä puuta tarvittaisiin kattamaan Suomen energian kulutus 1374 PJ vuodessa?

Tehtävä 3.11

Mitä seikkoja omakotitalon lämmitysmuodon valinnassa tulee ottaa huomioon? (Ks. Lauhanen ja Laurila 2007).

Tehtävä 3.12

Kuinka suuri määrä puuta kiintokuutiometreinä vastaa energiasisältönsä osalta a) yhtä öljytonnia b) yhtä litraa öljyä?

Tehtävä 3.13

a) Montako irtokuutiometriä klapeja saadaan 100 kiintokuutiometrissä koivukuitupuuta? b) Jos kiintokuution hinta on 30 €/m³, paljonko 150 kiintokuutiometrissä saadaan klapeja ja mikä on klapierän arvo myyntihinnan ollessa 50 €/irto-m³? c) Jos klapikuution hinta heitto- eli irtokuutioina on 60 €/m³, paljonko hinta on kiintokuutiometriä kohti?

Tehtävä 3.14

Pellettien tiheys on 600–700 kg/m³ ja kosteus on noin 10 %. Puupelletti on kiinteää, uusiutuvaa ja kotimaista. Se on energiatihein polttoaineja sen energiasisältö on 4,75 kWh/kg. Puupellettien varastotarve on pieni: 5 tonnia pellettejä (24 000 kWh) mahtuu 7,5 m³:n tilaan. Puupelletit sopivat hyvin omakotitalon ja maatilan lämmitykseen.

a) Jos pellettierän tiheys on 700 kg/m³, paljonko pellettikuutiossa on vettä?
b) Mikä on pellettikuution energiasisältö kohdan a) tiheydellä?
c) Jos omakotitalon vuotuinen energiankulutus on 24 MWh, montako kuutiometriä puupellettejä tarvitaan vuodessa talon lämmittämiseen?

Tehtävä 3.15

Eri polttoaineiden kuluttajahinnat helmikuussa 2014:

a) Kevyen polttoöljyn arvonlisäveroton hinta oli 0,85 €/l.

Hinnassa oli muita veroja ja maksuja 18,95 €/MWh.

b) Kivihiilen keskihinta oli 66 €/t.

c) Metsähakkeen hinta oli 20,80 €/MWh.

d) Puupelletin hinta oli 37,30 €/MWh.

Puuperäisten polttoaineiden hinnat ovat ilman veroja ja maksuja.

e) Palaturpeen hinta oli 23,0 €/MWh.

f) Jyrsinturpeen hinta oli 18,0 €/MWh.

Turpeen hinnassa oli veroja ja maksuja 4,90 €/MWh.

Hinnat, verot ja maksut koskivat lämmöntuotantoa Pöyryn ja Bioenergialehden tilaston mukaan. Laske eri polttoaineiden kuluttajahinnat €/MWh sekä €/GJ? Mikä oli kallein ja mikä edullisin polttoaine?

Tehtävä 3.16

Ajoneuvoyhdistelmän vetoauton lavan pituus on 7,2 m ja perävaunun 10,8 m sekä lavojen korkeudet maasta 1,2 m. Autolla kuljetetaan vaihtoehtoisesti läpimitaltaan ja pituudeltaan 1,2 m olkipyöröpaaleja, kooltaan 0,8 m × 1,2 × 2,4 m olkikantipaaleja tai maksimitilavuuden verran rankahaketta. Auton korkeus voi olla nykyrajojen mukainen 4,4 m. Olkien kosteus on 20 % ja vastaava lämpöarvo 13,5 MJ/kg ja hakkeen kosteus 35 % sekä lämpöarvo 11 MJ/kg. Pyöröpaalien tiheys on 120 kg/m³ ja kantipaalien huippupaalaimilla saavutettava 200 kg/m³. Lasken kunkin kuorman käyttökosteudessa oleva energiamäärä.

LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. VTT tiedotteita 2045.
- Anon. 2014. Polttoaineiden hintataso. 2014. Bioenergia 3.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Berlin: Springer.
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Metla. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 42. [Viitattu 4.7.2014]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>
- Metsäntutkimuslaitos. 2013. Metsätilastollinen vuosikirja. Suomen virallinen tilasto. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Vammala: Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti – Geological Survey of Finland, Report of Investigation 156.
-

4 TEHO

Risto Lauhanen, Jukka Ahokas & Jussi Esala

Kun työn määrää tai energian käyttöä tarkastellaan aikayksikköön suhteutettuna puhutaan tehokkuudesta ja saadaan tehon käsite. Teho (P) on työ (W) jaettuna ajalla (t).

$$P = \frac{W}{t} \quad (4.1)$$

$$[P] = [W] / [t] = \text{J/s} = (\text{N} \cdot \text{m})/\text{s} = \text{watti}$$

ESIMERKKI 4.1

Oletetaan palavan materiaalin sisältävän 100 J energiaa. Kun materiaali poltetaan minuutissa, on teho silloin kaavan 4.1 avulla: $100 \text{ J} / 60 \text{ s} = 1,7 \text{ W}$.

ESIMERKKI 4.2

Jos lämpövoimalan kattilateho on 300 MW, niin 1 tunnissa (3600 s) palaa energiaa kaavasta 3.1 johtuen:

$$\begin{aligned} W &= P \cdot t = 300\,000\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 1\,080\,000\,000\,000 \text{ J} \\ &= 1\,080\,000\,000 \text{ kJ} \\ &= 1\,080\,000 \text{ MJ} \\ &= 1\,080 \text{ GJ}. \end{aligned}$$



Kuva 4.1. Siirrettävä nopeakäyntinen murskain toimii tehokkaasti terminaaleissa ja voimalaitoksilla. (Kuva: Jussi Laurila).

Tehtävä 4.1

Poltetaan 10 kg klapeja. Klapien kosteus on 17 %, jolloin niiden energiasisältö on 15,8 MJ/kg. Laske palamisteho, kun klapeja poltetaan a) 5 minuuttia, b) 15 minuuttia, c) 1 tunti ja d) 24 tuntia.

Tehtävä 4.2

Laske montako autokuormaa polttohaketta pitää tunnissa toimittaa Alholman biovoimalaan, kun autokuorman tilavuus on 140 irtokuutiometriä ja kattilan palamisteho on 500 MW?

Tehtävä 4.3

Laske kokonaismassaltaan 76 t kuorma-auton moottorilta tarvittava teho, kun sillä ajetaan 72 km matka tunnissa tasaisella tiellä. Renkaiden vierimisvastuskerroin on 0,01 ja voimansiirron erilaisiin kitkoihin oletetaan kuluvan 40 kW:n teho ja ilmanvastuksen voittamiseen 120 kW:n. Vierimisvastuksen voittamiseksi tarvittava työ lasketaan vierimisvastuskertoimen avulla kuten on esitetty kitkan osalta kaavassa 1.2.

Tehtävä 4.4

Lämpökeskuksen verkossa on neljä rivitaloa, joissa kaikissa on kuusi asuntoa ja kaksi ovea asuntoa kohti. Rivitaloyhtiö päättää vaihtaa kaikki ulko-ovet energiataloudellisimpiin siten että lämmönläpäisykerroin U ($W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$) laskee arvosta 1,8 arvoon 0,8. Jokaisen oven pinta-ala oletetaan 2 m^2 suuruiseksi. Kuinka paljon laskee talvella $28 \text{ } ^\circ\text{C}$ pakkasella lämpökeskuksen tehon tarve? Oletetaan sisälämpötilaksi $22 \text{ } ^\circ\text{C}$. Entäpä, kuinka paljon säästetään energiaa 6 kuukauden lämmityskaudella, jos koko kauden keskimääräinen lämpötilaero on $30 \text{ } ^\circ\text{C}$?

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. VTT tiedotteita 2045.

Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Berlin: Springer.

5 HYÖTYSUHDE

Jussi Esala, Jukka Ahokas & Risto Lauhanen

Energian tuotannossa palaminen on aina epätäydellistä ja siinä on häviöitä. Palamisen tuloksena saadaan lämpöä, sähköä ja mekaanista työtä hyödyksi. Samalla syntyy hukkalämpöä sekä tuhkaa ja muita palamistuotteita ja savukaasuja.

Käytännössä puhutaan polttomoottorin tai lämpökattilan hyötysuhteesta (η):

$$\eta = \frac{W_{\text{anto}}}{W_{\text{otto}}} \quad (5.1)$$

Esimerkiksi polttomoottorin polttoaineella tuottamasta energiasta (W_{otto}) osa kuluu auton omiin käyttöjärjestelmiin ja häviöihin ja osa saadaan käyttöön auton kulkemiseen. Auton kulkemiseen käytetty antoenergia (W_{anto}) on näin pienempi kuin polttomoottorin ottoenergia.

Paras kokonaishyötysuhde on yleensä energian suorapoltossa. Pellettikattilan hyötysuhde on 85 % ja hakekattilan samaa tasoa, 80–85 %. Klapien poltossa hyötysuhde on noin 80 %. Palakoon kasvaessa hyötysuhde alenee, samoin tapahtuu polttoaineen kosteuden kasvaessa. Hyötysuhteen taso riippuu myös kattilan kuormitusasteesta. Usein korkeimmat hyötysuhteet saavutetaan lähellä suurinta tehoa olevalla kuormitusasteella. Alle 30 % kuormitusasteella pienkattilan hyötysuhde voi polttoaineesta riippuen jäädä jopa alle 50 %.



Kuva 5.1. Lumi ja jää ovat huonoja materiaaleja poltettavaksi. (Kuva: Jussi Laurila).

ESIMERKKI 5.1

Jos hakekattilan hyötysuhde on 80 %, niin silloin haketta tarvitaan vuodessa 125 irtokuutiometriä laskennalliseen määrään 100 irtokuutiometriä nähden.

Tehtävä 5.1

a) Jos haketta tarvitaan laskennallisesti 1 000 irtokuutiometriä, paljonko haketta pitää käytännössä hankkia puskurivarastoon hakekattilan 80 %:n hyötysuhde huomioon ottaen? b) Montako kiintokuutiometriä energiapuuta tarvitaan tämän määrän hakettamiseen, kun hävikkiä ei huomioida?

Tehtävä 5.2

Jos broilerikanala käyttää 120 000 litraa lämmitysöljyä vuodessa, paljonko haketta tarvitaan korvaamaan tämä öljymäärä? Hakekattilan hyötysuhde on 80 %.

Tehtävä 5.3

Kiinteistön maksimi lämpötehon tarve on 50 kW, mutta jostain syystä kattilaksi on valittu 100 kW tehoinen. Lämmityskauden (180 vrk) keskimääräinen lämpötehon tarve on 15 kW, jolloin keskimääräiseksi käyttöasteeksi tulee 15 %. Pientämällä kattila 50 kW:n kokoiseksi käyttöaste olisi 30 %. Nykyisen kattilan käyttökauden keskimääräinen hyötysuhde on 50 % alhaisesta käyttöasteesta johtuen ja pienemmän oikean kokoisen olisi 70 %. Laske kiinteistön lämmityskauden lämmitysenergian tarve ja paljonko säästettäisiin vaihtamalla kattila oikean kokoiseksi. Lämpimän käyttöveden tuotto "unohdetaan" tässä.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. VTT tiedotteita 2045.

Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Berlin: Springer.

Viirimäki, J. (toim.) 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Tampere: Metsäkeskus.

6 NETTOENERGIA, ENERGIASUHDE SEKÄ SUORAT JA EPÄSUORAT ENERGIAPANOKSET

Jukka Ahokas, Jussi Esala & Risto Lauhanen

Nettoenergia tarkoittaa biopolttoaineen, esimerkiksi rypsidieselin tai mäntyöljypohjaisen dieselin energiasisällön ja polttoaineen valmistukseen käytetyn energian erotusta. Erotuksen tulee olla positiivinen eli > 0 , koska toiminta ei olisi muuten järkevää.

Energiasuhde tarkoittaa puolestaan biopolttoaineen energiasisällön ja biopolttoaineen valmistamiseen käytetyn energiamäärän suhdetta. Sen tulee olla > 1 .

Puunkorjuussa **suora energiapanos** tarkoittaa työketjuun käytetyn polttoaineen määrää. Samoin asiaa tarkastellaan viljanpuinnissa puimurin ja traktorin polttoaineen kulutuksen osalta.

Metsäenergian hankinnassa työkoneiden käyttämän polttoaineen energiasisältö on ollut 1,7–3,6 % puupolttoaineen energiasisällöstä. Hakkuutähdehakkeen osalta se on ollut alle 2 %, karsitun rangan osalta noin 2 % ja kokopuuhaakkeen osalta 2,5 %. Kantomurskeella vastaava lukuarvo on ollut 3,0–3,5 %.

Kun tarkasteluun otetaan mukaan maa- ja metsätalouskoneiden valmistukseen käytetty energia sekä peltolannoitteiden tai metsänlannoitteiden valmistukseen käytetty energia, puhutaan **epäsuorista energiapanoksista** tai epäsuorasta energiankulutuksesta. Metsäalalla ei ole julkaistu suomalaisia tutkimuksia tästä aiheesta. Maatalousalalla tutkimuksia ovat julkaisseet mm. Ahokas ja Mikkola (2012).

Pitkäaikaisten investointien, kuten tiestön, metsäojien, peltosalaojien tai ihmistyön energiapanokset oletetaan niin pieniksi, ettei niitä oteta laskelmissa huomioon. Näiden panosten kokoa on toisaalta myös vaikea arvioida.

ESIMERKKI 6.1

Eteläpohjalaisen maatilan ohrasato on 5000 kg hehtaarilla. Sadon energiasisältö on 3457 MWh/ha. Ohran viljelyyn käytettyjen suorien tuotantopanosten energiasisältö (työkoneet, polttoaineet ja siemenet) on 516 MWh/ha ilman maatalouskoneiden ja lannoitteiden valmistamiseen käytettyjä energiapanoksia. Laske ohran hehtaarikohtainen nettoenergia ja energiasuhde.

Nettoenergia: $3457 \text{ MWh/ha} - 516 \text{ MWh/ha} = 2941 \text{ MWh/ha}$

Energiasuhde: $3457 \text{ MWh/ha} / 516 \text{ MWh/ha} = 6,7$



Kuva 6.1. Suorissa energiapanoksissa tarkastellaan työkonteen polttoaineen kulutusta. Epäsuorissa energiapanoksissa otetaan huomioon myös koneen valmistukseen käytetty energia. Näitä verrataan biopolttoaineen energiasisältöön. (Kuva: Jussi Laurila).

Tehtävä 6.1

Jos biopolttoaineen energiasisältö on $29,7 \text{ MJ/kg}$, paljonko on energiapanosten energiasisältö ja nettoenergia, jos valmistusprosessin energiasuhde on $0,5$?

Tehtävä 6.2

Nuoren metsän hoitokohteelta korjatun pienpuun energiasisältö on 100 MWh/ha . Hakkuukone ja kuormatraktori korjaavat urakalla hehtaarin leimikon 9 tunnin työvuorossa. Hakkuukoneen moottoripolttoöljyn kulutus on 10 l/h ja kuormatraktorin 12 l/h . Laske pienpuun nettoenergia ja energiasuhde.

Tehtävä 6.3

Kolmen hehtaarin työmaalta kerätyn kantoerän energiasisältö on 420 MWh . Kaivinkone ja kuormatraktori urakoivat työmaan 9 tunnin työvuorossa 3 päivän aikana. Kaivinkoneen polttoaineen kulutus on 12 l/h ja kuormatraktorin 12 l/h . Mobiilikantomurskain tekee kantoerästä 525 irtokuutiota kantomurskettä. Tähän työhön kuluu 9 tuntia konesiirtoineen. Hake-auto kuljettaa päivässä neljä 140 i-m^3 :n kuormaa kantomurskettä työmaalta voimalaitokselle. Edestakaisen matkan pituus on 40 km . Kantomurskaimen polttoainekulutus on 65 l/h ja hake-auton 50 l/h . Laske kantomurskeen nettoenergia ja energiasuhde.

Tehtävä 6.4

Laske tehtävä 6.3 ottaen mukaan epäsuorat energiapanokset. Hankintakaluston valmistukseen kulunut energia sisältyy epäsuoriin energiapanoksiin. Tämän panoksen oletetaan olevan yhtä suuri kuin traktorin valmistukseen kulunut energia 158,9 MJ/kg (ks. Hakkila 1989, s. 366). Hakkuukoneen massa on 10 t, kuormatraktorin 10 t, kantomurskaimen 36 t sekä hakeauton 20 t. Metsäenergian hankinnassa käytetyn kaluston tekniseksi käyttöiäksi oletetaan 4 vuotta.

Tehtävä 6.5

Eräällä eteläpohjalaisella tilalla kului kasvinviljelyyn vuodessa 6 000 litraa polttoöljyä, 2 000 kWh sähköä, 8 600 kg siemeniä, 3 500 kg lannoitteiden tyyppiä, 600 kg lannoitteiden fosforia, 520 kg lannoitteiden kaliumia ja 32 000 kg kalkkia. Sadoksi saatiin ohraa 150 000 kg, kauraa 60 000 kg ja rypsiä 19 000 kg. Laske tilan energiasuhde. Kasvinsuojeluaineiden energiasisältö sekä koneiden valmistusenergiat jätetään huomioimatta, koska nämä tekijät ovat kohtuullisen pieniä. Energiasisällöt ovat polttoöljy 9,91 kWh/l, tyyppi 13,7 kWh/kg, fosfori 4,3 kWh/kg, kalium 2,7 kWh/kg, kalkki 0,36 kWh/kg, siemenet 5,3 kWh/kg, ohra 4,04 kWh/kg, kaura 4,23 kWh/kg ja rypsi 6,9 kWh/kg.

LÄHTEET

- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer Series in Wood Science. Berlin: Springer.
- Laitila, J., Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3), 465–480.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Pasanen, K. 2012. Hankinnan teknologia, logistiikka ja hiilidioksidipäästöt. Teoksessa: A. Asikainen, H. Ilvesniemi, R. Sievänen, E. Vapaavuori & T. Muhonen (toim.) 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, 171–184.
- Mikkola, H. 2012. Peltobioenergian tuotanto Suomessa. Potentiaalit, energiasuhteet ja nettoenergia. Helsinki: Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. Julkaisuja 10.
- Mikkola, H. J. & Ahokas, J. 2010. Indirect energy input of agricultural machinery in bioenergy production. *Renewable Energy* 35, 23–28.

7 ENERGIAPOTENTIAALIT

Risto Lauhanen, Jussi Esala & Jukka Ahokas

Energiapotentiaali kuvaa tietyssä ajassa ja paikassa tai maantieteellisellä alueella olevan biopolttoaineen energiasisältöä. Määritelmät vaihtelevat tieteenaloittain. Varovaisuusperiaate ja herkkyysanalyysit on hyvä ottaa huomioon potentiaalilaskelmissa. **Teoreettisessa maksimipotentiaalissa** Suomen metsät poltettaisiin yhdellä kertaa energiaksi, mutta ei olisi mitään järkeä tuottaa energiaa yli tarpeen ja hävittää kaikkea polttoraaka-ainetta yhdellä kertaa. Koskiensuojelija haluaisi, että vesivoiman käyttö ei olisi yhteiskunnallisesti hyväksyttävää, jolloin vesivoiman **sosiaalinen energiapotentiaali** olisi nolla. Vastaavasti soidensuojelijan mielestä turpeen sosiaalinen energiapotentiaali on nolla.

Käytännössä tarkastellaan **tekniis-taloudellisia energiapotentiaaleja**, joissa otetaan huomioon teknologisten ja taloudellisten seikkojen lisäksi myös mahdollisuuksien mukaan pellon tai metsän ekologinen kestävyys sekä suojeluarvot. Esimerkiksi Etelä- ja Keski-Pohjanmaan metsäkeskusalueen vuotuinen **metsäenergia-potentiaali** on suojelualueet ja kestävyyskriteerit huomioiden 1,6 TWh eli 800 000 m³.



Kuva 7.1 Nuorten metsien pienpuuharvennukset korostuvat Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan metsäenergian hankinnassa. Pohjanmaan rannikolla, Keski-Suomessa, Savossa sekä Hämeessä metsäenergian hankinnan pääpaino on kuusikoiden hakkuutähteessä ja kannoissa. (Kuva: Jussi Laurila).

Bioenergiapotentiaalilaskelmien tueksi saa metsäkeskuksista ja metsänhoito-yhdistyksistä riittävää paikallistason tietoa puuston hakkuukertymistä, hakkuiden pinta-aloista sekä metsänhoitotarpeista. Peltobioenergiakasvien viljelyaloja koskevaa tietoa saa kunnan maatalousviranomaiselta. Palo- ja pelastustoimi sekä ympäristöhallinto tuntevat kunnan energiaturvesuot.

ESIMERKKI 7.1

Laske taulukon 7.1 avulla kunnan vuotuiset teknis-taloudelliset bioenergiapotentiaalit.

Taulukko 7.1 Kantakunnan vuotuinen bioenergiapotentiaali.

Varttuneiden taimikoiden hoitotarve (hoitoala)	300 ha/a · 50 MWh/ha =	15 000 MWh/a
Nuorten metsien hoitotarve (hoitoala)	500 ha/a · 100 MWh/ha =	50 000 MWh/a
Kuusen uudistamisalojen hakkuutähde	200 ha/a · 110 MWh/ha =	22 000 MWh/a
Kuusen uudistamisalojen kannot	200 ha/a · 130 MWh/ha =	26 000 MWh/a
Ruokohelpi	100 ha/a · 22 MWh/ha =	2 200 MWh/a
Olki (viljan viljelyalasta)	1 000 ha/a · 7 MWh/ha =	7 000 MWh/a
Energiaturve	1 000 ha/a · 425 MWh/ha =	425 000 MWh/a
	YHTEENSÄ	547 200 MWh/a

Kunnan vuotuinen energiapotentiaali on 547 200 MWh eli 547,2 GWh. Tuloksessa on hyvä huomioida $\pm 20\%$:n virhemarginaali.

Tehtävä 7.1

Paljonko esimerkin 7.1 kunnan vuotuinen energiapotentiaali on gigajouleina?

Tehtävä 7.2

- Jos kunta olisi pelkästään kantoenergian varassa, montako hehtaaria kuusikoita pitäisi uudistaa vuodessa energiapotentiaalin saavuttamiseksi?
- Montako hehtaaria energiaturvetta pitäisi tuottaa kunnan energiapotentiaalin saavuttamiseksi?

Tehtävä 7.3

Jos kunnan kokonaisenergiapotentiaali tuotettaisiin oljella, montako peltohehtaaria tarvittaisiin viljan viljelyyn? Viljasato on 3 300 kg/ha. Olkea saadaan korjattua 2 000 kg/ha, jos korjuutappioita ei huomioida. Varastokuivan, kosteudeltaan 20 %:n, oljen energiatiheys on 14,0 GJ/t.



Kuva 7.1. Ruokohelpi on ollut Suomen keskeisin peltobioenergiakasvi. (Kuva: Jussi Laurila).

Tehtävä 7.4

Laske konkurssikunnan vuotuinen bioenergiapotentiaali, kun metsänhoito-yhdistyksen mukaan kunnassa hoidetaan vuosittain varttuneita taimikoita 200 hehtaarilla, nuoren metsän hoitokohteita on 500 hehtaarilla, kuusikoita uudistetaan 100 hehtaarilla, viljaa korjataan 1 000 hehtaarilla ja ruokohelpeä viljellään 10 hehtaarilla. Kunnan energiaturpeet nostetaan kahdelta yhteensä 20 hehtaarin nevalta.

Tehtävä 7.5

Konkurssikunnassa on 1 500 asukasta eli laskennallisesti noin 500 omakotitaloutta. Pääosa asukkaista on omakotitaloissa asuvia vanhuksia. Kunnassa on myös noin 20 maatilaa. Omakotitalon keskimääräinen energian vuosikulutus on 20 MWh. Maatilan lämmitykseen ja viljankuivaukseen kuluu energiaa vuodessa keskimäärin 146 MWh. Joka toisessa taloudessa on yksi auto, jolla ajetaan keskimäärin 10 000 km vuodessa. Auton keskimääräinen polttoainekulutus on 6,0 litraa/100 km. Jokaisella maatilalla on traktori, jolla tehdään vuodessa 300 tuntia töitä. Traktorin polttoainekulutus on 10 litraa tunnissa. Riittääkö kunnan energiapotentiaali kunnan energiankulutukseen?

Tehtävä 7.6

Oletetaan nurmen kasvukauden kestävän 120 vuorokautta. Mittausten mukaan kasvukauden keskimääräinen auringon säteilyteho on 200 W/m^2 (maksimi säteilyteho on noin 1000 W/m^2). Laske, paljonko hehtaarin pinta-alalle kertyy kasvukaudella auringon säteilyenergiaa sekä mikä on fotosynteesin keskimääräinen hyötysuhde, jos nurmisato on Suomessa koeruuduilla mittattua huipputasoa eli 15 t ka/ha . Laske myös paljonko 15% hyötysuhteella toimivat aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa hehtaarin alalta 120 vrk aikana, ja mikä olisi biokaasulaitoksen tuottama sähköenergiamäärä, jos nurmen biokaasun tuotantopotentiaali $400 \text{ m}^3 \text{NH}_4/\text{t}_{\text{org ka}}$ ja laitoksen hyötysuhde sähkön tuotannossa on 40% . Metaanikuution energiasisältö oletetaan olevan 10 kWh .

LÄHTEET

- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2-alueen bioenergiavirrat. Teoksessa: R. Lauhanen & J. Laurila (toim.) Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaustutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 33, 26–48.
- Laurila, J., Tasanen, T. & Lauhanen, R. 2010. Metsäenergiapotentiaali ja energia-puun korjuun resurssitarpeet Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 4, 355–365.
- Luoma, H., Peltonen, S., Helin, J. & Teräväinen, H. (toim.) 2006. Maatilayrityksen bioenergian tuotanto. Helsinki: ProAgria, MTT. Tieto tuottamaan 115.
- Mikkola, H. 2012. Peltobioenergian tuotanto Suomessa. Potentiaalit, energiasuhteet ja nettoenergia. Helsinki: Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. Julkaisuja 10.
- Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Vammala: Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti – Geological Survey of Finland, Report of Investigation 156.

8 ENERGIAPUUKAUPPA JA METSÄENERGIAN HINNOITTELU

Risto Lauhanen & Tuomas Hakonen

Lämmön ja sähkön kulutuskysyntä eli kotitalouksien ja teollisuuden energia-tarve ohjaavat voimalaitosten toimintaa. Noususuhdanteessa ja pakkastalvina energia kulutetaan eniten. Leudot talvet ja teollisuuden laskusuhdanne laskevat energian kysyntää.

Energiamarkkinoita ohjaavat myös toisiaan korvaavien polttoaineiden kysyntä ja tarjonta. Kivihiilen tai polttoöljyn hinnat vaikuttavat energiapuukauppaan. Päästöoikeuden alhainen hinta suosii fossiilisen öljyn tai kivihiilen käyttöä energiapuun kustannuksella.

Metsäenergia on osa puuperäistä energiaa. Tässä luvussa tarkastellaan pienpuuhaketta, hakkuutähdehaketta sekä kantomursketta.

Pienpuuhaketta tehdään karsitusta rangasta ja karsimattomasta kokopuusta. Hakkuutähdehaketta saadaan kuusen uudistamisalojen hakkuutähteestä (latvusmassasta) ja kantomursketta saadaan kannoista ja juurakoista.

Pienpuuhakkeen, hakkuutähdehakkeen ja kantomurskeen hinnoittelun lähtökohtana on voimalaitosten polttoraaka-aineen tarve sekä hinta, jonka voimalaitos pystyy puusta maksamaan. Nämä perustuvat energiamarkkinatilanteeseen. Näin voidaan määrittää kullekin energiapuutavaralajille perushinta, jota korjataan kaukokuljetuksen hinnalla sekä leimikkokohtaisilla hinnoittelutekijöillä.

Suurten voimalaitosten energiapuukauppa on sähköpörssien maailmassa paljon nopeatempoisempaa kuin vuodessa vakiomäärän puuta ostavien lämpösuus-kuntien ja laitosten, joiden kattilateho on alle yhden megawatin.

Energiapuukauppaa tehdään erilaisissa mittayksiköissä. Tästä aiheutuu epäselvyyksiä metsänomistajille. Rankapuuta, hakkuutähteitä tai kantoja ja juurakoita voidaan hinnoitella kiintokuutiona (€/m³) tai irtokuutioina (€/irto-m³). Hinta voi perustua myös energiasisältöön (€/MWh), massa- (€/tonni) tai työmaan pinta-alaan (€/ha).

8.1 Pienpuuhake

Mitä suuremmat hankintakustannukset ovat, sitä vähemmän karsitusta rangasta tai karsimattomasta kokopuusta voidaan metsänomistajalle maksaa.

Pienpuun hankintakustannuksiin vaikuttavat taustaorganisaation puunhankinnan yleiskustannukset, varastointikustannukset, energiapuun peittämisskustannukset, työmaasta (leimikkotekijöistä) riippuvat korjuukustannukset, haketuskustannukset sekä hakkeen kaukokuljetuskustannukset.

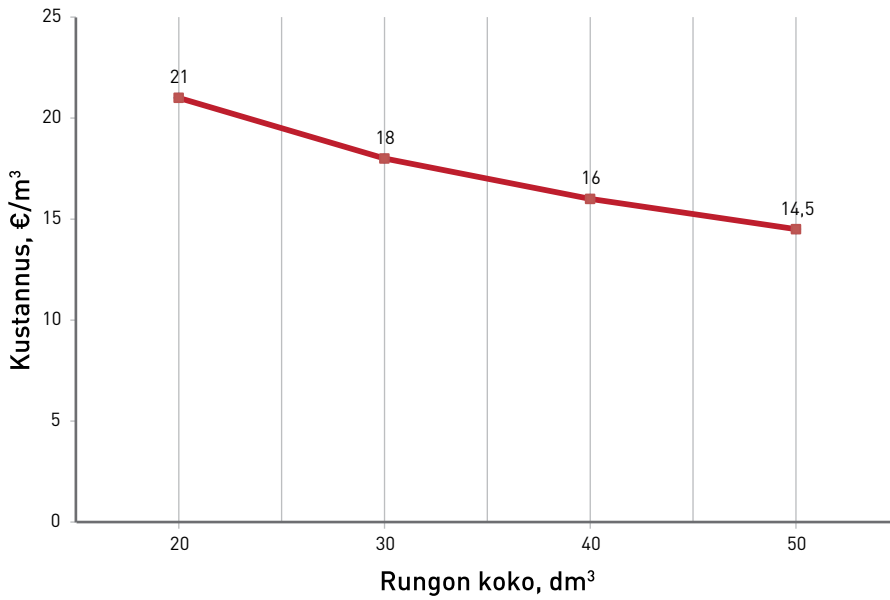
Hankintaorganisaation yleiskulut (atk-, toimisto-, matkakulut, vuokrat, varastojen peittäminen, varastointi) ovat noin 3,00 €/m³.

Leimikkotasolla hakkuupoistuman rungon keskijäreys (dm³) on merkittävin kustannustekijä. Mitä pienempiä runkoja hakataan, sitä hitaammin kuutiometrejä kertyy ja sitä enemmän hakkuutyö maksaa (Kuva 8.1). Jos poistuvan rungon keskikoko on 20 litraa (dm³), on hakkuukustannus 21,00 €/m³. Kun rungon koko on 50 litraa (dm³), on hakkuukustannus 14,50 €/m³.

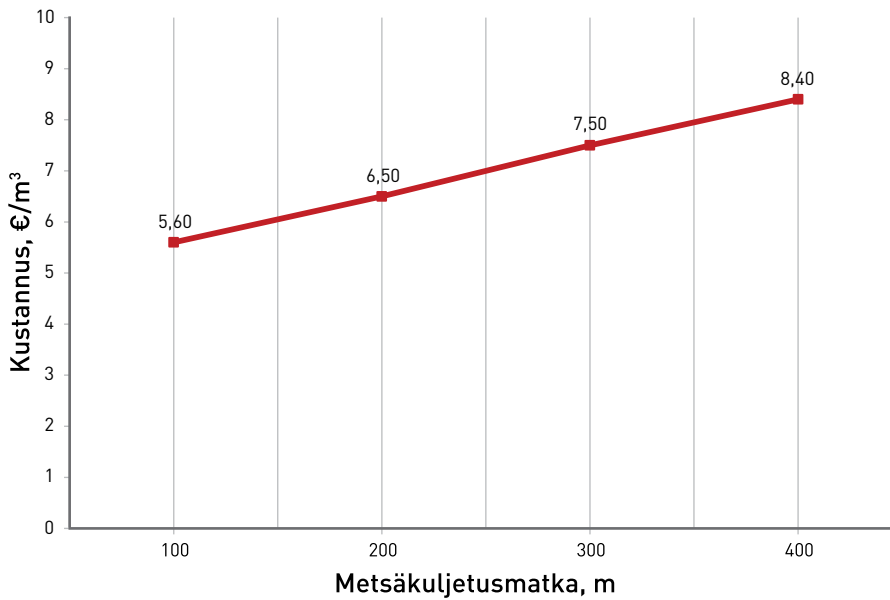
Mitä suurempi on leimikon kokonaishakkuukertymä (leimikon pinta-ala (ha) kertaa hakkuukertymä (m³/ha)), sitä alhaisemmat ovat korjuun yksikkökustannukset. Perusleimikon eli tavoiteleimikon hakkuukertymän ollessa 50 m³/ha on kokonaishakkuukertymän vaikutus korjuukustannuksiin ± 0 €. Hakkuukertymän ollessa 60 m³/ha, on kerroinvaikutus korjuukustannuksiin -1,20 €/m³. Kertymän ollessa 40 m³/ha, on kustannusvaikutus vastaavasti +1,6 €/m³. Koneiden siirto- kustannukset kasvattavat hintoja, mutta toisaalta hakkuukertymän kasvaessa yksikkökustannukset laskevat.

Mitä pitempi metsäkuljetusmatka (m), sitä kalliimpaa metsäkuljetus on kuljettua kiintokuutiometriä kohti. Kun metsäkuljetusmatka on 100 m, on kuljetuskustannus 5,60 €/m³. Kun metsäkuljetusmatka on 400 m, on kustannus vastaavasti 8,40 €/m³ (Kuva 8.2).

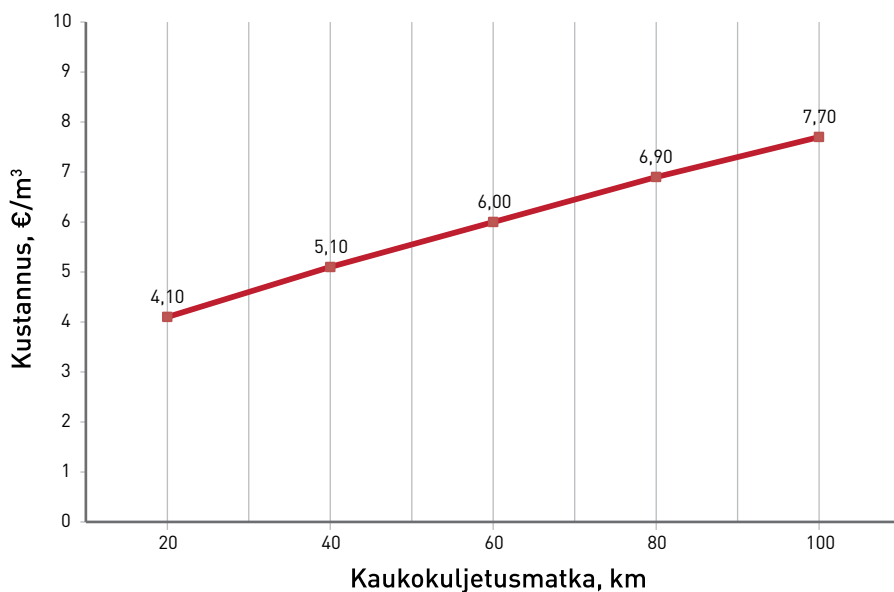
Metsäkuljetusmatkat pitenevät, koska energiapuu kannattaa toimittaa metsästä kantavalle ja avaralle varastopaikalle. Varasto on hyvä sijoittaa tuuliselle paikalle, johon aurinko pääsee hyvin paistamaan. Raskaat hakkurit edellyttävät kantavuutta metsäautoteiltä ja varastopaikkoja. Pienpuun haketuskustannus on ollut noin 5,00–6,00 €/m³.



Kuva 8.1 Rungon koon vaikutus pienpuuhakkeen hankinnan yksikkökustannuksiin. Laskennan teki Risto Lauhanen Juha Laitilan (2005) laskurilla. (Kuva: Tuomas Hakonen).



Kuva 8.2 Metsäkuljetusmatkan vaikutus pienpuuhakkeen hankinnan yksikkökustannuksiin. Laskennan teki Risto Lauhanen Juha Laitilan (2005) laskurilla. (Kuva: Tuomas Hakonen).



Kuva 8.3 Kaukokuljetusmatkan vaikutus pienpuuhakkeen hankinnan yksikkökustannuksiin. Laskennan teki Risto Lauhanen Juha Laitilan (2005) laskurilla. (Kuva: Tuomas Hakonen).

Kaukokuljetus maksaa kuutiometriä kohti sitä enemmän, mitä pitempi kuljetusmatka (km) on metsävarastolta lämpölaitokselle, Kun kaukokuljetusmatka on 40 km, on hakkeen kaukokuljetuksen yksikkökustannus 5,10 €/m³ (Kuva 8.3). Kun matka on 100 km, on kuljetuskustannus 7,70 €/m³.

Korjuu- ja kaukokuljetusajat vaikuttavat myös hankintakustannuksiin. Turve- maiden leimikot on korjattava talvella, kun maa on jäässä. Kesäleimikoita voi korjata myös kesällä kuivaan aikaan. Kelirikkoileimikoiden korjuu ja kaukokuljetus onnistuvat aina.

Hankintakustannuksia on tarkasteltava ensisijaisesti ilman tukia. Pienpuun korjuutuki kompensoi erityisesti kalliita hakkuukustannuksia.

Yhteenvetona Metsäntutkimuslaitoksen mukaan vuonna 2012 kokopuuhakkeen hankintakustannukset ovat olleet 45 km:n kuljetusmatkalla on 32–35 €/m³ ja 90 km:n kaukokuljetusmatkalla yli 40 €/m³.

Taulukko 8.1 Hankintakustannusten osatekijät pienpuuhakkeelle esim. koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus.

Hakkuukustannus		16,00 €/m ³
Metsäkuljetuskustannus		7,00 €/m ³
Haketuskustannus		5,50 €/m ³
Hakkeen kaukokuljetuskustannus		6,00 €/m ³
Yleiskustannukset		3,00 €/m ³
Korjuuaika	talvi:	+1,00 €/m ³
	kesä:	-0,50 €/m ³
	kelirikko:	-1,00 €/m ³
Kaukokuljetusaika	talvi:	+1,00 €/m ³
	kesä:	-0,50 €/m ³
	kelirikko:	-1,00 €/m ³

ESIMERKKI 8.1

Laske leimikon hakkuukertymät sekä kokopuukorjuulle että karsitulle rangalle ensiharvennusmännikössä, kun poistuma on 1 200 runkoa hehtaarilla ja kun poistuma on 1 400 runkoa hehtaarilla. Poistuvan karsitun rungon a) keskiläpimitta on 8,0 cm ja pituus 8,0 m, jolloin rungon järeys on 22 litraa ja b) keskiläpimitta on 11,0 cm ja pituus 10,0 m, jolloin rungon järeys on 50 litraa. Karsimattoman kokopuun järeys on a) kohdan mitoilla 29 litraa ja b) kohdan mitoilla 63 litraa. Karsimattomassa kokopuussa on mukana rungon ainespuun lisäksi oksat sekä puun latvakappale.

Rungon järeydet pohjautuvat Juha Laitilan laskuriin ja Tapion taskukirjaan.

Lähtötiedot:

Hakkuupoistumat ovat 1 200 runkoa/ha ja 1 400 runkoa/ha.

Poistuvan karsitun rungon a) keskiläpimitta on 8,0 cm, pituus 8,0 m ja järeys 22 litraa, b) keskiläpimitta on 11,0 cm, pituus 10,0 m ja järeys 50 litraa.

Kokopuun a) keskiläpimitta on 8 cm, pituus 8 m ja järeys 29 litraa, b) keskiläpimitta on 11 cm, pituus 10 m ja järeys 63 litraa.

Laskenta ja vastaukset:

a) Poistuvan rungon keskiläpimitta 8,0 cm ja pituus 8,0 m

Hakkuupoistuma 1 200 runkoa/ha, karsittu runko:

$$1\,200 \cdot 22 \text{ l} = 26\,400 \text{ l} = 26\,400 \text{ dm}^3 = 26,4 \text{ m}^3$$

Hakkuupoistuma 1 200 runkoa/ha, kokopuu:

$$1\,200 \cdot 29 \text{ l} = 34\,800 \text{ l} = 34\,800 \text{ dm}^3 = 34,8 \text{ m}^3$$

Hakkuupoistuma 1 400 runkoa/ha, karsittu runko:

$$1\,400 \cdot 22 \text{ l} = 30\,800 \text{ l} = 30\,800 \text{ dm}^3 = 30,8 \text{ m}^3$$

Hakkuupoistuma 1 400 runkoa/ha, kokopuu:

$$1\,400 \cdot 29 \text{ l} = 40\,600 \text{ l} = 40\,600 \text{ dm}^3 = 40,6 \text{ m}^3$$

b) Poistuvan rungon keskiläpimitta 11,0 cm ja pituus 10,0 m

Hakkuupoistuma 1 200 runkoa/ha, karsittu runko:

$$1\,200 \cdot 50 \text{ l} = 60\,000 \text{ l} = 60\,000 \text{ dm}^3 = 60,0 \text{ m}^3$$

Hakkuupoistuma 1 200 runkoa/ha, kokopuu:

$$1\,200 \cdot 63 \text{ l} = 75\,600 \text{ l} = 75\,600 \text{ dm}^3 = 75,6 \text{ m}^3$$

Hakkuupoistuma 1 400 runkoa/ha, karsittu runko:

$$1\,400 \cdot 50 \text{ l} = 70\,000 \text{ l} = 70\,000 \text{ dm}^3 = 70,0 \text{ m}^3$$

Hakkuupoistuma 1 400 runkoa/ha, kokopuu:

$$1\,400 \cdot 63 \text{ l} = 88\,200 \text{ l} = 88\,200 \text{ dm}^3 = 88,2 \text{ m}^3$$

Esimerkki 8.1 havainnollistaa, että karsimatonta kokopuuta korjattaessa hakkuukertymä on 26–32 % suurempi kuin karsittua rankaa korjattaessa. Karsittua rankaa korjattaessa korjuu- ja kaukokuljetus onnistuvat ainespuunkorjukseen soveltuvalla kalustolla. Lisäksi haketuksen tuottavuus paranee.

Karsittaessa neulas ja oksat jäävät lahoamaan ravinteiksi metsään. Kokopuun mukana voimalaitokselle voi kulkeutua epäpuhtauksia. Hakkeen palakoko ja kosteus ei ole kokopuussa yhtä tasaista kuin karsitulla rangalla, johtuen kokopuun oksista ja neulasista. Karsittu ranka kuivuu kokopuuta paremmin.

Koska pienten puiden karsista on kallista, käytännössä kokopuun korjuuta suositellaan poistuman osalta 8,0 cm:n kokoisissa puustoissa. Kun puuston läpimitta on 11,0 cm, männikkö on jo kuitupuun hankintaan sopivaa. Tällöin kuitupuun osuus on noin 90 % rungon tilavuudesta Tapion taskukirjan (2002) mukaan.

Tehtävä 8.1

Jos pienpuuhankkeen hankintakustannukset ovat 40 €/m³, paljonko hankintakustannukset ovat megawattituntia kohti?

Tehtävä 8.2

Laske kuvien 8.1, 8.2 ja 8.3 sekä taulukon 8.1 avulla talvikorjuutyömaan hankintakustannukset (€/m³ ja €/MWh), kun hakkuupoistuma on 50 m³/ha, rungon keskijäreys 40 dm³, työmaan metsäkuljetusmatka 200 m ja kaukokuljetusmatka metsätien varrelta lämpölaitokselle 60 km. Talvikohteen korjuu- että kuljetuskustannukset nostavat hintaa 1,00 €/m³. Leimikon pinta-ala on 1,0 ha.

Tehtävä 8.3

Laske kuvien 8.1, 8.2 ja 8.3 sekä taulukon 8.1 avulla työmaan hankintakustannukset (€/m³ ja €/MWh), kun hakkuupoistuma on 60 m³/ha, rungon keskijäreys 50 dm³, metsäkuljetusmatka 100 m ja kaukokuljetusmatka 40 km. Kyseessä on kelirikoleimikko. Talvikohteen korjuu- että kuljetuskustannukset nostavat hintaa 1,00 €/m³. Leimikon pinta-ala on 1 ha.

Tehtävä 8.4

Laske kuvien 8.1, 8.2 ja 8.3 sekä taulukon 8.1 avulla kesäkorjuutyömaan hankintakustannukset (€/m³ ja €/MWh), kun hakkuupoistuma on 40 m³/ha, rungon keskijäreys on 20 dm³, metsäkuljetusmatka 400 m, ja kaukokuljetusmatka 100 km. Kesäleimikossa korjuu- ja kaukokuljetuskustannukset laskevat yhteensä -1,0 €/m³. Leimikon pinta-ala on 1 ha.

Tehtävä 8.5

Mitkä ovat tehtävän 8.4 hankintakustannukset, mikäli metsuri tekee hakkuun? Metsurin päiväkustannus on 200 €. Savottaan menee metsurilta 5 päivää. Koska metsurin ei tarvitse kasata puita, niin metsäkuljetuskustannus on 2 €/m³ suurempi kuin tehtävässä 8.4.

8.2 Hakkuutähdehake (latvusmassahake)

Hakkuutähdehakkeen hankintakustannuksiin vaikuttavat taustaorganisaation yleiskustannukset, työmaasta (leimikkotekijöistä) riippuvat korjuukustannukset, haketuskustannukset sekä kaukokuljetuskustannukset.

Hakkuutähdehakeen hankinnassa hakkuutähdehake kasataan hakkuun yhteydessä. Tämä työkustannus on ollut 0,30 €/m³. Metsäntutkimuslaitoksen mukaan 100 metrin metsäkuljetusmatkalla hakkuutähdehakeen metsäkuljetuskustannus on 5,70 €/m³. 400 metrin metsäkuljetusmatkalla metsäkuljetuskustannus on 7,90 €/m³. (Taulukko 8.2).

Hakkuutähdehakeen haketuskustannus on 8,20 €/m³. Haketuskustannus on suurempi kuin pienpuuhakkeen haketuksessa, koska oksainen latvusmassa on läpimitaltaan pientä. 40 km:n kaukokuljetusmatkalla hakkuutähdehakkeen kaukokuljetuskustannus on 5,70 €/m³ ja 100 km:n kaukokuljetusmatkalla kustannus on 8,30 €/m³. Työn organisointikulut ovat 4 €/m³.

Yhden hehtaarin (1,0 ha) työmaalla hankintakustannus on ollut 27–29 €/m³ eli 13,5–14,5 €/MWh. Kun ainespuukertymä on 225 m³/ha ja kuusikon uudistamisala 2,0 hehtaaria, hakkuutähdehakkeen hankintakustannus on 27–28 €/m³ eli 13–14 €/MWh. Kun hakkuukertymä on 675 m³ (225 €/m³) ja leimikon pinta-ala on 3,0 hehtaaria, hankintakustannus on 25–28 €/m³ eli 12,5–14,0 €/MWh.

Metsäntutkimuslaitoksen mukaan vuonna 2012 hakkuutähdehakkeen hankintakustannus on ollut 45 km:n kaukokuljetusmatkalla on noin 20 €/m³ ja 90 km:n kaukokuljetusmatkalla noin 25 €/m³.

Taulukko 8.2 Hakkuutähdehakkeen hankintakustannusten osatekijät.

Organisaatiokulut:	4,00 €/m ³
Hakkuukustannukset:	0,30 €/m ³
Metsäkuljetuskustannukset:	5,70–7,90 €/m ³
Haketuskustannukset:	8,20 €/m ³
Kaukokuljetuskustannukset:	5,70–8,30 €/m ³
Yhteensä:	25,90–28,70 €/m³ (13,0–14,4 €/MWh)



Kuva 7.3. Metsäkuljetusmatkan kasvaessa hankintakustannukset kasvavat. Kantojen metsäkuljetus on kallista. (Kuva: Jussi Laurila).

8.3 Kantomurske

Kantomurskeen hankintakustannuksiin vaikuttavat taustaorganisaation yleiskustannukset, työmaasta (leimikkotekijöistä) riippuvat korjuukustannukset, kantojen murskauskustannukset sekä kaukokuljetuskustannukset.

Esimerkkitaulukossa 8.3 kuusikon uudistamisalan pinta-ala on 2,0 hehtaaria ja ainespuun hakkuukertymä 500 m³/ha. Kantomurskeen hankintakustannus on 30,60–32,20 €/m³ (Laitila 2007). Metsäntutkimuslaitoksen mukaan 45 km:n kuljetusmatkalla kantomurskeen hankintakustannus on noin 30 €/m³ ja 90 km:n kaukokuljetusmatkalla noin 40 €/m³ vuoden 2012 tilanteessa. Koska kantojen energiatiheys on suuri, niin hankintakustannus per MWh on pienempi kuin hahkuutähdehakeella ja pienpuuhakeella.

Taulukko 8.3 Kantojen ja juurakoiden hankintakustannusten osatekijät.

Organisaatiokulut	3,00 €/m ³
Hakkuukustannukset	7,00 €/m ³
Metsäkuljetuskustannukset	8,60–10,20 €/m ³
Kaukokuljetuskustannukset	10,00 €/m ³
Käyttöpaikkamurskaus	2,00 €/m ³
Yhteensä:	30,60–32,2 €/m³ eli 13,90–14,60 €/MWh

Kun toimitetaan energiapuuta suurelle lämpölaitokselle, leimikon hinnoittelu perustuu kuorellisen puun ostohintaan kiintokuutiometreinä. Ostohinta määräytyy sen mukaan, paljonko energialaitos maksaa raaka-aineen energiasisällön eli megawattituntimäärän perusteella hankintaorganisaatiolle.

Mitä suuremmat ovat energiapuun tapauskohtaiset hankintakustannukset, sitä vähemmän energiapuun myyjälle maksetaan.

Puun hintaan vaikuttavat myös korjuu- ja kaukokuljetusaika. Talvella suometsien korjuu on kalliimpaa kuin koko vuoden kantavilla metsänpohjilla. Lisäksi tuet ja niiden kohdentaminen vaikuttavat hinnoitteluun.

Esimerkeissä ei tarkastella puuperäisen energian hinnoittelua eli eri toimijoiden välistä sivutuotekauppaa.

Metsää omistavalle lämpörittäjälle maksettu hinta voi perustua pienpuuhakkeen energiasisältöön. Suurten voimalaitosten, metsäyhtiöiden ja metsänhoitoyhdistysten metsänomistajille maksamat hinnat perustuvat kiintokuutiometreihin.

Tehtävä 8.6

Voimalaitos maksaa karsitusta rangasta 2,50 €/MWh, jos nuoren metsän hankintakohde ei ole tukikelpoinen. Jos hakkuu-, metsäkuljetus-, haketus-, kaukokuljetus- ja yleiskustannukset ovat yhteensä 32 €/m³, paljonko kokonaihankintakustannukset ovat kiintokuutiometriä ja megawattituntia kohti?

Tehtävä 8.7

Nuoren metsän hoitokohteen pinta-ala on 5,0 hehtaaria. Montako kiintokuutiometriä pienpuuta saadaan kohteesta, kun hakkuukertymä on 30–60 m³/ha? Paljonko on hakkuukertymän energiasisältö megawattitunteina?

Tehtävä 8.8

Seinäjoella sijaitsevan kahden hehtaarin kuusikon uudistamisalalta kertyy kuusitukkuja ja kuitupuuta puukauppa-arviossa 200 m³/ha. Laske metsäenergiaksi saatavan hakkuutähteen määrä, jos se on 20 % ainespuun määrästä. Laske myös kantojen ja juurakoiden määrä, jos niiden osuus on 25 % ainespuukertymästä.

Tehtävä 8.9

Hausjärvellä sijaitsevan kahden hehtaarin kuusikon uudistamisalalta kertyy kuusitukkaa ja kuitupuuta puukaupan arviossa yhteensä 400 m³/ha. a) Arvioi metsäenergiaksi saatavan hakkuutähteen määrä, jos se on 25 % ainespuun määrästä sekä kantojen ja juurakoiden määrä, jos niiden osuus on 28 % ainespuukertymästä? b) Paljonko hakkuutähte sekä kannot ja juurakot sisältävät energiaa megawattitunteina?

Tehtävä 8.10

Nuoren metsän hoitokohteesta kertyy pystykaupassa energiapuuta arviolta 45,0 m³/ha. Työmaan pinta-ala on 3,0 hehtaaria. Metsänomistaja saisi pinta-alamatukea 252,50 €/ha. Ostaja tarjoaa myyjälle energiapuusta 3 €/m³ edellyttäen, että pinta-alamatuki ja korjuutuki jäävät ostajalle. Kumpi on metsänomistajalle parempi vaihtoehto a) ottaa pelkkä pinta-alamatuki itselle vai b) ottaa pystykaupassa tarjottu hinta 3 €/m³? Tehtävässä ei ole oteta huomioon veroja.

Tehtävä 8.11

Kolmen hehtaarin uudishakkuualalta kerätään latvusmassaa ja kantoja. Pystykaupassa kertyi kuusitukkaa ja -kuitupuuta 300 m³/ha. Kumpi on parempi vaihtoehto metsänomistajalle a) ostaja tarjoaa metsänomistajalle latvusmassasta 20 €/ha ja kannoista 20 €/ha eli yhteensä 40 €/ha vai b) ostaja tarjoaa metsänomistajalle latvusmassasta 2,50 €/m³ ja kannoista 2,50 €/m³? Hakkuutähteen osuus hakkuukertymästä on 20 % ja kantojen 25 %.

Tehtävä 8.12

Suuri voimalaitos tilittää metsäyhtiöllesi hankkimasi rankapuun energiasisällön mukaan 25 €/MWh. Ostat pystykaupalla 2,0 hehtaarin leimikon, jolta energiapuukertymä on 100 m³ eli 50 m³/ha. Pystykaupassa hankintakustannus on 40 €/m³ metsästä lämpölaitokselle. Tämä kustannus kattaa puunkorjuu-, varastointi-, haketus-, kuljetus- ja organisaatiosi hallintokustannukset. Puun kantohinta on 0 €/m³. Tilität pinta-alamatuen (252,50 €/ha) metsänomistajalle sekä korjuutuen 7 €/m³ hakkuukoneyrittäjälle. Yhtiösi saa toteutusvelvitystukea 51 €/ha. Laske puukaupan kate metsäyhtiösi osalta.

Tehtävä 8.13

Kannattaako tehtävän 8.11 tilanteessa maksaa rankapuusta ja ottaa pinta-alamatuki metsäyhtiölle? Kantohintaa maksetaan 5 €/m³? Laskelmat tehdään ilman veroja.

Tehtävä 8.14

Metsänomistaja Matti Virtanen myy yhtiölle pystykaupalla 5,0 hehtaarin nuoren metsän hoitokohteelta karsittua rankaa. Rahoitustukikelpoisen kohteen hakkuukertymä on 45,0 m³/ha. Mikä ostajan tarjoama vaihtoehto kannattaa Matti Virtaselle parhaiten:

- a) Virtanen saa rangasta 7 €/m³, mutta ei saa mitään tukia?
- b) Virtanen saa rangasta 0 €/m³, mutta saa pinta-alatuen 252,50 €/ha?
- c) Virtanen saa rangasta 0 €/m³, mutta saa korjuutuen 7 €/m³?
- d) Virtanen saa rangasta 1 €/m³, mutta saa puolet 252,50 €/ha pinta-alatuesta?
- e) Virtanen saa lämpötilin 20 €/MWh, mutta ei saa kantohintaa eikä tukia?
- f) Miten tilanne muuttuu, jos Virtanen joutuisi maksamaan parhaassa kauppavaihtoehdossa kohteen osittaisen ennakkoraivauksen 250 €/ha?

Tehtävä 8.15

Eräs kauppaliike myy klapeja 40 litran laatikoissa, joiden hinta on 3,49 €. Laske puun hinta kiintokuutiometriä kohti.

LÄHTEET

- Hulsi, V. , Hakonen, T. , Lauhanen, R. & Laurila, J. 2013. Metsänomistajien energiapuun myyntihalukkuus Etelä- ja Keski-Pohjanmaan metsäkeskusalueella. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 71.
- Laitila, J. 2005. Pienpuuhakkeen hankintakustannuslaskuri.
- Laitila, J. 2007. Hakkuutähdehakkeen hankintakustannuslaskuri.
- Laitila, J. 2009. Kantojen ja juurakoiden hankintakustannuslaskuri.
- Lauhanen, R. Laitila, J. , Laurila, J. & Asikainen, A. 2007. Pienpuuhakkeen hankintakustannukset Etelä-Pohjanmaan tavoite 2-alueella. Teoksessa: R. Lauhanen & J. Laurila (toim.) Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaus tutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 33, 49 – 67.
- Lauhanen, R. , Laurila, J. & Laitila, J. 2010. Kemera-tukien vaikutus nuoren metsän hoidon erilliskannattavuuteen eri kauppavaihtoehtoisissa Etelä-Pohjanmaalla. Teoksessa: T. Sauvula-Seppälä, E. Ulander & T. Tasanen (toim.). 2010. Kehittyvä metsäenergia. Tutkimusseminaari Seinäjoen Framissa 18.11.2009. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 33, 37 – 46.

- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2007. Kannonnoston ja metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. Teoksessa: R. Lauhanen & J. Laurila (toim.) Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaustutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 33, 68–92.
- Lepistö, T. (toim.) 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. 2. uud. p. Seinäjoki: Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus.
- Tapio. 2002. Tapion taskukirja. 24. uud. p. Helsinki: Metsälehti.
- Tapio. 2010. Energiapuun korjuu ja kasvatust. Helsinki: MetsäKustannus.
- Viitasaari, T. (toim.) 2013. Energiapuuta päätehaakuulta -opas. Kestävä metsäenergia -hanke. Seinäjoki: Metsäkeskus.
- Ämmälä, M. (toim.) 2012. Pilketuotanto-opas. Kestävä metsäenergia -hanke. Tampere: Metsäkeskus.
-

9 KONEKUSTANNUSLASKENTA

Risto Lauhanen

Metsäkonetyön kustannukset koostuvat muuttuvista kustannuksista ja kiinteistä kustannuksista. Muuttuvat kustannukset ovat työmäärään perustuvia kustannuksia, kuten työ- ja polttoainekustannuksia. Kiinteitä kustannuksia ovat muun muassa pääomakustannukset, vakuutukset sekä toimistokulut ja kirjanpito-kustannukset, joita kertyy vaikkei koneella tehtäisi työtä lainkaan. Metsäalalla on yleisesti käytetty toiminnan riskitasona 5 prosentin korkoa.

Konekustannuslaskelmia voidaan käyttää käytännön päätöksenteon ja opiskelun apuvälineinä. Päätöksenteon tueksi on hyvä laatia useita eri herkkyysanalyseja, joissa seurataan yksittäisten kustannustekijöiden vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Tutkijat laativat laskelmia esimerkiksi uusien metsäkoneiden kustannuksista, mutta kukin yrittäjä on kuitenkin itse vastuussa kustannuslaskelmistaan ja päätöksistään.

Liitteessä 1 on esitetty konekustannuslaskelmataulukko, joka perustuu Metsän-tutkimuslaitoksessa vuonna 1993 laadittuun LA-MA 10 -ojakaivurin laskenta-pohjaan. Tiedot on päivitetty Laitilan ym. (2010) tutkimuksen tiedoilla liittyen metsäenergian hankinnassa käytettyihin kustannustietoihin. Hakkuukoneen käyttötuntikustannus on noin 80 €, metsätraktorin (kuormatraktorin) noin 60 € ja hakkurin noin 150 €.



Kuva 9.1. Työmaan ennakkoraivaus helpottaa hakkuutyötä. (Kuva: Jussi Laurila).

Tehtävä 9.1

Liite 1:n peruslaskelmassa kuormatraktorin hinta on 225 000 €, käyttötuntikustannus 63 €/h ja vuotuiset käyttökustannukset 156 190 €. Laske kuormatraktorin vuosikustannukset kuutiometriä kohti, jos koneen tuottavuus on a) 10 000 m³/a, b) 25 000 m³/a tai c) 40 000 m³/a? Laske edelleen eri vaihtoehdoilla, paljonko energiapuuta kuljetetaan tunnissa kiintokuutiometreinä.

Tehtävä 9.2

Laske tehtävän 9.1 ja liitteen 1 perusteella :

- Paljonko työvoima-, pääoma- sekä polttoainekustannusten osuus on prosentteina laskelman lopputuloksesta?
- Laske käyttötuntikustannus (€/h) ja vuotuiset käyttötuntikustannukset (€/a), jos koneen hankintahinta olisi 250 000 €.

Tehtävä 9.3

Koneen hankintahinta on 225 000 €, eli peruslaskelmassa käyttökustannukset ovat 63 €/h. Koneseisokkien takia koneen vuotuinen käyttöaika on 2000 tuntia. Laske käyttökustannukset (€/a) ja vuotuiset käyttötuntikustannukset (€/h).

Tehtävä 9.4

Jos työntekijöiden palkka nousisi peruslaskelmassa euron tunnissa, mitkä olisivat Liite 1:n laskelman käyttötuntikustannus (€/h) ja vuotuiset käyttötuntikustannukset (€)?

Tehtävä 9.5

- Jos autohakkurin käyttötuntikustannukset ovat 150 €/h, ja haketustyön tuottavuus 85 m³/h, paljonko maksaa irtokuution haketus?
- Jos autohakkurin käyttötuntikustannukset ovat 150 €/h, ja haketustyön tuottavuus 100 m³/h (irto-kuutiometreinä), paljonko maksaa irtokuution haketus?

Tehtävä 9.6

Tutustu seuraavalla sivulla olevaan hakkurin käyttötuntilaskelmaan. Mitä erityistä siinä ilmenee? Mikä on vuotuinen käyttökustannus (€/a) ja käyttötuntikustannus €/h?

Hakkurin käyttötuntilaskelma

Bioenergialiiketoiminta ja lämpöyrittäjyys kevät 2011 (Risto Lauhanen)

Laitilan ym. 2010 SF44(3) sekä LA-MA10 kaivuritutkimus (Lauhanen & Takalo 1993) pohjalta

TAUSTATIEDOT

Hankintahinta	400000 €
Työmaa-aika	4010 h/a
Käyttöaika (käyttöaste 65%)	2606,5 h/a
Tuntityöaika	1403,5 h/a
Käyttökä	11925 h
Pitoaika	4,6 a
Polttoaineen kulutus	64,9 l/h
Hydrauliikkaöljyn kulutus	0,2 l/h
Voiteluaineen kulutus	0,2 l/h
Vuotuinen arvonalennusprosentti	18 %
Jäännösarvo	160000 €
Poistoarvo	240000 €
Korkoprocentti (vieras pääoma)	6,6 %

TYÖKUSTANNUKSET

Tuntipalkkaryhmä D, 4. palkkausalue

Välittömät työkustannukset:

Urakkatyöpalkka	11,9 €/h	2606,5 h/a	31017 €/a
Tuntityöpalkka	9,0 €/h	1403,5 h/a	12632 €/a
Kylmäasennuslisä	2,0 €/h	100 h/a	200 €/a
Likaisentyönlisä	2,4 €/h	1403,5 h/a	3368 €/a
Yhteensä			47217 €/a

Välilliset työkustannukset

sosiaalipalkka	29,73 %	14038 €/a	
sosiaalimaksut	26,58 %	0,31	18989,03 €/a
Yhteensä		14228 €/a	33027 €/a

Yhteensä välittömät ja välilliset

80244 €/a

MUUTTUVAT KUSTANNUKSET

Polttoainekustannus	0,97 €/l		163961 €/a
Hydrauliikkaöljykustannus	0,9 €/l		469,17 €/a
Voiteluainekustannus	0,9 €/l		469 €/a
Korjaus- ja huoltokustannukset			
20 % pääoman poistosta			33832 €/a
Kulkemiskorvaus	0 km/a	1,35 €/km	0 €/a
Lavettisiirrot			
Yhteensä			198731 €

KIINTEÄT KUSTANNUKSET

Työkustannukset			80244 €/a
Pääoman poisto			52174 €/a
Pääoman korko			18480 €/a
Keskimääräinen sidottu pääoma on kaikki vierasta pääomaa ja se on hankintahinnan ja jäännösarvon keskiarvo			280000 €/a
Vakuutusmaksut (palo, liikenne, varkaus, vastuu)			8173 €/a
Hallintokustannukset			
Oman auton käyttö	22500 km/a	0,44 €/km	9900 €/a
Yleiskustannukset (GSM-puhelin, kirjanpito, sähköt, vuokrat)			8000 €/a
Yhteensä kiinteät kustannukset			176971 €/a

KIINTEÄT JA MUUTTUVAT KUSTANNUKSET YHTEENSÄ

375702 €/a

Toiminnan riski 5 % 0,05 18785 €/a

KOKONAISKUSTANNUKSET YHTEENSÄ

394487 €/a

KÄYTTÖTUNTIKUSTANNUS

151 €/h

LÄHTEET

- Laitila, J. , Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3), 465 – 480.
- Lauhanen, R. & Takalo, T. 1993. Yksitelainen LA-MA 10 -kaivuri metsäojien perkauksessa. Abstract: LA-MA 10 single-track backhoe in forest ditch cleaning. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 458.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2007. Kannonnoston ja metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. Teoksessa: R. Lauhanen & J. Laurila (toim.) Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaustutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 33, 68 – 92.
- Picchi, G. , Lauhanen, R. & Spinelli, R. 2009. Productivity of two configurations of Heinola TT-97 RMS chipper and logistics comparison. Consiglio Nazionale Delle Ricerche. Ivalsa. Istituto per la valorizzazione del legno e delle specie arboree. Trees and timber institute. Poster. FORMEC'09. June 21st – 24th 2009, Kostelec n. C.I. / Prague – Czech Republic.
-

10 METSÄHAKKEEN KAUKOKULJETUS – VETTÄ VAI PUUTA

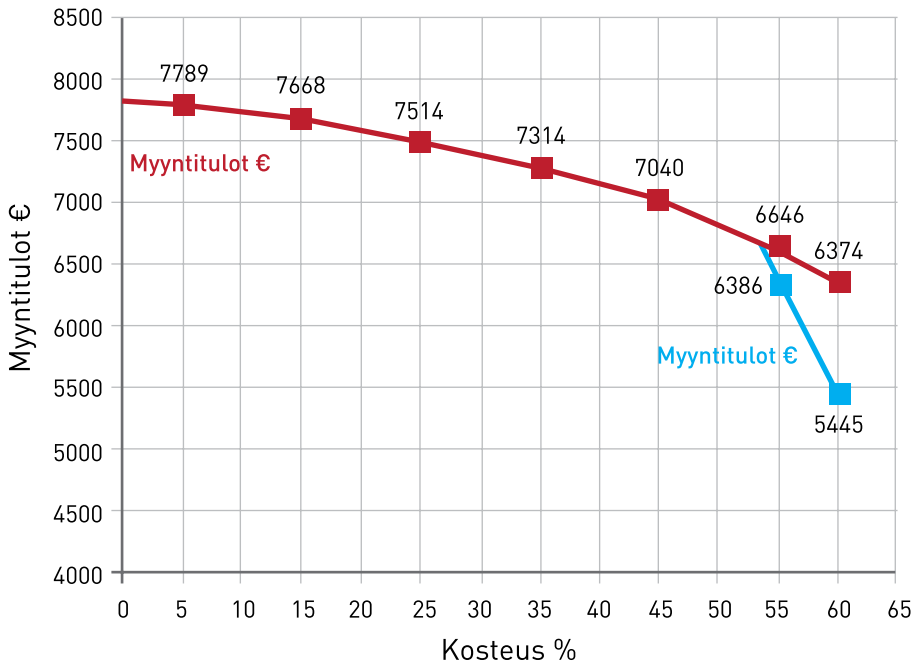
Tuomas Hakonen & Risto Lauhanen

Energiapuun hankintaketjujen kannattavuuteen vaikuttavat paljon kuljetusmatkat, purku- ja kuormauskertojen määrät sekä odotusajat. Purku- ja kuormauskertojen määrät kasvavat, jos energiapuuta välivarastoidaan esimerkiksi terminaalissa tai vaihdetaan välillä kuljetusmuodosta (auto, juna, laiva) toiseen. Odotusajat ovat tienvarsihaketuksen pohjautuvassa ketjussa tyypillisesti pidemmät kuin terminaalin kautta kulkevissa hankintaketjuissa. Odotusaikoja muodostuu joko hakkurin odottaessa kuormattavaa kalustoa paikalle tai kuljetuskaluston jonottaessa hakkurille pääsyä.

Energiapuussa oleva kosteus vaikuttaa energiasisällön lisäksi myös kuljetuskustannuksiin. Kosteus lisää energiapuun massaa ja vaikuttaa näin myös polttoaineen kulutukseen. Mitä suurempi massa, sitä enemmän paikallisteiltä ja metsäautoteiltä vaaditaan kestävyyttä. Kosteampi energiapuu voi johtaa myös siihen, että kuormatilaa ei pystytä täyttämään kokonaan, koska kuljetuskalustolle sallittu suurin kokonaisuus tulee täyteen. Tästä seuraa, että joudutaan ajamaan useamman kerran edestakaisin.



Kuva 10.1 Suometsävaltaisilla alueilla haketus tehdään talvella, jolloin metsäautotiet ovat kantavia. (Kuva : Jussi Laurila).



Kuvassa 10.2 on hake-erästä (120 i-m³) saatavat lämpöenergian myyntitulot eri kosteusprosentteilla. Suuremmilla kosteusprosentteilla hake-erän energiasisältö pienenee, jolloin myös myytävää energiaa tulee vähemmän. Sininen kuvaaja huomioi 7-akselisen täysperävaunuyhdistelmän suurimman sallitun kokonaismassan (64 000 kg), jolloin suurilla kosteusprosentteilla kuormatila (120 m³) ei voida täyttää kokonaan. Punainen kuvaaja esittää tilannetta, jossa kuormatila täytetään aina kokonaan. (Hakonen & Laurila 2011).

Tehtävä 10.1

Tienvarsivarastolla on 300 k-m³ (kiintokuutiometriä) energiapuuta, joka täytyy kuljettaa lämpölaitokselle. Yhdestä kiintokuutiosta saadaan 2,5 i-m³ (irtokuutiota) haketta. Laske kuinka monella ajokerralla tienvarsivarastolla haketettu energiapuu saadaan kuljetettua, kun täysperävaunuyhdistelmän kuormatila on a) 120 m³ ja b) 150 m³.

Tehtävä 10.2

Kuinka paljon suuremmat lämpöenergian myyntitulot saadaan kuvan 10.2 perusteella yhdestä hake-erästä (120 i-m³), jonka kosteus on 35 %, verrattuna hake-erään, jonka kosteus on 60 %, kun a) huomioidaan suurin sallittu täysperävaunuyhdistelmän kokonaismassa ja kun b) sallittua kokonaismassaa ei tarvitse huomioida. c) Miten a) ja b) kohtien vastaukset muuttuvat, jos energian myyntihinta nousee tasolta 75 €/MWh tasolle 100 €/MWh?

Tehtävä 10.3

Energiapuun kuiva-tuoretiheys on 400 kg/k-m^3 . Laske montako litraa täydessä hakekuormassa on vettä, kun a) kuormatilavuus on 120 m^3 ja hakkeen kosteus on 30 % ja kun b) kuormatilavuus on 150 m^3 ja hakkeen kosteus on 55 %.

Tehtävä 10.4

7-akselisen täysperävaunuyhdistelmän omamassa on 23 000 kg ja suurin sallittu kokonaismassa (omamassa + kuorman massa) 64 000 kg. Energiapuun kuiva-tuoretiheys on 400 kg/k-m^3 . Laske montako kiintokuutiota voidaan kuljettaa massarajoitteet huomioiden, kun energiapuun kosteus on: a) 20 %, b) 40 % ja c) 60 %.

Tehtävä 10.5

Kun kuorman massan kasvaa 1 000 kg, nousee polttoaineen kulutus keskimäärin noin 0,6 litraa 100 kilometrillä. Laske paljonko polttoaineen kulutus vähenee kuormatilavuudeltaan 120 m^3 :n täysperävaunuyhdistelmällä 1 200 km:n ajo-matkalla, kun kuljetettavan hakkeen kosteus alenee 55 %:sta 30 %:iin. Hakkeen kuiva-tuoretiheys 400 kg/k-m^3 . Kuorman massarajoitteita ei tarvitse huomioida.

Tehtävä 10.6

Täysperävaunuyhdistelmän keskinopeus kuormattuna on 60 km/h ja tyhjänä 65 km/h. Tienvarsivarastolla kuorman täyttäminen hakkurilla kestää 1 tunnin ja kuorman purkaminen lämpölaitoksella vie aikaa 0,5 tuntia.

a) Kauanko kestää kuljettaa hake tienvarsivarastolta lämpölaitokselle, kun käytössä on yksi täysperävaunuyhdistelmä? Ajomatka tienvarsivarastolta lämpölaitokselle on 50 km ja varastolta saadaan neljä täyttä kuormaa. (Huomioi, että auto lähtee liikkeelle lämpölaitokselta.)

b) Kauanko hakkurin käyttäjä joutuu yhteensä odottamaan autoa kuormattavaksi? Odotusaika alkaa, kun ensimmäistä kuormaa aletaan hakettaa ja päättyy, kun viimeinen kuorma on täynnä.

Tehtävä 10.7

Vanhan lain mukaan ajoneuvoyhdistelmän kokonaismassa sai olla enintään 60 tonnia. Käytännössä auto painoi 20 tonnia ja kuorma 40 tonnia. Uuden lain mukaan ajoneuvoyhdistelmä voi painaa tätä nykyä 76 tonnia, jolloin auton painaessa akseleineen 24 tonnia, hakekuorma voi painaa 52 tonnia. Montako hakekuutiota voi nykyisin kuljettaa enemmän, jos hakkeen kosteus on 35 % ja energiapuun kuivatuoretiheys 400 kg/m^3 ?

ESIMERKKI 10.1

Hakeauton kuorman tekninen irtotilavuus on 140 kuutiometriä. Auton massa on 20 tonnia. Kuorman massa saa olla enintään 40 tonnia, jos kokonaismassa voi maksimissaan olla 60 tonnia. Jos autossa on 140 irtokuutiometriä haketta ja puun kuivatuoretiheys on 400 kg/m^3 . Jos voimalaitoksen ajoneuvovaa'alla punnitun hakekuorman massa on 30 tonnia, mikä on hakkeen a) kosteus, b) kuorman energiasisältö ja c) hakkeen arvo, jos hakkeesta maksetaan 22 €/MWh? Käytä hyväksi kuvaa 2.3.

Lähtötiedot:

Kuormatilan irtotilavuus ja hakemäärä on 140 m^3 .

Auton massa on 20 t ja hakekuorman massa 30 t. Kokonaismassa on 50 t.

Puun kuivatuoretiheys on 400 kg/m^3 .

Määritysten mukaan 1 kiintokuutiometri on 2,5 irtokuutiometriä.

Kuva 2.3

Taulukon 1.1 mukaan $1 \text{ MJ} = 0,278 \text{ kWh}$.

Laskenta:

a) Haketta kiintokuutiometreinä: $140 \text{ i-m}^3 / 2,5 = 56 \text{ m}^3$

Hakkeen tiheys: $30\,000 \text{ kg} / 56 \text{ m}^3 = 535,7 \text{ kg/m}^3$

Veden massa puukuutiossa: $535,7 \text{ kg} - 400 \text{ kg} = 135,7 \text{ kg}$

Hakekuorman kosteus on: $135,7 \text{ kg} / 535,7 \text{ kg} \cdot 100 \% = 25,3 \%$

b) Kun hakkeen kosteus on 25,3 %, kuvan 2.3 perusteella iteroimalla saadaan energiasisällöksi 13,55 MJ/kg.

Hakemäärän energiasisältö:

$13,55 \text{ MJ/kg} \cdot 30\,000 \text{ kg} = 406\,500 \text{ MJ} = 406,5 \text{ GJ}$

Energiasisältö megawattitunteina: $406,5 \text{ GJ} \cdot 0,278 = 113 \text{ MWh}$

Hakekuorman arvo: $22 \text{ €/MWh} \cdot 113 \text{ MWh} = 2486 \text{ €}$

Vastaus:

a) Hakkeen kosteus oli 25,3 % eli se oli kuivaa ja hyvälaatuista.

b) Kuorman energiasisältö on 113 MWh.

c) Hakkeen arvo on 2486 €.

ESIMERKKI 10.2

Metsäntutkimuslaitoksen mukaan kun kantojen kaukokuljetusmatka on 10 km, ovat kantomurskeen hankinnan päästöt terminaalmurskauksessa 8,0 kg CO₂/MWh. Aineiston perusteella voidaan hiilidioksidipäästöt = y (kg CO₂/MWh) ratkaista seuraavista kaavoista kaukokuljetusmatkan = x (km) avulla:

a) Kantomurske terminaalmurskauksella:

$$y \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 8,0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} / 190 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh} \cdot \text{km}} \cdot x \text{ km} + 7,58 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}$$

b) Karsittu ranka käyttöpaikkamurskauksella:

$$y \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 2,9 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} / 190 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh} \cdot \text{km}} \cdot x \text{ km} + 9,94 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}$$

c) Hakkuutähdehake tienvarsimurskauksella:

$$y \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 3,0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} / 190 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh} \cdot \text{km}} \cdot x \text{ km} + 5,86 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}$$

Laske hankintaketjujen a, b, ja c seuraavien metsähakkeen toimitusketjujen CO₂-päästöt, jos kaukokuljetusmatka on 100 km.

Laskenta:

a) Hiilidioksidipäästöt:

$$8,0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} / 190 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh} \cdot \text{km}} \cdot 100 \text{ km} + 7,58 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 11,8 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}$$

b) Hiilidioksidipäästöt:

$$2,9 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} / 190 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh} \cdot \text{km}} \cdot 100 \text{ km} + 3,94 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 5,5 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}$$

c) Hiilidioksidipäästöt:

$$3,0 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} / 190 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh} \cdot \text{km}} \cdot 100 \text{ km} + 5,86 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 7,4 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}$$

Vastaus:

- a) Hiilidioksidipäästöt kantojen terminaalmurskauksessa ovat 11,8 kg CO₂/MWh.
- b) Hiilidioksidipäästöt karsitun rangankäyttöpaikkamurskauksessa ovat 5,5 kg CO₂/MWh.
- c) Hiilidioksidipäästöt hakkuutähteen tienvarsimurskauksella ovat 7,4 kg CO₂/MWh.

Tehtävä 10.8

Jos puutavara-auton kuormana on mäntytukkia 40 tonnia, mikä on kuorman tilavuus tuoretiheydellä 840 kg/m^3 . Ajoneuvo kuormineen on punnittu sahalla 4.6.2014 ajoneuvovaa'alla.

Tehtävä 10.9

Kuusikuitupuun tuoretiheyden pitää olla hiomossa mekaanisen massan valmistuksessa vähintään 750 kg/m^3 , jotta puun kuorinta onnistuu. Autokuormassa on puuta 50 m^3 ja kuorman massa tehdään ajoneuvovaa'assa 35 tonnia. Kelpaako puukuorma hiomoon ja edelleen sanomalehtipaperin valmistukseen vai meneekö kuorma raakiksi eli mäntykuitupuuksi kemiallisen massan valmistukseen ja edelleen tästä puolet mustalipeän polttoon ja energiantuotantoon?

Tehtävä 10.10

Hakeauton kuorman tekninen irtotilavuus on 110 kuutiometriä. Auton massa on 20 tonnia. Kuorman massa saa olla enintään 40 tonnia, jos kokonaisuudessa voi maksimissaan olla 60 tonnia. Autossa on 110 irtokuutiometriä haketta ja puun kuivatuoretiheys on 400 kg/m^3 . Mikä on hakkeen kosteus, jos voimalaitoksen ajoneuvovaa'alla punnitun hakekuorman massa on a) 40 tonnia, b) 30 tonnia ja c) 25 tonnia?

LÄHTEET

- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer Series in Wood Science. Berlin: Springer.
- Hakonen, T. & Laurila, J. 2011. Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 55.
- Laitila, J., Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3), 465–480.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Pasanen, K. 2012. Hankinnan teknologia, logistiikka ja hiilidioksidipäästöt. Teosessa: A. Asikainen, H. Ilvesniemi, R. Sievänen, E. Vapaavuori & T. Muhonen (toim.) 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, 171–184.
-

11 ENERGIAPUUN MITTAUS

Risto Lauhanen & Juha Viirimäki

Energiapuun mittaus tuli osaksi puutavaran mittauslakia 1.7.2013. Tällä pyritään turvaamaan puukaupan eri osapuolten sekä urakanantajan ja työntekijän edut. Energiapuun mittaus on hankalaa, koska puu on muodoltaan epämääräinen. Lisäksi epäpuhtaudet ja kosteus vaikuttavat energiapuun määrään ja laatuun.

Energiapuuta mitataan ensisijaisesti kuormainvaa'alla. Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskurilla (<http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/mittaus-eppu-energiapuulaskuri.htm>) voi suoraan laskea energiapuuerän tilavuuden kiintokuutiometreinä, jos energiapuuerän massa tiedetään. Laskuri on laadittu harvennusenergiapuulle sekä latvusmassalle. Mitattavan erän tilavuuteen vaikuttavat energiapuutavaralaji, puulaji, mittauserän maantieteellinen sijainti, hakkuuajankohta sekä metsäkuljetusajankohta. Metsäntutkimuslaitos on vahvistanut tuoretiheysluvut, joilla energiapuuerän massa muunnetaan kiintokuutiometreiksi.

Jos harvennusenergiapuuerän massassa on mukana lunta ja jäätä, tuoretiheysluku on 1000 kg/m^3 . Kantojen ja juurakoiden mittaukselle on laadittu omat tuoretiheyslukunsa, samoin hakkuutähteelle.

EPPU 1.82 - energiapuun mittauslaskuri

Valitse alue <input checked="" type="radio"/> Etelä-Suomi <input type="radio"/> Pohjanmaa <input type="radio"/> Kainuu - Kollismaa <input type="radio"/> Lappi <input type="radio"/> Ylä-Lappi Kartta	Hakkuuajankohta Päivä Kuukausi <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> Varastointiaika: 245 vrk (maksimiaika = 365 vrk)	Mittausajankohta Päivä Kuukausi Vuosi <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="2014"/> Lisätarkenteet <input type="checkbox"/> Tuore, jossa lunta tai jäätä <input type="checkbox"/> Lumi ja sulamisvesi on vaikuttanut palstakasojen kuivumiseen <input type="checkbox"/> Palstakasoissa ja/tai niiden alla on jätkevasti lunta tai jäätä Määritelmä
Energiapuutavaralaji <input checked="" type="radio"/> Harvennusenergiapuu <input type="radio"/> Latvusmassa	Valitse puulaji <input checked="" type="radio"/> Havupuu <input type="radio"/> Koivu <input type="radio"/> Muu lehtipuu <input type="radio"/> Sekapuusto	LASKE VIE RAPORTTIIN LOPETA ENERGIAPUUN TUORETIHEYSLUKU: <input type="text" value="600"/> kg/m^3 Taulukko 18 Painoluokka: 6
Painon muunto tilavuudeksi Paino Tuoretiheys Kintotilavuus <input type="text" value="0"/> kg / <input type="text" value="600"/> kg/m^3 = <input type="text" value="0,0"/> m^3		
Tietoa sovelluksesta © Metsäntutkimuslaitos 2013		

Kuva 11.1. Metsäntutkimuslaitoksen EPPU 1.82 – energiapuun mittauslaskuri. (www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/mittaus-eppu-energiapuulaskuri.htm)

ESIMERKKI 11.1

Seinäjoella on 13. – 14.1.2014 korjattu tienvarteen lumista ja jäistä karsimatonta mäntyä kokopuuna 154 000 kg. Puut on punnittu kuormainvaa'alla. Työmaan pinta-ala on 3,2 hehtaaria. Jos muuntokerroin on 1000 kg/m^3 , mikä on hakkuukertymä hehtaarilta?

Lähtötiedot:

Leimikon puutavaran massa on 154 000 kg.

Työmaan pinta-ala on 3,2 hehtaaria.

Muuntokerroin on 1000 kg/m^3 .

Laskenta:

Puuerän kiintotilavuus: $154\,000 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 154,0 \text{ m}^3$

Hehtaarikertymä hehtaarilta: $154,0 \text{ m}^3 / 3,2 \text{ ha} = 48,1 \text{ m}^3$

Vastaus:

Hakkuukertymä on $48,1 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Tehtävä 11.1

Loimaalla on 13.1.2014 hakattu karsittua sekapuurankaa. Rangat on ajettu tienvarteen kuivumaan 30.5.2014. Kuormainvaa'an mittaustulos on 267 500 kg. Mikä oli hakkuukertymä? Käytä Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskuria (www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/mittaus-epu-energiapuulaskuri.htm).

Tehtävä 11.2

Kouvolan Anjalankoskella on 12.4.2014 kuusikon uudistamishakkuun yhteydessä kasattu latvusmassaa kasoihin metsään. Latvusmassan metsäkuljetus on heinäkuun lopun helteillä 22.7.2014. Kuormainvaakamittauksen tulos on 152 340 kg. Laske latvusmassaerän tilavuus? Käytä Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskuria.

Tehtävä 11.3

Anjalankosken Muhniemellä on 1.2.2014 kuusikon uudistamishakkuun yhteydessä kasattu latvusmassaa kasoihin metsään. Latvusmassa kuljetetaan metsästä lumineen ja jäineen 2.2.2014. Kuormainvaakamittauksen tulos on 152 340 kg. Laske latvusmassaerän tilavuus. Käytä Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskuria.

Kantojen ja juurakoiden mittaaminen ei ole helppoa. Työmittauksessa metsäkone-yrittäjälle maksettavat työkorvaukset ovat voineet perustua pinta-alaan tai tehtyihin työtunteihin. Metsänomistajalle on voitu maksaa luovutusmittauksessa kantohintaa, joka on perustunut joko pinta-alaan tai kuusitukin ja -kuitupuun määrään, josta kantojen ja juurakoiden määrän on arvioitu olevan 25–28 prosenttia.

Puutavaran mittaustuloksia sovellettaessa on kannot ja juurakot mitattava fyysisesti ja kuormainvaaka sopii tähän parhaiten. Metsäntutkimuslaitos on määrittänyt kannoille ja juurakoille tuoretiheysluvut, jotka perustuvat niiden kosteuteen, mittaushetkeen ja puhtauteen (taulukko 11.1).

Taulukko 11.1. Metsäntutkimuslaitoksen määrittämät kantojen tuoretiheysluvut kg/m³. Esimerkiksi painoluokassa 3 eli kosteudessa 30–40 % olevien kantojen tuoretiheysluku on 690 kg/m³ kesällä puhtausluokassa 1.

Painoluokka	Kosteus	Ajankohta	Puhtausluokka		
			Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
1	> 50 %	koko vuosi	890	940	980
2	40 %–50 %	1.5.–30.9.	810	850	890
3	30 %–40 %	1.5.–31.7.	690	720	750
4	20 %–30 %	1.5.–31.7.	600	620	650

- Puhtausluokka 1: puhdas, vierasaineita alle 5 % mittauserän massasta
- Puhtausluokka 2: hieman epäpuhdas, vierasaineita 5–10 % mittauserän massasta
- Puhtausluokka 3: runsaasti epäpuhtauksia, vierasaineita 10–15 % mittauserän massasta (savikoiden kannot)

Tehtävä 11.4

Kokkolassa kuusen kannot on nostettu työmaalle kekomuodostelmiin 16.–20.5.2014. Kannot on kuljetettu 15.–20.7.2014 tienvarsivarastolle. Hiekkaisen moreenimaan merenrantakuusikon kantojen puhtausluokka on 1 ja painoluokka on 3. Kuormainvaajan mittaustulos 150 000 kg. Mikä on kantoerän kiintotilavuus?

Tehtävä 11.5

Huittisissa kuusen kannot nostettu toukokuussa 2014 ja korjattu heinäkuussa 2014. Kantojen puhtausluokka on savipohjaisessa kuusikossa 3 ja painoluokka on 3. Kuormainvaajan mittaustulos 150 000 m³. Mikä on kantoerän kiintotilavuus?

Toissijaisena mittausmenetelmänä energiapuun mittauksessa voidaan käyttää energiapuukasan tilavuuden mittausta, kuten tehdään kuitupuun pinomittauksessa, mutta tämän menetelmän mittaustarkkuus on huono. Metsäntutkimuslaitoksen ja Tapion ohjeen mukaan tällä menetelmällä voi mitata karsittua rankaa sekä karsimatonta kokopuuta. Mittauksessa tarkastellaan kuorellisia kiintokuutiometrejä. Energiapuuksi menevä kuitupuu mitataan kuitupuun pinomittausohjeen mukaan tienvarressa tai ajoneuvossa.

Energiapuukasan mittauksessa mitataan ensin kasan pituus 10 cm:n tarkkuudella pinon etureunasta, yleensä tien puolelta. Sitten pino jaetaan 2 metrin osiin. Yli 20 m pitkä pino voidaan jakaa 3 metrin osiin. Viimeisen pinonosan pituus mitataan 10 cm:n tarkkuudella. Tämän jälkeen mitataan pinon etupuolelta (etureunasta) pino-osien korkeudet 5 cm:n tarkkuudella. Korkeusmittauksesta vähennetään mahdolliset lumi, jää ja vieraat esineet. Viimeisen pinon osan korkeus mitataan erikseen. Lopuksi mitataan pinon leveys molemmista päistä tasaten etu- ja takaraunaa silmävaraisesti niissä kohdissa, joissa yksittäisten puiden läpimitta on 2–3 cm. Pinon varsinainen kehystilavuus on pituus kerrottuna leveydellä ja korkeudella.

Pinon katkaisukohdan keskiläpimitta määritetään kuoren päältä arvioimalla silmävaraisesti yhdestä pöllistä tai laskemalla kymmenen puun katkaisukohdan keskiarvo.

Metsäntutkimuslaitoksen ja Tapion laatiman taulukon avulla rangan keskiläpimitan ja pinon etukorkeuden avulla voidaan määrittää rangan kiintotilavuusprosentti. (Taulukko 11.2).

Taulukko 11.2. Karsimattoman kokopuun kiintotilavuusprosentti rangan keskiläpimitan ja pinon etukorkeuden mukaan Metsäntutkimuslaitoksen ja Tapion laatimassa taulukossa. Karsitulle rangalle käytetään 10 prosenttiyksikköä suurempaa kiintotilavuusprosenttia.

Keskiläpimitta, cm	Kiintotilavuusprosentti %, kun pinon etukorkeus on:			
	2,0 m	3,0 m	4,0 m	5,0 m
5	24	26	28	30
7	25	27	29	31
9	27	29	31	33
11	29	31	33	35
13	30	32	34	36
15	32	34	36	38

ESIMERKKI 11.2

Jos energiapuupinon kehystilavuus on $100,0 \text{ m}^3$ ja keskiläpimitta $7,0 \text{ cm}$ ja etukorkeus $4,0 \text{ m}$, on karsimattoman rankapinon kiintotilavuusprosentti on 29 eli $100,0 \text{ m}^3 \cdot 0,29 = 29,0 \text{ m}^3$. Karsitun rankapinon kiintotilavuusprosentti olisi 10 prosenttiyksikköä suurempi: $100,0 \text{ m}^3 \cdot 0,39 = 39,0 \text{ m}^3$.

ESIMERKKI 11.3

Mittauslomakkeelle on kirjattu seuraavat tiedot karsitusta rankakasasta: pituus $13,5 \text{ m}$, leveys $4,0 \text{ m}$, keskikorkeus $3,0 \text{ m}$ ja puiden keskiläpimitta on $9,0 \text{ cm}$. Kasassa on kuusi $2,0 \text{ m}$:n pituista osaa. Viimeinen osa on pituudeltaan $1,5 \text{ m}$.

Laskenta:

Kasan pääosan kehystilavuus: $(13,5 \text{ m} - 1,5 \text{ m}) \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ m} = 144,0 \text{ m}^3$

Viimeisen kasan kehystilavuus: $1,5 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ m} = 18,0 \text{ m}^3$

Koko rankakasan kehystilavuus: $144,0 \text{ m}^3 + 18,0 \text{ m}^3 = 162,0 \text{ m}^3$

Karsimattoman rangan kiintotilavuusprosentti on taulukon 11.2 mukaan 29.

Karsitun rangan kiintotilavuusprosentti on 10 prosenttiyksikkö suurempi eli 39.

Kasan kiintotilavuus: $162,0 \text{ m}^3 \cdot 39 \% = 63,2 \text{ m}^3$

Vastaus:

Rankakasan kehystilavuus on $162,0 \text{ m}^3$, kiintotilavuusprosentti 39 ja kiintotilavuus $63,2 \text{ m}^3$.



Kuva 11.2. Pienpuun hankinta ja energiapuutarastot ovat tyypillisiä Etelä-Pohjanmaan metsäenergian hankinnassa. (Kuva: Jussi Laurila).

Tehtävä 11.6

Miksi korkealla rankakasalla on samalla keskiläpimitalla suurempi kiintotilavuusprosentti kuin matalalla rankakasalla?

Tehtävä 11.7

Karsittua rankaa sisältävän kasan pituus on 18,0 metriä, korkeus 4,0 metriä ja leveys 4,5 m. Pinon keskiläpimita on 11 cm. Laske pinon kiintotilavuus.

Tehtävä 11.8

Kaavakkeessa on karsimattoman rangan osalta varaston mittaustietoja. Mikä on varaston kehystilavuus, kiintotilavuusprosentti ja kiintotilavuus?

ENERGIAPUUKASAN MITTAUS

Risto Lauhanen Jorma Tukevan ja Metlan taulukoiden pohjalta

Kasan pituus: 19 m

Karsimaton ranka

Kasan osan pituus 2 m tai 3 m

Kirjoita 2 m

1. Kasan kehystilavuus, yhtä pitkät pinonosat:

- korkeudet mitataan tasaavaa 5 cm:n luokitusta käyttäen
- pinonosan leveydet mitataan 10 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen

Pinonosa	Korkeus etusivulta, m	1. kasan osan etuosalta, m	Leveys, m
1	3,00		4,00
2	3,00		
3	3,00		
4	3,00		
5	3,00		
6	3,00		
7	3,00		
8	3,00		
9	3,00		

Viimeinen kasa:

Pinonosa	Korkeus etusivulta, m	Pituus etupuolelta, m	Leveys, m
Viimeinen	3,00	1	4,00

2. Pinonkehystekijät ja kiintotilavuusprosentti

Pinonkehystekijä	
Keskiläpimita	11 cm
Kasan keskikorkeus	3 m

Kiintotilavuusprosentti

Läpimita, cm	Kasan korkeus, m			
	2,0	3,0	4,0	5,0
5	24	26	28	30
7	25	27	29	31
9	27	29	31	33
11	29	31	33	35
13	30	32	34	36
15	32	34	36	38

Karsitusle rangaalle + 10 prosenttiyksikköä.

ESIMERKKI 11.5

Ylistarolaisen vanhan isännän tekemän siistin koivukuitupuupinon pituus on molemmin puolin 5,00 metriä, pinon korkeus on 2,00 metriä ja määrämittaan katkottujen pöllien pituus eli pinon leveys on 3,00 metriä. Puiden keskiläpimita on 13 cm. Mikä on kuitupuukasan kehystilavuus ja kiintotilavuus? Paljonko kasasta saa tehtyä klapeja?

Kun puiden pituus on 3,0 metriä, on pinon peruskiintotilavuusprosentti lehtipuulla 54. Pinon puiden keskiläpimita 13,0 cm nostaa peruskiintotilavuutta 2 prosenttiyksikköä.

Pinopuissa on hieman lyhyitä oksia ja oksakyhmyjä eli karsinta ja oksaisuus on luokkaa II. Puut ovat mutkaisuudeltaan tavanomaisia ja luontaisia eli mutkaisuus on luokkaa II. Pöllit on ladottu hieman ristikkäin ja niiden välissä on ladonnasta aiheutuneita rakoja eli ladontaluokka on II. Näiden kaikkien tekijöiden vaikutus pinon kiintotilavuusprosenttiin on 0.

Tehtävä 11.9

Tutki tehtävää 11.8 ja alla olevaa koivukuitupuupinon mittausslomaketta. Mikä on puupinon kehystilavuus, kiintotilavuusprosentti ja kiintotilavuus? Puiden keskiläpimitta on 11,0 cm.

Tehtävä 11.10

Paljonko tehtävän 11.9 koivukuitupuupinosta saa klapeja?

KOIVUKUITUPUUPINON MITTAUS

Risto Lauhanen Jorma Tukevan ja Metlan taulukoista

Kasan pituus 15,0 m

Kasan osan pituus 2,0 m

Koivukuitupuupuu

1. Kasan kehystilavuus, yhtä pitkät pinonosat:

- korkeudet mitataan tasaavaa 1 cm:n luokitusta käyttäen

- pinonosan leveydet mitataan 5 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen

Pinonosa	Korkeus etusivulta, m	Korkeus takasivulta, m	Leveys, m
1	1,67	1,65	3,00
2	2,12	2,10	3,00
3	2,25	2,20	3,05
4	2,30	2,20	3,00
5	2,17	2,20	3,00
6	2,00	1,95	2,95
7	2,05	2,00	3,15

Viimeinen kasannosa:

	Pituus, m	Korkeus, m	Leveys, m
etusivulta	1,0	2,10	3,0
takasivulta	0,9	2,00	3,00

2. Pinotiheystekijät ja kiintotilavuusprosentti

Peruskiintotilavuusprosentti:

54 %

Pinotiheystekijä	luokka	vaikutus
Keskiläpimitta	11	1
Ladonta	I	1
Oksaisuus	II	0
Mutkaisuus	II	0

cm

Tehtävä 11.11

Hakeauton kuorman tilavuus on 140 irtokuutiometriä. Paljonko täysi kuorma on kiintokuutiometreinä?

Tehtävä 11.12

Montako irtokuutiometriä haketta saadaan sadasta kiintokuutiometristä kar-sittua rankaa?

LÄHTEET

Lauhanen, R. 2013. Energiapuun mittaus puutavaran mittaustilaksi. Ilkka-lehden Maaseutupalsta. Kolumni.

Laurila, J. & Lauhanen, R. 2012. Weight and volume of small-sized whole trees at different phases of the supply chain. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27, 46–55.

Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2013. Energiapuun mittaus. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

Metsäteho. 1998. Kuitupuun pinomittaus. Moniste. Helsinki: Metsäteho.

Metsäntutkimuslaitos 2014. [Verkkosivusto]. [Viitattu 4.7.2014]. Saatavana: <http://www.metla.fi>

12 KORJUUTYÖMAAN TYÖNJÄLKI JA TUKIKELPOISUUS

Risto Lauhanen & Juha Viirimäki

Tässä luvussa asioita tarkastellaan vuoden 2014 tukiehtojen perusteella. Vuoden 2014 tilanteessa nuoren metsän hoitokohteella harvennuspoistuman tulee olla vähintään 1 000 runkoa hehtaarilla. Poistettaviin puihin luetaan kantoläpimitaltaan vähintään 4,0 cm:n puut. Tällöin metsikön runkoluvuksi jää 700–1400 runkoa eli noin 1 000 runkoa hehtaarille. Puustoa saa jäädä enintään 2000 runkoa hehtaarille. Poistuman runkolukua laskettaessa ei ole merkitystä, onko puut kaatanut hakkuukone vai metsuri raivaus- tai moottorisahalla. Työn jälkeen metsän tulee olla kokonaan metsänhoidollisesti harvennettu. Metsikkökuvion puuston keskiläpimitan on oltava vähintään 8 cm, mutta alle 16 cm harvennuksen jälkeen.

Tukikelpoisen työkuivion pinta-alan on oltava vähintään 1,0 hehtaari. Nykyisin määritelmää on väljennetty. Metsänomistajan ensimmäinen työmaa voi olla 0,3 hehtaaria ja toinen työmaa puolestaan 0,7 hehtaarin kokoinen, jolloin tukikriteerien yhden hehtaarin minimityömäärä toteutuu.

Havupuuston valtapituus saa olla enintään 14 metriä ja lehtipuuston enintään 15 metriä. Puustolla ei ole pituusrajoja, jos kaikki puu luovutetaan energiapuuksi.

Työmaalta on luovutettava energiapuuta ulkopuoliselle taholle vähintään 20 m³. Korjattavalla ainespuumäärällä ei ole enää minimirajaa. Esimerkiksi 2,0 hehtaarin työmaalta voi korjata 80 m³ energiारankaa ja 20 m³ kuitupuuta.



Kuva 12.1. Hyvä työnjälki ilman pahoja puustovaurioita ja ajourat ilman syviä painumia ovat tärkeitä nuoren metsän hoidolle. (Kuva: Jussi Laurila).

ESIMERKKI 12.1

Perustele, ovatko tapaukset kohdissa a), b), c) ja d) tukikelpoisia. Energia-puuta on kertynyt vieraalle luovutettuna vähintään 20 m³, paitsi kohdassa d.

a) Oliko nuoren metsän hoitokohde rahoitettavissa Kemera-varoilla toukokuussa 2014? Toteutuskuvion kokonaispinta-ala oli 0,4 hehtaaria. Poistetun hieskoivupuuston runkoluku (kantoläpimitta vähintään 4 cm) oli 1 200 kappaletta hehtaarilla, jäävän puustoa oli 1 000 runkoa hehtaarilla ja puuston keskiläpimitta 9 cm ja keskipituus 8 m. Kohde oli harvennettu kokonaan kuntoon metsänhoidollisesti oikein.

Vastaus:

Hoitokohde ei ollut rahoitettavissa Kemera-varoilla koska, työmaan pinta-ala oli vain 0,4 ha eli alle hehtaarin.

b) Oliko nuoren metsän hoitokohde rahoitettavissa Kemera-varoilla kesäkuussa 2014? Toteutuskuvion kokonaispinta-ala oli 12,7 hehtaaria, poistetun mänty-koivupuuston runkoluku 1 300 kappaletta hehtaarilla, jäävän puuston runkoluku 1 000 hehtaarilla, keskiläpimitta 9 cm ja keskipituus 8 m. Kohde oli harvennettu kokonaan kuntoon metsänhoidollisesti oikein.

Vastaus:

Hoitokohde oli rahoitettavissa Kemera-varoilla, koska työmaan pinta-ala, poistuma ja jäävän puuston läpimitta- ja pituusvaatimukset täyttyivät.

c) Oliko nuoren metsän hoitokohde rahoitettavissa Kemera-varoilla heinäkuussa 2014? Toteutuskuvion kokonaispinta-ala on 1,4 hehtaaria, poistetun mäntypuuston runkoluku oli 1 100 hehtaarilla. Jäävän mäntypuuston runkoluku oli 700 hehtaarilla, keskiläpimitta 17 cm ja keskipituus 15 m. Kohde oli tehty kuntoon metsänhoidollisesti oikein.

Vastaus:

Hoitokohde ei ollut rahoitettavissa Kemera-varoilla, koska puuston keskiläpimitta oli 17 cm eli se oli yli 16 cm harvennuksen jälkeen.

d) Oliko nuoren metsän hoitokohde rahoitettavissa Kemera-varoilla tammi-kuussa 2012? Toteutuskuivion kokonaispinta-ala oli 0,2 hehtaaria. Poistetun kuusipuuston runkoluku oli 200 hehtaarilla. Jäävän puuston runkoluku oli 2400 hehtaarilla, keskiläpimitta 8 cm ja keskipituus 8 m. Kohde on tehty kuntoon metsänhoidollisesti oikein.

Vastaus:

Hoitokohde ei ollut rahoitettavissa Kemera-varoilla, koska työmaan pinta-ala on vain 0,2 ha ja hakkuupoistuma on alle 1 000 runkoa hehtaarilla. Lisäksi puita jäi liikaa eli 2400 puuta hehtaarille, eikä energiapuuta ei kertynyt 20 kiintokuutiometriä näin pieneltä työmaalta.

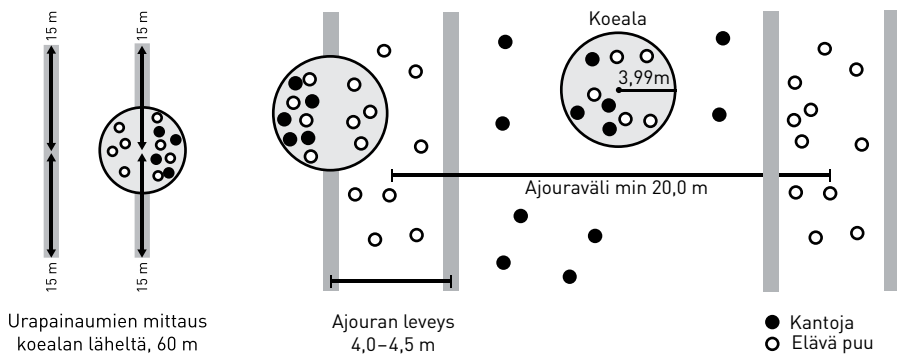
Puustovauriot ovat hyväksyttävissä, jos kriittinen vaurio-osuus on enintään 4,0 %. Ajouraleveys on asianmukainen, kun se ylittää 4,0 m, mutta on alle 4,5 m. Ajouraväli on tavoitteen mukainen, kun se on vähintään 20,0 metriä. Urapainaumien kriittinen vaurio-osuus valtioneuvoston asetuksen mukaan kivennäismailla on 15 % ja turvemilla 25 %.

Tehtävä 12.1

Työmaalta on mitattu 5 koealaa 3,99 metrin pituisella mittakepillä (koealan säde 3,99 m). Mittaustiedot on esitetty alla olevassa taulukossa. Energiapuuta on kertynyt 35 m³/ha. Työmaan pinta-ala on 2,0 hehtaaria. Onko työmaa tukikelpoinen ensiharvennusmännikkö? Tarkastele asiaa kunkin arviointikriteerin osalta.

Työmaan mittaustiedot

Koeala	1	2	3	4	5
Kantoja	6	7	6	4	5
Poistuma	1 200 r/ha	1 400 r/ha	1 200 r/ha	800 r/ha	1 000 r/ha
Pystypuita	5	6	6	5	4
Jäävä puusto	1 000 r/ha	1 200 r/ha	1 200 r/ha	1 000 r/ha	800 r/ha
Keskiläpimitta	8 cm	9 cm	10 cm	9 cm	9 cm
Keskipituus	8 m	9 m	10 m	9 m	9 m
Puustovauriot	0	1	0	0	0
Mitattuja ajouria	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Ajouraleveys	4,1 m	4,5 m	4,4 m	4,4 m	4,5 m
Ajouraväli	21,5 m	20,3 m	20,9 m	19,8 m	20,1 m
10 cm:n syvyisten urapainaumien määrä	2 m	2 m	0 m	2 m	4 m



Kuva 12.2 Esimerkki nuoren metsän hoitokohteen työjäljen inventoinnista. (Kuva: Sanna Kontiola).

Uudistushakkuualoilla toimiessa olisi hyvä huomioida seuraavat asiat (Tapio 2010):

- Rinteissä, kivikoissa tai louhikoissa ei toimita eroosiovaaran vuoksi.
- Toimitaan kuivahkoilla tai sitä paremmilla kankailla tai niitä vastavilla turve- mailla.
- Kantoja ei nosteta pohjavesialueilta.
- Suositetaan hakkuutähteen kuivatusta palstalla.
- Jätetään yli 10 cm:n paksuiset pysty- ja maalahopuut.
- Pyritään jättämään noin kolmannes latvusmassasta ja kannoista uudistus- alalle.
- Poistetaan kaikki yli 15 cm:n kannot juurikäpälueelta. Tämä ei koske CT- metsiä eli kanervatyyppin kuivia kankaita.
- Jätetään vanhat ja lahot kannot sekä alle 15 cm:n kannot.
- Yli 15 cm:n kantoja jätetään vähintään 25 kpl/ha. Savi-, hieta- ja hiesumaille yli 15 cm:n kantoja jätetään vähintään 50 kpl/ha.
- Vältetään yli 30 cm:n syvyisiä kuoppia, jotta maata ei paljastuisi liikaa.
- Veden vaivaamissa kohteissa hoidetaan myös vesitaloutta (ojitusmätästys).
- Uudistusalalle jätetään vähintään 3 metrin reunavyöhyke säästöpuiden ja lahopuiden ympärille.
- Ojien varteen jätetään vähintään 3 metrin ehjä, rikkomaton pengeri. Varastoja ei sijoiteta ojien päälle.
- Purojen ja lampien reunaan jätetään vähintään 5 metrin suojakaista.
- Ranta- ja maisemametsät jätetään rauhaan. Rantaan jätetään vähintään 7 metrin suojakaista.
- Korjuun ja haketuksen jälkeen varastoalueet siistitään. Ei jätetä eväspapereita tai öljyisiä letkuja maastoon.



Kuva 12.3 Sinivuokko on hyvä esimerkki rauhoitetusta kasvilajista. Avainbiotoopit ja arvokkaat lajit on suojeltava myös metsäenergian hankinnalta. (Kuva: Risto Lauhanen).

Yksityisomistuksessa olevan nuoren metsän hoitoon on saanut kestävän metsätalouden rahoituslain mukaista pinta-alatukea, jos luvun alussa esitellyt kriteerit täyttyvät. Pinta-alatuki vaihtelee sen mukaan, onko työ tehty omana työnä (163 €/ha) tai teetetty vieraalla (252,50 €/ha). Työllisyydelle voi saada lisätukea. Suluissa mainitut luvat ovat esimerkkejä Etelä-Pohjanmaalla maksetuista tuista.

Koska pienten puiden korjuu eli hakkuu on kallista, on pienpuun hakkuuseen ja metsäkuljetukseen saanut korjuutukea. Korjuutuki on ollut viime vuosina 7 € kiintokuutiometrille. Vuonna 2012 loppunut haketustuki oli 1,70 € hakekuutiolle eli 4,25 € hakekiintokuutiometrille.

Toteutusselvitystukea on maksettu hyväksytystä työstä ja korjuusta metsäyhtiöille, metsänhoitoyhdistyksille, energiaosuuskunnille eli työtä toteuttaville tahoille.

Tuki maksetaan, sen mukaan miten energiapuukaupassa sovitaan. Toteutusselvitystukea ei kuitekaan ole voitu maksaa metsänomistajille.

ESIMERKKI 12.2

Nuoren metsän hoitokohteen harvennustyömaa valmistui kesäkuussa 2014 Matti Metsänomistajan metsässä Seinäjoella. Karsittua rankaa kertyi Metsäyhtiö Oy:n, yrittäjän tekemän työn sekä mittaustodistuksen perusteella 150,0 m³. Työmaan pinta-ala oli 3,1 hehtaaria. Metsäsuunnitelma oli voimassa, kun harvennus tehtiin. Laske kestävän metsätalouden rahoituslain mukainen pinta-ala tuki. Laske myös korjuutuki. Toteutusselvitystuki on tämän kokoisella työmaalla 142,3 €.

Lähtötiedot:

Työmaan pinta-ala on 3,1 ha.

Energiapuumäärä on 150,0 m³.

Pinta-alamatuki on 252,50 €/ha, kun työ on teetetty vieralla.

Korjuutuki on 7 €/m³.

Toteutusselvitystuki on 142,3 €.

Laskenta:

Pinta-alamatuki: 252,50 €/ha · 3,1 ha = 782,75 € maksetaan Matti Metsänomistajan tilille

Korjuutuki: 150,0 m³ · 7 €/m³ = 1 050 € maksetaan Metsäyhtiö Oy:n tilille

Toteutusselvitystuki: 143,40 € maksetaan Metsäyhtiö Oy:n tilille

Vastaus:

Pinta-alamatuki on 782,75 €, korjuutuki 1050 € ja toteutusselvitystuki 143,40 €.

Tehtävä 12.2

Matti Metsänomistajan energiapuuharvennus Seinäjoella oli valmistunut maaliskuussa 2014. Karsittua rankaa kertyi metsänhoitoyhdistyksen mittaustodistuksen perusteella 520,3 m³. Työmaan pinta-ala oli 11,0 hehtaaria. Haketustukea ei enää makseta. Laske Kestävän metsätalouden rahoituslain mukainen pinta-ala tuki. Laske myös korjuutuki. Toteutusselvitystuki oli tämän kokoisella työmaalla 301,10. Pinta-alamatuki maksetaan Matti Metsänomistajlle ja korjuutuki Metsänhoitoyhdistykselle.

Tehtävä 12.3

Matti Metsänomistajan energiapuuharvennus siirtyi kivihillen käytön takia lokakuulle 2016. Nuoren metsän hoidon tukien ennakoidaan laskevan. Laske tuet, jos pinta-alamatuki olisi 180 €/ha, ja korjuutuki olisi 5 €/m³. Toteutusselvitystuki on tämän kokoisella työmaalla 301,10 €.

Tehtävä 12.4

Nuoren metsän hoitokohteen pinta-ala oli 3,0 ha. Ähtärissä tammikuussa 2014 korjatun työmaan osalta kuormainvaa'an mittaustulos on 151 275 kg sekapuu- ta kokopuuna lämpölaitokselle. Kohteella jäävän puuston keskiläpimitta oli 10,0 cm ja keskipituus 11,0 m. Harvennuspoistuma oli 1 200 runkoa hehtaarialta.

- a) Paljonko energiapuuta kertyi kiintokuutiometriä ja hehtaaria kohti?
- b) Mikä oli poistumassa runkojen keskitilavuus litroina?
- c) Mikä oli puuerän energiasisältö?
- d) Paljonko oli energiapuun korjuutuki?
- e) Mikä oli metsänomistajan saama pinta-alamatuki tältä työmaalta?

LÄHTEET

A 30.12.2013/1308. Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä.

Koistinen, A. 2013. Nuoren metsän hoitokohteen tukilaskuri. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.9.2013]. Saatavana: http://www.metsavastaa.net/tukilaskuri_nuoren_metsan_hoito

Lauhanen, R., Laurila, J. & Laitila, J. 2010. Kembra-tukien vaikutus nuoren metsän hoidon erilliskannattavuuteen eri kauppavaihtoehtoissa Etelä-Pohjanmaalla. Teoksessa: T. Sauvula-Seppälä, E. Ulander & T. Tasanen (toim.). 2010. Kehittyvä metsäenergia. Tutkimusseminaari Seinäjoen Framissa 18.11.2009. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 46, 37–46.

Tapio. 2010. Energiapuun korjuu ja kasvatust. Helsinki: MetsäKustannus.

13 METSÄENERGIAN HANKINTASUUNNITE JA -BUDJETTI

Risto Lauhanen, Esa Koskiniemi & Heikki Sippola

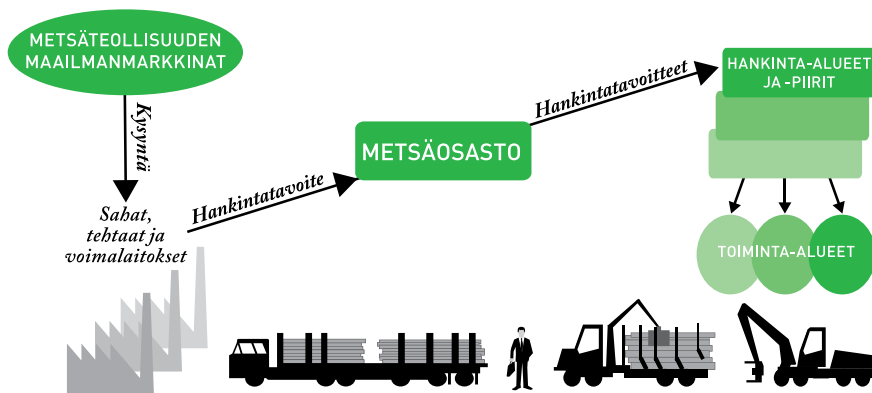
Voimalaitosten energiantuotannon lähtökohtana on sähkön ja lämmön loppu-
tuotekysyntä. Ajatusmalli on sama kuin perinteisessä metsäteollisuudessaakin,
eli sahatavaran, sellun, paperin ja kartongin kysyntä maailmanmarkkinoilla
ohjaa tuotantolaitosten toimintaa ja puunhankintaa sahoille sekä sellu- ja pa-
peritehtaille (kuva 13.1).

Sähkön ja lämmön kysyntään vaikuttavat yhteiskunnan taloustilanne sekä sää-
tila. Huippusuhdanteessa ja kovimmilla pakkasilla energiaa tarvitaan eniten.
Kesähelteillä ja valoisaan aikaan kouluissa ja työpaikoilla on rauhallista, ja
lähinnä sairaaloissa ja hoitolaitoksissa tarvitaan lämmintä käyttövettä ihmis-
ten perustarpeisiin. Toisaalta helteisinä aikoina ilmastointilaitteet kuluttavat
energiaa.

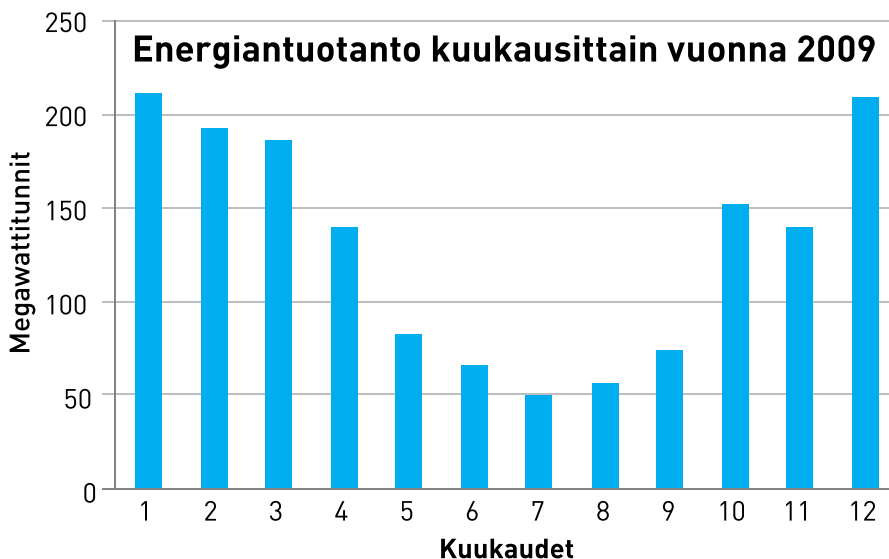
Sekä suuret että pienet ja keskisuuret energialaitokset pystyvät ennakoimaan
tuotantomääränsä melko tarkkaan vuosivaihtelut huomioon ottaen.

Alle 1 MW:n kattilatehon laitoksella vuotuinen hakkeen tarve on noin 3 500 irto-
kuutiometriä. Talvikuukausina energiantuotanto on noin 200 MWh/kk, keväällä
150 MWh/kk ja kesäkuukausina noin 50 MWh/kk (kuva 13.2).

PUUNHANKINNAN ORGANISOINTI



Kuva 13.1 Energiapuun hankintakehikko (Sikanen, L. & Lauhanen, R.)



Kuva 13.2 Lämmöntuotanto Ähtärin Tuomarniemen lämpölaitoksella vuonna 2009. (Kuva: Anna Saarela).

Suurella laitoksella energiantuotanto voi olla 3 TWh vuodessa. Esimerkkituotoksessa turpeella tuotetaan energiasta 2 TWh ja puuperäisillä polttoaineilla 1 TWh vuodessa. Energian tuotanto noudattelee kuvaa 13.2.

Hankintasuunnitetta tehtäessä energialaitos arvioi oman energiantuotantonsa vuosi- ja kuukausitasolla megawattitunteina tai gigawattitunteina. Kattilateholtaan alle yhden megawatin laitokset tarvitsevat pienpuuhaketta sekä jonkin verran palaturvetta ja ruokohelpeä. Suuret laitokset käyttävät pienpuuhakkeen lisäksi hakkuutähdehaketta, kantomursketta sekä jysinturvetta.

Sähkön ja lämmön tuotantoennusteiden ja ympäristöluvan ohjaaman polttoraaka-ainejakauman perusteella kattilateholtaan 5–500 MW:n energialaitokset tilaavat metsäorganisaatioilta gigawattitunteina teollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta heikkolaatuista kuitupuuta, karsittua rankaa sekä karsimatonta kokopuuta. Lisäksi energialaitokset tilaavat hakkuutähdettä sekä kantoja ja juurakoita. Kattilateholtaan alle 5 MW:n laitokset tilaavat pienpuuta tai pienpuuhaketta tarpeensa mukaan kiintokuutiometreinä, irtokuutiometreinä tai megawattitunteina.

Tehtävä 13.1

Paikallisen voimalaitoksen puupolttoainetilauks on 50 GWh vuodessa. Paljonko voimalaitos tarvitsee vuosittain metsäenergiaa? Paljonko puumäärä maksaa, jos puunhinta pystykaupassa karsittuna rankana on 7 €/m³?

Taulukko 13.1 Esimerkkiarvoja metsäenergian hankintasuunnitteen ja -budjetin laadinnan avuksi. Työtä tehdään tavallisesti kahdessa vuorossa eli yhtä konetta kohden tarvitaan kaksi kuljettajaa.

Hakkuukertymä	30 – 50 m ³ /ha pienpuuta
---------------	--------------------------------------

Esimerkkihintoja:

Energiakuitupuu	12 €/m ³
Karsittu ranka	7 €/m ³
Karsimaton kokopuu	8 €/m ³
Hakkuutähteet	2 €/m ³ (kertymä 55 m ³ /ha)
Kannot ja juurakot	3 €/m ³ (kertymä 65 – 70 m ³ /ha)

Kone ja laitetarpeet (Asikainen 2004):

Hakkuukone	10 000 m ³ /a
Kuormatraktori	30 000 m ³ /a
Autohakkuri	25 000 m ³ /a
Hakeauto	25 000 m ³ /a
Hakkuukone uudistushakkuu- työmaalla (päätehakkuukone)	40 000 m ³ /a
Hakkuukone (pikkumoto)	20 000 m ³ /a
Kaivinkone	17 000 m ³ /a
Kuormatraktori	30 000 m ³ /a
Risu- ja kantoauto	25 000 m ³ /a
Käyttöpaiikkamurskain	120 000 m ³ /a

Ostobudjetissa energiapuun myynti- tai luovutushinta lasketaan kiintokuutiometreinä. Energiakuitupuun, karsitun rangan tai karsimattoman kokopuun hinnaksi voi budjetoida 7 – 12 €/m³, mikäli metsänhoito- tai korjuutukia ei ole saatavissa. Ostajan ja myyjän väliset puukauppahinnat ovat aina tapauskohtaisia sopimusasioita. Hakkuutähteille voi budjetoida hinnaksi 0,50 – 3,00 €/m³ ja kannoille 0,50 – 3,00 €/m³.

Ostobudjetissa huomioidaan kestävän metsätalouden rahoituslain mukainen pinta-aratuki (210–253 €/ha). Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla nuorten metsien hoitokohteista noin 80 % on ollut pinta-aratukikelpoisia. Loput hoitokohteet eivät ole täyttäneet tukikriteereitä, koska esimerkiksi poistuman runkoluku on ollut liian vähäinen tai työkohteen pinta-ala on ollut liian pieni.

Ostobudjetissa huomioidaan myös pienpuun korjuutuki 7 €/m³. Energiapuuharvennuksen osalta maksetaan toteutusselvitystukea (30–50 €/ha) selvityksen tekijälle. Hankintakustannukset ilman tukia ovat 32–45 €/m³. Tämä hinta sisältää energiapuun hakkuun, metsäkuljetuksen, haketuksen, kaukukuljetuksen, varastoinnin ja organisaation yleiskustannukset.

Hankinta- ja käteiskauppojen budjeteissa huomioidaan puun hinta, tuet sekä haketuksen, kaukukuljetuksen, varastoinnin ja organisaation yleiskustannukset. Korjuukustannukset jäävät metsänomistajan vastuulle.

ESIMERKKI 13.1

Tehtäväsi on hankkia 10 000 irtokuutiometriä pienpuuhaketta karsittuna rankana kolmelle osuuskunnan energialaitokselle Seinäjoella. Työmaat tehdään koneellisesti. Hankintakustannukset (hakkuu, metsäkuljetus, varastointi, haketus, kaukukuljetus, yleiskustannukset) metsästä lämpölaitokselle ovat 40 €/m³. Kyseessä on vanha hakevarasto. Tee hankintasuunnitelte ja -budjetti. Ota huomioon Kestävän metsätalouden rahoituslaki, pinta-aratuki (252,50 €/ha), korjuutuki (7 €/m³) ja toteutusselvitystuki (40 €/ha).

Lähtötiedot:

Pienpuuhaketta on 10 000 irto-m³.

Termimääritysten mukaan vanhan varaston hakemäärä 1 m³ = 2,2 i-m³.

Taulukko 13.1

Laskenta:

Rankaa tarvitaan kuutiometreinä: $10\,000 \text{ irto-m}^3 / 2,2 = 4\,545,45 \text{ m}^3$

Ostobudjetti: $4\,545,45 \text{ m}^3 \cdot 7 \text{ €/m}^3 = 31\,818 \text{ €}$

Rankaa on korjattava: $4\,545,45 \text{ m}^3 / 40 \text{ m}^3/\text{ha} = 113,6 \text{ ha} \approx 114 \text{ ha}$

Hankintakustannukset: $4\,545 \text{ m}^3 \cdot 40 \text{ €/m}^3 = 181\,800 \text{ €}$

4 545 m³:n hankintamäärällä tarvitaan osa-aikaisesti (taulukko 13.1):

- 1 hakkuukone,
- 1 kuormatraktori,
- 1 hakkuri sekä
- 1 hakeauto.

Käytännössä kuljettajan (1 per kone- ja auto) lisäksi laitokselle tarvitaan 1 toimihenkilö, joka hoitaa laitoksen ja työn organisoinnin, eli yhteensä 5 henkilöä.

Kestävän metsätalouden tuet (2014), kun kaikki kohteet ovat tukikelpoisia:

Pinta-alamatuki metsänomistajille:	$252,50 \text{ €/ha} \cdot 113,6 \text{ ha} = 28\,684 \text{ €}$
Pienpuun korjuutuki:	$7 \text{ €/m}^3 \cdot 4\,545 \text{ m}^3 = 31\,815 \text{ €}$
Toteutusselvitystuki:	$40 \text{ €/ha} \cdot 113,6 \text{ ha} = 4\,544 \text{ €}$

Vastaus:

Puunostoon tarvitaan 31 815 € ilman arvonlisäveroa.

Hankintakustannukset ovat 181 800 € ilman arvonlisäveroa.

Hankintakustannukset (40 €/m³) sisältävät hakkuutyön (19 €/m³), metsäkuljetuksen (6 €/m³), haketuksen (6 €/m³), hakekuljetuksen (6 €/m³) sekä hankinnan yleiskuluja (3 €/m³). Nämä tilitetään kone- ja laiteyrittäjille. Näiden lisäksi tulee vielä arvonlisävero.

Tuet ovat yhteensä 65 043 €. Metsänomistaja maksaa pinta-alamatuen ja korjuutuen arvonlisäverot.

Osuuskunta tarvitsee vähintään yhden hakkuukoneen, kuormatraktorin/ metsätraktorin, hakkurin/autohakkurin ja hakeauton sekä kuljettajan osaksi vuotta. Lisäksi tarvitaan yksi työnjohtaja/toimitusjohtaja laitoksella. Osuuskunnan kalustolla voidaan tehdä metsäkone- ja hakeurakointia tai turveurakointia muille toimijoille.

Tehtävä 13.2

Olet bioenergiayhtiön apulaispäällikkö. Laske kuukausittaiset hankintatavoitteet (energiapuumäärät) lämpökeskukseen ab:n lämpökeskukseen laitoksen käyttöpäällikön pyynnöstä. Käyttöpäällikön pyytämät energiasisällöt ovat tammikuulle 200 GWh, helmikuulle 200 GWh, maaliskuulle 100 GWh, huhti- ja toukokuulle kummallekin 50 GWh, kesä- ja heinäkuulle kummallekin 10 GWh, elo- ja syyskuulle kummallekin 50 GWh, lokakuulle 100 GWh ja marras- ja joulukuulle kummallekin 200 GWh. Energiasta 40 % kertyy hakkuutähteistä, 10 % kannoista ja 50 % nuorten metsien pienpuusta karsittuna rankana. Paljonko kentältä on ostettava tienvarteen korjattua puuta? Organisaatiosi toimittaa puumäärät hakkeena tai murskeena lämpökeskukseen. Kuljetusmatka on 45 km. Tee hankintasuunnite ja -budjetti esimerkin 13.1. sekä taulukon 13.1 tietojen avulla.

Tehtävä 13.3

Uusi haketukseen tukeutuva biopolttoainejalostamo tarvitsee rankaa ja kuitupuuta 350 000 kiintokuutiometriä vuodessa. Jalostamo toimii joka päivä, paitsi jouluna, jolloin on viikon seisokki, ja juhannuksena, jolloin on kahden viikon huoltoseisokki. Puun tehdashinta on 40 €/m³. Hinta sisältää kuitupuun kantohinnan 15 €/m³, korjuun 14 €/m³, kaukokuljetuksen 8 €/m³ sekä varastointi- ja organisaatiokustannukset 3 €/m³. a) Tee laitoksen hankintasuunnite ja -budjetti. b) Laske jalostamon puunkäyttö vuorokaudessa.

Tehtävä 13.4

Uusi biopolttoainejalostamo integroituu sellutehtaaseen ja tarvitsee mänty- ja kuusikuitupuuta 2,5 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa. Jalostamo toimii joka päivä, paitsi jouluna, jolloin on viikon seisokki, sekä juhannuksena, jolloin on kahden viikon huoltoseisokki. Kuitupuun tehdashinta on 40 €/m³. Hinta sisältää kuitupuun kantohinnan 15 €/m³, korjuun 14 €/m³, kaukokuljetuksen 8 €/m³ sekä varastointi- ja organisaatiokustannukset 3 €/m³. a) Tee laitoksen hankinta-suunnite ja -budjetti. b) Laske jalostamon puunkäyttö vuorokaudessa.

Tehtävä 13.5

Olet bioenergiayhtiön Värmeverk apulaispäällikkö ja tehtävänäsi on suunnitella lämpölaitoksen pienpuuhakkeen hankinta. Energiasisältötilaus on 100 GW vuodessa. Puut ostetaan 1000 ha:n leimikkoalalta. Tee hankintasuunnite ja -budjetti esimerkin 13.1. sekä taulukon 13.1 tietojen avulla. Hankinta-alueen Kemera-tukikelpoisuus on 80 %. Tuet maksetaan organisaatiollesi. Lämpötili on 20 €/MWh. Puu on karsittua rankaa.

LÄHTEET

- Asikainen, A. 2004. Puun korjuu ja kuljetus. Teoksessa: P. Harstela (toim.) Metsähake ja metsätalous. Suonenjoki: Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913, 26–36.
- Laitila, J., Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3), 465–480.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Pasanen, K. 2012. Hankinnan teknologia, logistiikka ja hiilidioksidipäästöt. Teosessa: A. Asikainen, H. Ilvesniemi, R. Sievänen, E. Vapaavuori & T. Muhonen (toim.) 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, 171–184.
- Metsäntutkimuslaitos. 2013. Metsätalastollinen vuosikirja. Suomen virallinen tilasto. Vantaa Metsäntutkimuslaitos

14 MAATILAN LÄMPÖKESKUSINVESTOINNIT

Juha Viirimäki & Risto Lauhanen



Kuva 14.1 Ähtärin Tuomarniemen hakelämpölaitos, jonka kattilateho on 950 kW. (Kuva: Jussi Laurila).

Taulukko 14.1 Esimerkki investointikustannuksista kattilateholtaan 150 kW:n laitoksella (8/2005). (Viirimäki 2008).

Pannuhuone	12 000 €
Kattila	13 000 €
Syöttölaitteet, automaatiikka ja poltin	30 000 €
Savupiippu	19 000 €
Sähkötyöt ja tarvikkeet	4 000 €
LVI-työt ja tarvikkeet	13 000 €
Rakennusluvut ja piirustukset	1 000 €
Lämpökanaalit (50–100 €/m)	3 000 €
Yhteensä:	95 000 €

Tehtävä 14.1

Tutustu investointilaskelman perustietoja sisältävään taulukkoon 14.1. Elokuussa 2005 kuluttajaindeksi oli 100,0. 8/2008 indeksi oli 109,1 ja 8/2013 118,2. Muunna taulukon 14.1 hinnat elokuun 2013 hinnoiksi.

ESIMERKKI 14.1

Maatilan lämmityksen tehontarve saadaan käyttämällä maa- ja metsätalousministeriön ohjeellisia taulukkoarvoja seuraavasti:

Asuintalo	$0,1 \text{ kW/m}^2 \cdot 200 \text{ m}^2 =$	20 kW
Konehalli	$0,1 \text{ kW/m}^2 \cdot 50 \text{ m}^2 =$	5 kW
Broilerihalli	$0,08 \text{ kW/m}^2 \cdot 3\,300 \text{ m}^2 =$	264 kW
Lämpökanaali	$2 \text{ kW} / 100 \text{ m} \cdot 150 \text{ m} =$	3 kW
Kattilatehontarve yhteensä		292 kW

Rakennusten öljynkulutus on ollut keskimäärin vuositasolla seuraava:

Asuinrakennus	2 000 litraa	20 MWh
Konehalli	500 litraa	5 MWh
Broilerihalli	60 000 litraa	600 MWh
Öljynkulutus yhteensä	62 500 litraa	625 MWh

Kanaalin lämpöhävikki on noin 5 % energiankulutuksesta eli maatilan lämpöhävikki on: $625 \text{ MWh} \cdot 5 \% = 31,25 \text{ MWh}$.

Koko tilan energiankulutus on vuodessa: $625 \text{ MWh} + 31 \text{ MWh} = 656 \text{ MWh}$

Maatila tarvitsee vuodessa haketta:

Kattilayhötysuhde on 85 % ja hakkeen energiasisältö on $0,8 \text{ MWh/m}^3$

Energiaa tarvitaan: $656 \text{ MWh} / 0,85 = 772 \text{ MWh}$

Haketta tarvitaan: $772 \text{ MWh} / 0,8 \text{ MWh/m}^3 = 965 \text{ m}^3$

Tehtävä 14.2

Hirviniemen tilalla on 30 000 broileria tuotantorakennuksessa, jonka mitat ovat $54 \text{ m} \times 30 \text{ m}$. Tilan päärakennus on 250 m^2 :n asuintalo. Tila siirtyy käyttämään kotimaista polttohaketta. Lämpökanaalia rakennetaan 100 metriä. Öljyä tilalla on kulunut keskimäärin 32 000 litraa vuodessa. Öljyn hinta on $1,02 \text{ €/litra}$ ilman arvonlisäveroa.

Uusi kattilaitos hankitaan ns. hakekonttiratkaisuna. Lämpökeskuskontin hinta on $90\,000 \text{ €}$ ja kanaalit maksavat 75 €/m . Pankki myöntää koko investoinnille lainan tasaerä lainan 12 vuodelle 4% :n reaalikorolla (annuiteettikerroin $0,1066$). Annuiteettilainassa velkapääoman ja koron lyhennys ovat vakiosuuruisia vuosittain koko laina-ajan.

Kattilan hyötysuhde on 85 %. Hakkeen energiasisältö on 0,8 MWh/m³. Hakkeen kuutiohintana on siiloon toimitettuna 16,50 €/i-m³. Käytä apuna taulukkoa 14.1 ja esimerkkiä 14.1.

- a) Mikä on uuden lämmitysratkaisun energiantarve tilalla?
- b) Paljonko kattilatehoa tarvitaan?
- c) Paljonko tilalla kuluu vuodessa haketta?
- d) Paljonko hakelämmityksellä säästetään öljylämmitykseen verrattuna?

LÄHTEET

Lepistö, T. (toim.) 2010. Laatuhakkeen tuotanto-opas. 2. uud. p. Seinäjoki: Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus.

MMM. 2001. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet. Liite 10 MMM:n asetukseen tuettavaa rakentamista koskevista rakentamismääräyksistä ja suosituksista (100/01). [Verkojulkaisu]. [Viitattu 4.7.2014]. Saatavana: <http://www.finlex.fi/pdf/normit/8673-01100fi.pdf>

Tilastokeskus 2013. Kuluttajahintaindeksi 2005 = 100. Liitetaulukko 5. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 11.10.2013]. Saatavana: www.stat.fi/til/khi/2013/08/khi_2013_08_2013-09-13_tau_005_fi.html

Viirimäki, J. (toim.) 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Helsinki: Metsäkeskukset.

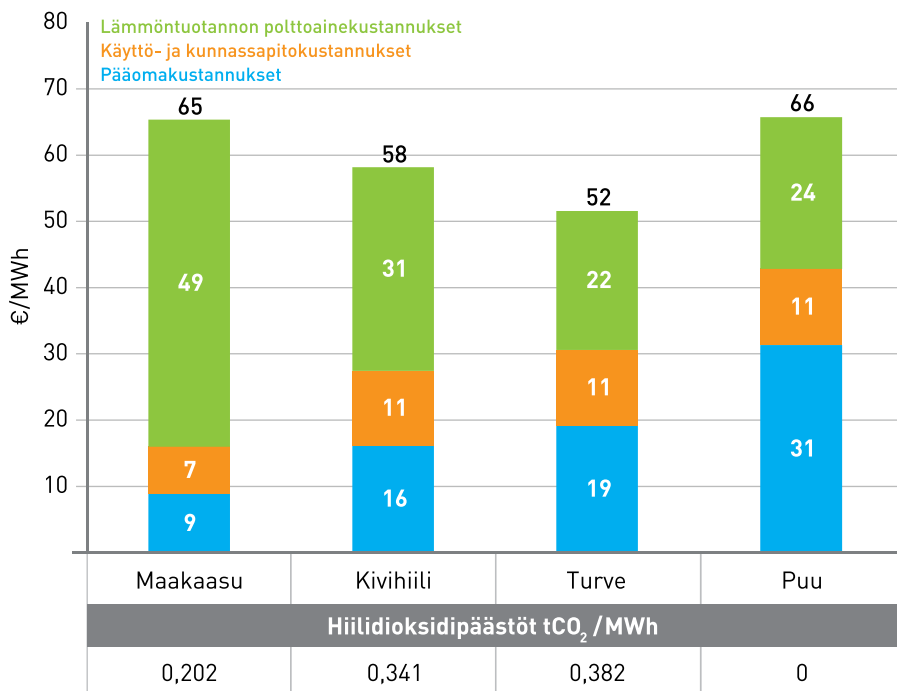
15 PÄÄSTÖKAUPPA

Ismo Makkonen

Päästökaupan tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä Euroopan unionin alueella aiheuttamalla lisäkustannuksia voimalaitoksille ja tehtaille, jotka käyttävät fossiilisia polttoaineita. Euroopan unionin jäsenmaat ovat sitoutuneet vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä.

Päästöoikeuden hinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan mukaan pörssissä. Hinnat ovat vaihdelleet paljon. Päästökaupan alettua vuonna 2005 päästöoikeus maksoi korkeimmillaan noin 30 €/tCO₂, mutta vuoden 2007 alussa päästöoikeuksien ylitarjonnan ja leudon talven vuoksi päästöoikeuden hinta laski lähes nolnaan. Kolmannen päästökauppakauden alussa tammikuussa 2013 päästöoikeuden hinta oli noin 7 €/tCO₂. Tämän jälkeen hinta on ollut lähes jo vuoden ajan (2014) alle 5 €/tCO₂.

Päästökaupan aiheuttama lisäkustannus fossiilisille ja hitaasti uusiutuville polttoaineille muodostuu niiden käytöstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen määrästä. Mitä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu, sitä korkeampi on päästökaupan aiheuttama lisäkustannus. Turpeen ja kivihiilen kustannukset kärsivät kaikkein eniten päästöoikeuden hinnan noususta. Turpeen poltosta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä 0,382 tCO₂/MWh ja kivihiilen poltosta 0,341 tCO₂/MWh. Maakaasu on yleisimmin käytetyistä uusiutumattomista polttoaineista vähäpäästöisin. Maakaasun poltosta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä 0,202 tCO₂/MWh. Metsähake on hiilineutraali polttoaine, koska sen poltosta aiheutuva hiilidioksidi sitoutuu kasvavaan metsään.



Kuva 15.1 Polttoainekohtaiset hiilidioksidipäästöt ja eri polttoaineiden kustannusrakenne. (Kuva: Ismo Makkonen).

Kuvassa 15.1 on havainnollistettu kaukolämmön tuotantokustannuksia eri polttoaineilla tuotettuna ilman päästökaupan aiheuttamaa lisäkustannusta. Kuvasta näkyvät myös eri polttoaineiden poltosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt.

Tehtävä 15.1

Kuinka paljon kaukolämmön tuottaminen maksaa megawattituntia kohden maakaasulla, kivihiilellä, turpeella ja puulla, kun päästöoikeuden hinta on 10 €/tCO₂? Käytä tehtävissä 15.1, 15.2 ja 15.3 apuna kuvaa 15.1.

Tehtävä 15.2

Kuinka paljon päästöoikeus maksaa, jos päästökaupan aiheuttama lisäkustannus turpeelle on 11 €/MWh?

Tehtävä 15.3

Kuinka paljon päästöoikeuden tulisi vähintään maksaa hiilidioksiditonnia kohden, jotta puu olisi kannattavin polttoaine kaukolämmön tuotannossa?



Kuva 15.2 Sähköä ja kaukolämpöä tuottava Seinäjoen energialaitos, Sevo. (Kuva: Ismo Makkonen).

LÄHTEET

Makkonen, I. 2014. Päästökaupan vaikutukset sähkön hintaan. Teoksessa: M. Hakojärvi & N. Schulman (toim.). 2014. Maataloustieteen Päivät 2014. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu nro 30 [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 4.7.2014]. Saatavana: http://www.smts.fi/MTP_julkaisu_2014/Posterit/221Makkonen_Paastokauppa_ja_sen_vaikutukset_sahkon_hintaan.pdf

16 PUUTUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ

Risto Lauhanen & Juha Viirimäki

Kun metsistä korjataan energiapuuta, voidaan metsän ravinnetaloutta kompensoida lannoituksella. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksissa on havaittu, että puutuhkalannoitus lisää suometsän kasvua vuodessa keskimäärin noin $3 \text{ m}^3/\text{ha}$ 40–50 vuoden tarkastelujaksolla. Puutuhkassa on fosforia, kaliumia ja hivenaineita eli niitä ravinteita, joita runsastyppisiltä rämeiltä puuttuu. Kustannustehokas puutuhkalannoitusannos on 4–5 tonnia hehtaarille.

Tuhkassa ei ole typpeä, koska typpi on palanut puunpoltossa ilmaan. Siksi puutuhkalla ei ole saatu lisättyä puuston kasvua kivennäismaiden metsissä, joissa typpi on kasvun kannalta minimiravinnetekijä.

ESIMERKKI 16.1

Puutuhkan kosteus on 30–35 %. Puutuhkaa levitetään 5 tonnia hehtaarille. Paljonko levitetyssä puutuhkassa on tuhkaa ja vettä?

Lähtötiedot:

Puutuhkan kosteuspitoisuus on 30–35 %.

Tuhkamäärä on $5 \text{ t/ha} = 5000 \text{ kg/ha}$.

Laskenta:

30 %:n kosteudessa puutuhkassa on vettä: $30 / 100 \cdot 5000 \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$

30 %:n kosteudessa puutuhkassa on tuhkaa: $5000 \text{ kg} - 1500 \text{ kg} = 3500 \text{ kg}$

35 %:n kosteudessa puutuhkassa on vettä: $35 / 100 \cdot 5000 \text{ kg} = 1750 \text{ kg}$

35 %:n kosteudessa puutuhkassa on tuhkaa: $5000 \text{ kg} - 1750 \text{ kg} = 3250 \text{ kg}$

Vastaus:

Levitetyssä puutuhkassa on tuhkaa 3250–3500 kg ja vettä 1500–1750 kg.

Tehtävä 16.1

Kotimaisen rankapuun tuhkapitoisuus on 1,0 %. Jos havupuukiintokuutiometrin kuivatuoretiheys on 430 kg/m^3 , paljonko havupuukuutio sisältää tuhkaa?

Tehtävä 16.2

Maa- ja metsätalousministeriön mukaan puutuhkan kuiva-aineessa pitää olla fosforia ja kaliumia yhteensä vähintään 2 %. Paljonko fosforia ja kaliumia levitetään hehtaarille, jos puutuhkaa levitetään 4000 kg/ha ja tuhkan kosteus 30 %?



Kuva 16.1 Puutuhkan levitystä helikopterista. (Kuva: Risto Lauhanen).



Kuva 16.2. Puutuhkaa metsässä heti levityksen jälkeen. Jos turvemaita lannoitetaan, myös suon kuivatustilan pitää olla kunnossa. (Kuva: Risto Lauhanen).

ESIMERKKI 16.2

Ojitetulle turvemaalle levitettiin kolmelle (30 m × 30 m) koealalle puutuhkaa 5 000 kg/ha. Metsään jätettiin myös kolme lannoittamatonta vertailukoelaa. Koealamittausten ja laskelmien perusteella puutuhka oli lisännyt 20 vuodessa metsän kasvua vuosittain 3 m³/ha lannoittamattomaan tilanteeseen verrattuna. Metsän kasvu on kuitupuuta, jonka kantohinta on 12 €/m³. Tuhkalannoitus maksoi 300 €/ha. Laske lannoitusinvestoinnin tuottama nettotulojen nykyarvo a) 3 %:n ja b) 5 %:n laskentakoroilla.

Lähtötiedot:

Laskenta-aika on 20 vuotta.

Laskentakorot ovat 3,0 % ja 5,0 % reaalikorot ilman inflaatiota.

Puutuhkan aiheuttama lisäkasvu on vuosittain 3,0 m³/ha.

Kuitupuun kantohinta on 12 €/m³.

Lannoituskustannukset ovat 300 €/ha.

Laskenta:

$$NPV = \frac{B_i}{(1+p/100)^t} - \frac{C_i}{(1+p/100)^t} \quad (16.1)$$

NPV = nettotulojen nykyarvo (net present value)

B_i = tuhkalannoituksen lisäämän puuston kasvun arvo

C_i = lannoituskustannus

p = laskentakorko

t = laskenta-aika

a)

Tuhkalannoituksen lisäämän kasvun arvo 20 vuodessa:

$$12 \text{ €/m}^3 \cdot 3,0 \text{ m}^3/\text{ha/a} \cdot 20 \text{ a} = 720 \text{ €/ha}$$

Lannoituskustannukset: 300 €/ha

$$NPV = \frac{720 \text{ €/ha}}{(1+3/100)^{20}} - \frac{300 \text{ €/ha}}{(1+3/100)^0} = 98,65 \text{ €/ha}$$

b)

$$NPV = \frac{720 \text{ €/ha}}{(1+5/100)^{20}} - \frac{300 \text{ €/ha}}{(1+5/100)^0} = -28,64 \text{ €/ha}$$

Vastaus:

- a) Nettotulojen nykyarvo on 3 %:n reaalikorolla 98,65 €/ha.
b) Nettotulojen nykyarvo on 5 %:n reaalikorolla on -28,6 €/ha.

Nettotulojen nykyarvo oli 3,0 %:n korolla positiivinen eli investointi oli kannattava. 5,0 %:n korolla nettotulojen nykyarvo oli negatiivinen eli investointi oli kannattamaton.

Tehtävä 16.3

Puutuhkan kuiva-aineessa saa maa- ja metsätalosisministeriön mukaan olla enintään 25 mg/kg kadmiumia. Jos tuhkaa levitetään 5 t/ha, tuhkan kosteus on 32 % ja tuhka sisältää kadmiumia 20 mg/kg, paljonko kadmiumia pääsee suometsähehtaarille?

Tehtävä 16.4

Jos 20 hehtaarin suometsäkohteella levitetään tuhkaa 4,5 tonnia hehtaarille ja tuhkaerä ja sen levittäminen metsätraktorilla maksavat 300 €/ha, paljonko tuhkaa levitetään metsään yhteensä ja paljonko tämä tulee maksamaan?

Tehtävä 16.5

20 hehtaarin suometsäkohteelle levitetään tuhkaa 5 tonnia hehtaarille. Tuhkaerä ja sen levittäminen helikopterilla maksavat 600 €/ha. Paljonko tuhkaa levitetään metsään yhteensä? Paljonko tuhkaerä ja sen levittäminen maksavat?

Tehtävä 16.6

Suometsähehtaarille levitettiin 4 tonnia puutuhkaa. Metsään jätettiin myös lannoittamaton vertailualue. 20 vuoden kuluttua lannoituksesta puutuhka oli lisännyt metsän vuosittaista kasvua 2,5 m³/ha lannoittamattomaan vertailualueeseen verrattuna. Metsän kasvu on kuitupuuta, jonka kantohinta on 12 €/m³. Tuhkalannoite ja sen levittäminen maksoivat 400 €/ha. Laske investoinnin tuottama nettotulojen nykyarvo a) 3,0 %:n ja b) 5,0 %:n laskentakoroilla. c) Laske investoinnin sisäinen korko ($NPV = 0$).

LÄHTEET

- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. Helsinki: Forestalia. Folia Forestalia 552.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalueemänniköissä. The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands. Suo 48(3), 71–82.
-

LIITTEET

LIITE 1

Voit ladata seuraavat Excel-laskurit osoitteesta:

www.seamk.fi/energialaskuoppi

- Energiapuukasan mittauslomake
- Hakkurin käyttötuntilaskelma
- Kokopuuhakkeen kustannuslaskentaohjelma korjurilla
- Kuormatraktorin käyttötuntilaskelma
- Rankahakkeen kustannuslaskentaohjelma

Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-energiapuun mittauslaskuri on ladattavissa:

www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/mittaus-eppu-energiapuulaskuri.htm

LIITE 2 Mallivastaukset tehtäviin

Tehtävä 1.1

Lähtötiedot:

Puulaatikon massa on 10 kg.

Puulaatikon paino on $10 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ N}$.

Matka on 3,0 m.

Kitkakerroin (μ) = 0,3.

Kaava 1.2

Laskenta:

$$F = 0,3 \cdot 10 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 3,0 \text{ m} = 90 \text{ J}$$

Vastaus:

Vedettäessä tehdään 90 joulun eli 0,09 kilojoulen työ.

Tehtävä 1.2

Lähtötiedot:

Energiasisältö on 1 GJ.

Taulukon 1.1 mukaan 1 kWh = 3,6 MJ.

Laskenta:

$$1 \text{ GJ} = 1\,000 \text{ MJ}$$

$$1\,000 \text{ MJ} / 3,6 \text{ MJ/kWh} \approx 278 \text{ kWh}$$

Vastaus:

1 GJ on noin 278 kilowattituntia.

Tehtävä 1.3

Lähtötiedot:

Risutukin massa on 200 kg.

Putoamiskiihtyvyys on 10 m/s^2 .

Tukin lähtökorkeus ja putoamismatka on 3,0 m.

Kaavat 1.3 ja 1.4

Laskenta:

$$\text{Risutukin asemaenergia: } W = m \cdot g \cdot h = 200 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 3,0 \text{ m} = 6\,000 \text{ J}$$

$$\text{Tukin liike-energia: } W = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ kg} \cdot v^2$$

Kun asemaenergia muuttuu liike-energiaksi, saadaan nopeudeksi:
 $v^2 = 6\,000\text{ N} / (\frac{1}{2} \cdot 200\text{ kg}) = 60\text{ m}^2/\text{s}^2$, jonka neliöjuuri on $v = 7,75\text{ m/s}$

Vastaus:

Nopeus on 7,75 m/s eli noin 28 km/h.

Tehtävä 1.4

Lähtötiedot:

Vesimäärä on 10 000 000 m³.

Korkeusero on 36 m.

Putoamiskiihtyvyys on 10 m/s².

Omakotitalon vuosittainen sähköenergiantarve on 5 MWh.

Kaava 1.3

Laskenta:

Veden massa: 10 000 000 m³ = 10 000 000 000 kg

Energiamäärä:

$W = 10\,000\,000\,000\text{ kg} \cdot 10\text{ m/s}^2 \cdot 36\text{ m} = 3\,600\,000\,000\,000\text{ J} = 3\,600\,000\,000\,000\text{ Ws}$

Tunnissa sekunteja: 60 s · 60 = 3 600 s

Energiamäärä tunnissa: 3 600 000 000 000 Ws / 3 600 s = 1 000 000 000 Wh = 1 000 MWh

Veden potentiaalienergiasta sähköenergiaksi 50 %: 1 000 MWh · 50 % = 500 MWh

Omakotitalojen lukumäärä: 500 MWh / 5 MWh = 100

Vastaus:

Veden potentiaalienergialla saataisiin taloussähköä vuodeksi 100 omakotitaloon.

Tehtävä 2.1

Lähtötiedot:

Puukuution massa on 860 kg.

Veden osuus kokonaismassasta on 50 %.

Hiilen osuus kuiva-aineesta on 50 %.

Vedyn osuus kuiva-aineesta on 6,0 %.

Hapen osuus kuiva-aineesta on 40 %.

Laskenta:

Veden osuus massasta: 50 % · 860 kg = 430 kg

Kuiva-aineen osuus massasta: 860 kg – 430 kg = 430 kg

Hiilen osuus kuiva-aineesta massasta: $50 \% \cdot 430 \text{ kg} = 215 \text{ kg}$

Vedyn osuus kuiva-aineesta massasta: $6 \% \cdot 430 \text{ kg} = 25,8 \text{ kg}$

Hapen osuus kuiva-aineen massasta: $40 \% \cdot 430 \text{ kg} = 172 \text{ kg}$

Vastaus:

Veden massa on 430 kg, hiilen massa 215 kg, vedyn massa 25,8 kg ja hapen massa 172 kg.

Tehtävä 2.2

Lähtötiedot:

Puun polttokosteus on a) 20 % ja b) 80 %.

Puun tehollinen lämpöarvo on 19,2 MJ/kg.

Kaava 2.8

Laskenta:

$$\text{a) } H_{\text{pk}} = 19,2 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,2) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot 0,2 = 14,9 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{b) } H_{\text{pk}} = 19,2 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,8) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot 0,8 = 1,9 \text{ MJ/kg}$$

Vastaus:

a) Lämpöarvo on 14,9 MJ/kg.

b) Lämpöarvo on 1,9 MJ/kg.

Tehtävä 2.3

Lähtötiedot:

Hakkeen polttokosteus on 35 %.

Puun tehollinen lämpöarvo on 19,0 MJ/kg.

Kaava 2.8

Laskenta:

$$H_{\text{pk}} = 19,0 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,35) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot 0,35 = 11,5 \text{ MJ/kg}$$

Vastaus:

Tehollinen lämpöarvo on 11,5 MJ/kg.

Tehtävä 2.4

Lähtötiedot:

Hakkeen polttokosteus on 45 %.

Puun tehollinen lämpöarvo on 19,8 MJ/kg.

Kaava 2.8

Laskenta:

$$H_{pk} = 19,8 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,45) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot 0,45 = 9,8 \text{ MJ/kg}$$

Vastaus:

Lämpöarvo on 9,8 MJ/kg.

Tehtävä 2.5**Lähtötiedot:**

Hakkeen polttokosteus on 25 %.

Puun tehollinen lämpöarvo on 19,1 MJ/kg.

Kaava 2.8

Laskenta:

$$H_{pk} = 19,1 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,25) - 2,44 \text{ MJ/kg} \cdot 0,25 = 13,7 \text{ MJ/kg}$$

Vastaus:

Lämpöarvo on 13,7 MJ/kg.

Tehtävä 2.6**Lähtötiedot:**

Taulukko 2.1

Puukuutiossa on energiaa 7,2 GJ eli 2 MWh.

Laskenta:

Puukuutiossa on energiaa 7,2 GJ eli 2 MWh eli 1 MWh = 3,6 GJ = 3 600 MJ.

Jaetaan taulukon 2.1 luvut 3 600 MJ:lla.

Vastaus:

Puun teholliset lämpöarvot (MWh/m³) tilavuusyksikköä kohti laskettuna tuoremassaan pohjautuen.

Puulaji	Puun kuiva-tuoretiheys (kg/m ³)	Puun kosteus			
		0 %	20 %	40 %	60 %
		Puun tehollinen lämpöarvo (MWh/m ³)			
Mänty	385	2,07	2,03	1,92	1,70
Kuusi	400	2,06	2,01	1,95	1,73
Koivu	475	2,51	2,43	2,30	2,03

Taulukosta nähdään, että lämpöarvo on keskimäärin 2,00 MWh per kiintokuutiometri kosteudesta ja puulajista riippuen. Tätä lukuarvoa sovelletaan energiapuupotentiaalilaskelmissa. Hakekuutiota (irtokuutiometriä) kohti vastaava energiasisältö on 0,8 MWh. Taulukko osoittaa, että lämpöarvot painoysikköä (MJ/kg) kohti muuttuvat nopeammin, kuin tilavuusyksikköä (MWh/m³) kohti tarkasteltaessa.

Tehtävä 2.7

Lähtötiedot:

Kuiva-tuoretiheys on 400 kg/m³.

Lämpöarvo on 18,6 MJ/kg (kosteus 0 %).

Puukuutiossa on energiaa 7,2 GJ eli 2 MWh eli 1 MWh = 3,6 GJ = 3 600 MJ.

Laskenta:

$400 \text{ kg/m}^3 \cdot 18,6 \text{ MJ/kg} = 7\,440 \text{ MJ/m}^3$

$7\,440 \text{ MJ/m}^3 / 3\,600 \text{ MJ/m}^3 = 2,07 \text{ MWh/m}^3$

Vastaus:

Lämpöarvo on 7 440 MJ/m³ eli 2,1 MWh/m³.

Tehtävä 2.8

Lähtötiedot:

Kuormatilavuus on 140 i-m³.

Kosteus on 40 %.

Tehtävän 2.6. perusteella koivuhakkeen energiatiheys on 40 %:n kosteudessa 2,30 MWh/m³.

Määritysten mukaan irtokuutio haketta vastaa 0,4 kiintokuutiota (m³).

Laskenta:

Hake-erän kiintotilavuus: $140 \text{ i-m}^3 \cdot 0,4 = 56,0 \text{ m}^3$

Hakekuorman energiasisältö: $2,30 \text{ MWh/m}^3 \cdot 56,0 \text{ m}^3 = 128,8 \text{ MWh}$

Vastaus:

Hakekuorman energiasisältö on 128,8 MWh.

Tehtävä 2.9**Lähtötiedot:**

Rekkalastin massa on 40 t = 40 000 kg.

Hakkeen kosteus on 35 %.

Veden höyrystymislämpö on 2,5 MJ/kg.

Laskenta:

Polttoaine-erän veden massa: $40\,000\text{ kg} \cdot 35 / 100 = 12\,250\text{ kg}$

Veden höyrystämiseksi tarvitaan energiaa:

$12\,250\text{ kg} \cdot 2,5\text{ MJ/kg} = 30\,625\text{ MJ} = 30,6\text{ GJ} = 8,5\text{ MWh}$.

Tämä vastaa 850 l polttoöljyerän energiasisältöä.

Vastaus:

Polttoaine-erässä on 8,5 MWh edestä höyrystymisenergiaa. Tämä energia vapautuu ilmaan savukaasujen vesihöyryn tiivistyessä vedeksi.

Tehtävä 3.1**Lähtötiedot:**

Energiasisältö on 20 GJ.

Taulukko 3.1

Laskenta:

Taulukon 3.1 mukaan esim. esim. raakaöljytonnissa on energiaa 41,87 GJ eli 11,63 MWh. Tästä voidaan laskea verrannolla, että $20\text{ GJ} = 5,6\text{ MWh}$.

Vastaus:

$20\text{ GJ} = 5,6\text{ MWh}$

Tehtävä 3.2**Lähtötiedot:**

Kiintokuutiometri puuta sisältää 2,0 MWh energiaa.

Taulukko 3.1

Laskenta:

Energjarangan energiasisältö: $7,2\text{ GJ} = 7\,200\text{ MJ} = 7\,200\,000\text{ kJ}$

Vastaus:

Energiasisältö on 7 200 MJ eli 7 200 000 kJ.

Tehtävä 3.3

Lähtötiedot:

Puuta on 500 000 kiintokuutiometriä.

Taulukosta 3.1 nähdään, että 1 kiintokuutiometri puuta sisältää 2 MWh energiaa.

Laskenta:

$$500\,000\text{ m}^3 \cdot 2\text{ MWh/m}^3 = 1\,000\,000\text{ MWh} = 1\text{ TWh}$$

Vastaus:

Energiasisältö on 1 TWh.

Tehtävä 3.4

Lähtötiedot:

Raakaöljytonnin energiasisältö on 11,63 MWh.

Taulukko 3.1

Laskenta:

Taulukosta 3.1 nähdään, että raakaöljytonnin energiasisältö on:

$$11,63\text{ MWh} = 41,87\text{ GJ} = 41\,870\text{ MJ} = 41\,870\,000\text{ kJ} = 41\,870\,000\,000\text{ J.}$$

Vastaus:

Energiasisältö on 41,87 GJ eli 41 870 000 000 J.

Tehtävä 3.5

Lähtötiedot:

Oljen kosteus on 40 %.

Olkitonnin energiasisältö on 9 GJ.

Taulukosta 3.1 nähdään, että kiintokuutiometri puuta sisältää 7,2 GJ energiaa.

Laskenta:

$$\text{Olkimäärää vastaa: } 9\text{ GJ} / 7,2\text{ GJ/m}^3 = 1,25\text{ m}^3$$

Vastaus:

1,25 m³ puuta vastaa energiasisällöltään olkimäärää.

Laskua tarkastellessa energiasisältöjen vertailu on olennaisin asia. Oljen kosteusprosentti (40 %) kuvaa prosessia antaen lisätietoja, mutta sitä tietoa ei tarvita itse laskussa. Laskutehtävissä tehtävän antaja voi antaa myös lähtötietoja, joita ei tarvita itse laskussa.

Tehtävä 3.6

Lähtötiedot:

Palaturvetta on 500 irtokuutiometriä.

Taulukosta 3.1 nähdään, että palaturpeen energiasisältö on 1,4 MWh/i-m³ ja puukuution (energiarangan) 2,0 MWh/m³.

Laskenta:

Palaturvemäärässä energiaa: $500 \text{ i-m}^3 \cdot 1,40 \text{ MWh/i-m}^3 = 700 \text{ MWh}$

Palaturvemäärää vastaava puumäärä: $700 \text{ MWh}/2,0 \text{ MWh/m}^3 = 350 \text{ m}^3$

Vastaus:

Palaturve määrää vastaa 350 kiintokuutiometriä puuta.

Tehtävä 3.7

Lähtötiedot:

Energian kulutus 20 MWh.

Taulukosta 3.1 nähdään, että a) hakkeen energiasisältö on 0,80 MWh/i-m³, b) palaturpeen 1,40 MWh/i-m³ ja c) polttoöljyn 11,81 MWh/t. Polttoöljyn energiatiheys on 845 kg/m³ = 0,845 t/m³.

Laskenta:

a) Haketta tarvittaisiin: $20 \text{ MWh}/0,80 \text{ MWh/i-m}^3 = 25 \text{ i-m}^3$

b) Palaturvetta tarvittaisiin: $20 \text{ MWh}/1,40 \text{ MWh/i-m}^3 = 14,3 \text{ i-m}^3$

c) Polttoöljyä tarvittaisiin: $20 \text{ MWh}/11,81 \text{ MWh/t} = 1,69 \text{ t}$

$1,69 \text{ t}/0,845 \text{ m}^3/\text{t} = 2,0041 \text{ m}^3$ eli 2004,1 litraa

Vastaus:

Talon lämmittämiseen tarvittaisiin a) 25 i-m³ haketta, b) 14,3 i-m³ palaturvetta ja c) 2004,1 l polttoöljyä.

Energiankulutuksessa on hyvä huomioida mm. vuoden sääolot, polttokattiloiden hyötysuhteet, polttoaineen laatutekijät sekä sen tiheyden ja hinnan vaihtelut, eettiset tekijät (bioenergiaa vai fossiilista energiaa) sekä kotitalouden tulot, varat ja ajankäyttö.

Tehtävä 3.8

Lähtötiedot:

Jyrsinturpeen energiasisältö on 425 MWh.

Taulukosta 3.1 nähdään, että kiintokuutiometri puuta sisältää 2,0 MWh energiaa.

Laskenta:

Jyrsinturvemäärää vastaava puumäärä: $425 \text{ MWh} / 2,0 \text{ MWh} = 212,5 \text{ kiinto-m}^3$

Vastaus:

Jyrsinturvemäärää vastaa 212,5 kiintokuutiometriä puuta.

Tehtävä 3.9**Lähtötiedot:**

Traktorin kuluttaman moottoriöljymäärän energiasisältö on 1 GJ/h.

Taulukosta 3.1 nähdään, että moottoripolttoöljytönnin energiasisältö on 41,50 GJ ja tiheys 845 kg/m³.

Laskenta:

Traktorin kuluttaman moottoripolttoöljyn massa:

$$1 \text{ GJ/h} / 41,50 \text{ GJ/t} = 0,0241 \text{ t/h} = 24,1 \text{ kg/h}$$

Moottoripolttoöljynkulutus:

$$24,1 \text{ kg/h} / 845 \text{ kg/m}^3 = 0,0285 \text{ m}^3/\text{h} = 28,5 \text{ l/h}$$

Vastaus:

Traktori kuluttaa 28,5 litraa tunnissa.

Tehtävä 3.10**a) Lähtötiedot:**

Kokonaisenergian kulutus on 1374 PJ, fossiilisten polttoaineiden 573 PJ, ydinvoiman 241 PJ ja puuperäisten polttoaineiden 332 PJ.

a) Laskenta:

$$\text{Fossiilisten polttoaineiden osuus: } 573 \text{ PJ} / 1374 \text{ PJ} \cdot 100 \% = 41,7 \%$$

$$\text{Ydinenergian osuus: } 241 \text{ PJ} / 1374 \text{ PJ} \cdot 100 \% = 17,5 \%$$

$$\text{Puuperäisten polttoaineiden osuus: } 332 \text{ PJ} / 1374 \text{ PJ} \cdot 100 \% = 24,2 \%$$

a) Vastaus:

Fossiilisten polttoaineiden osuus oli 41,7 %, ydinvoiman 17,5 % ja puuperäisten polttoaineiden osuus 24,2 %.

Fossiilisissa polttoaineissa on keskeinen osuus liikenteen nestemäisillä polttoaineilla. Ydinsähköä tarvitaan teollisuutta varten. Puuperäisissä polttoaineissa selluteollisuuden mustalipeällä ja jäteliemillä on tärkeä osuus.

b) Lähtötiedot:

Energian kulutus oli 6,7 miljoonaa kiintokuutiometriä.

b) Laskenta:

$$6\,700\,000\text{ m}^3 \cdot 2,0\text{ MWh/m}^3 = 13\,400\,000\text{ MWh} = 13,4\text{ TWh}$$

b) Vastaus:

Kulutus oli 13,4 TWh.

13,4 TWh on noin puolet uusiutuvan energian velvoitepaketin kokonaistavoitteesta 25 TWh koko metsähakkeen käytön osalta.

c) Lähtötiedot:

Vuonna 2012 Suomen energiankulutus oli $1\,374\text{ PJ} = 1\,374\,000\text{ TJ} = 1\,374\,000\,000\text{ GJ}$. Taulukosta 3.1 nähdään, että yhdessä puukuutiossa on $2\text{ MWh} = 7,20\text{ GJ}$ energiaa.

c) Laskenta:

Jos $7,20\text{ GJ} = 2,0\text{ MWh}$, saadaan verrannolla: $1\,374\,000\,000\text{ GJ} = 381\,666\,666,7\text{ MWh}$.

$$\text{Puuta tarvitaan: } 381\,666\,666,7\text{ MWh} / 2\text{ MWh/m}^3 = 190\,833\,333,3\text{ m}^3$$

c) Vastaus:

Puuta tarvitaan 191 miljoonaa kiintokuutiometriä, jos kaikki Suomen energia tuotettaisiin puulla.

Vastaus on likimain kaksinkertainen puumäärä Suomen metsien vuosikasvuun verrattuna. Suomen metsien hakkuut ovat noin vuositasolla keskimäärin 50–60 miljoonaa kiintokuutiometriä.

Tehtävä 3.11**Vastaus:**

Investointilaskelmat on hyvä tehdä riittävän pitkällä, esimerkiksi 30 vuoden aikajaksolla, sekä 1, 3 ja 5 prosentin laskentakoroilla (reaalikorot). Olisi myös hyvä tehdä vertailulaskelmia, joissa huomioidaan mm. eri polttoaineiden hintakehitysennusteet. Laskelmien lopputuloksiin vaikuttavat polttoainekustannukset, investointikustannukset sekä kattiloiden ja laitteistojen korjaus-, huolto- ja ylläpitokustannukset. (Lauhanen & Laurila 2007).

Energiankulutukseen vaikuttavat vuoden sääolot, polttokattiloiden hyötysuhteet, polttoaineen laatutekijät ja hinnanvaihtelu, eettiset tekijät (bioenergia vai fossiilinen energia) sekä kotitalouden tulot, varat ja ajankäyttö.

Tehtävä 3.12

Lähtötiedot:

Taulukosta 3.1 nähdään, että kiintokuutiometri puuta sisältää 2,0 MWh energiaa ja öljytonni 11,63 MWh ja öljyntiheys on $855 \text{ kg/m}^3 = 0,855 \text{ kg/dm}^3$.

Laskenta:

a) 1 öljytonni vastaa: $11,63 \text{ MWh} = 2,0 \text{ MWh/m}^3 = 5,8 \text{ m}^3$ puuta

b)

Öljytonni litroina: $1000 \text{ kg} / 0,855 \text{ kg/dm}^3 = 1170 \text{ dm}^3 = 1170 \text{ l}$

1 litra öljyä vastaa: $5,8 \text{ m}^3 / 1170 \text{ l} = 5800 \text{ l} / 1170 \text{ l} = 4,96 \text{ l}$

Vastaus:

a) Yksi öljytonni vastaa $5,8 \text{ m}^3$ puuta.

b) Yksi öljylitra vastaa 5 litraa (dm^3) puuta.

Todellinen tarve on eri, koska kattiloiden hyötysuhteet ovat alle 100 %.

Tehtävä 3.13

a) Lähtötiedot:

100 kiintokuutiometriä koivukuitupuuta.

Termimäärityksen mukaan 2,5 kiintokuutiometriä vastaa irtokuutiometriä.

a) Laskenta:

$100 \text{ kiinto-m}^3 \cdot 2,5 = 250 \text{ irtokuutiota}$

a) Vastaus:

100 kiintokuutiometrissä koivua saadaan 250 irtokuutiometriä klapeja.

b) Lähtötiedot:

Kiintokuutiometrin hankintahinta on 30 €/m^3 .

Puuta on 150 kiintokuutiota.

Klapikuution hinta 50 €/irto-m^3 .

b) Laskenta

Kuitupuiden hinta: $30 \text{ €/m}^3 \cdot 150 \text{ m}^3 = 4500 \text{ €}$

Klapeja saadaan: $150 \text{ kiintokuutiota} \cdot 2,5 = 375 \text{ irtokuutiota}$

Klapien hinta: $375 \text{ i-m}^3 \cdot 50 \text{ €/m}^3 = 18750 \text{ €}$

b) Vastaus

150 kiintokuutiometristä koivua saadaan klapeja 375 irtokuutiometriä.
Klapierän arvo on 18 750 €.

c) Lähtötiedot:

Klapikuution hinta on 60 €/irto-m³.

Termimäärityksen mukaan 2,5 kiintokuutiometriä on irtokuutiometri.

c) Laskenta:

Kiintokuutiometrin hinta: $60 \text{ €/irto-m}^3 / 2,5 = 24 \text{ €/kiinto-m}^3$

c) Vastaus:

Hinta on 24 € kiintokuutiometriä kohti.

Tehtävä 3.14**a) Lähtötiedot**

Pellettierän tiheys on 700 kg/m³.

Pellettien kosteus on 10 %.

a) Laskenta

Pellettikuutiossa on vettä: $10 / 100 \cdot 700 \text{ kg} = 70 \text{ kg}$

a) Vastaus:

Pellettikuutiossa on 70 kg vettä.

b) Lähtötiedot:

Pellettierän tiheys on 700 kg/m³.

Taulukosta 3.1 nähdään, että puupellettien energiasisältö on:

$4,70 \text{ MWh/t} = 4\,700\,000 \text{ Wh/1\,000 kg} = 4\,700 \text{ Wh / kg} = 4,7 \text{ kWh/kg}$.

b) Laskenta:

Pellettikuution energiasisältö on: $700 \text{ kg} \cdot 4,7 \text{ kWh/kg} = 3\,290 \text{ kWh} = 3,3 \text{ MWh}$

b) Vastaus:

Pellettikuution energiasisältö 700 kg/m³:n tiheydellä on 3,3 MWh.

c) Lähtötiedot:

Omakotitalon energiankulutus vuodessa on 24 MWh.

Pellettikuution energiasisältö on 3 290 kWh = 3,29 MWh.

c) Laskenta:

Pellettejä tarvitaan: $24 \text{ MWh} / 3,29 \text{ MWh/m}^3 = 7,3 \text{ m}^3$

c) Vastaus:

Pellettejä tarvitaan $7,3 \text{ m}^3$.

Työteho-seuran esimerkkinä olleen peruskorjatun maatilan päärakennuksen pinta-ala oli 280 m^2 ja tilavuus 600 m^3 (7 h + k + khh). Sen lämmittäminen (pellettisäiliö 10 m^3 , 5 700 kg) vei vuodessa noin 10 000 kg puupellettejä, jotka tilattiin suoraan tehtaalta.

Tehtävä 3.15**Lähtötiedot:**

Taulukosta 1.1 nähdään että $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.

Taulukosta 3.1 nähdään, että polttoöljyn tiheys on 845 kg/m^3 ja kivihiilitonin energiasisältö on $7,0 \text{ MWh}$.

Laskenta:

a) Öljytonni litroina: $1000 \text{ kg} / 0,855 \text{ kg/dm}^3 = 1170 \text{ dm}^3 = 1170 \text{ l}$

Jos $11,81 \text{ MWh} = 1170 \text{ l}$, saadaan verrannolla laskettua, että $1 \text{ MWh} = 100 \text{ l}$.

Polttoöljyn hinta €/MWh: $0,85 \text{ €/l} \cdot 100 \text{ l} = 85 \text{ €/100 l} = 85 \text{ €/MWh}$

Polttoöljyn hinta €/GJ: $85 \text{ €/MWh} / 3,6 = 23,60 \text{ €/GJ}$

b) Kivihiilen hinta €/MWh: $66 \text{ €} / 7,0 \text{ MWh} = 9,43 \text{ €/MWh}$

Kivihiilen hinta €/GJ: $9,43 \text{ €/MWh} / 3,6 = 2,62 \text{ €/GJ}$

c) Metsähakkeen hinta €/GJ: $20,80 \text{ €/MWh} / 3,6 = 5,78 \text{ €/GJ}$

d) Puupelletin hinta €/GJ: $37,30 \text{ €/MWh} / 3,6 = 10,36 \text{ €/GJ}$

e) Palaturpeen hinta €/GJ: $23,00 \text{ €/MWh} / 3,6 = 6,39 \text{ €/GJ}$

f) Jyrsinturpeen hinta €/GJ: $18,00 \text{ €/MWh} / 3,6 = 5 \text{ €/GJ}$

Vastaus:

Kuluttajahinnat lämmöntuotannossa olivat:

	€/MWh	€/GJ	
a) Kevyt polttoöljy	85,00	23,60	Kallein
b) Kivihiili	9,40	2,60	Edullisin
c) Metsähake	20,80	5,80	
d) Puupelletti	37,30	10,40	
e) Palaturve	23,00	6,40	
f) Jyrsinturve	18,00	5,00	

Kivihiili oli edullisin polttoaine ja kevyt polttoöljy kallein. Metsähakkeen hinta oli toiseksi edullisin.

Tehtävä 3.16**Lähtötiedot:**

Ajoneuvon lavan hyötymitat ($k \times l \times p$) nuppi (n): $7,2 \text{ m} \times 2,45 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$ ja perävaunu (p): $10,8 \text{ m} \times 2,45 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$

Paalien mitat: pyöröpaali (läpimitta \times pituus) $1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ ja kanttipaali ($k \times l \times p$) $0,8 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$

Paalien ominaisuudet: kosteus 20 % ja oljen lämpöarvo $13,5 \text{ MJ/kg}$ sekä tiheydet pyöröpaalilla 120 kg/m^3 ja kanttipaalilla 200 kg/m^3 .

Hakkeen kosteus 35 % ja lämpöarvo 11 MJ/kg .

Laskenta:

Piirtämistä apuna käyttäen voi laskea, että pyöröpaaleja mahtuu kyytiin kolmeen kerrokseen ja kaksi riviä vierekkäin: $2 \cdot (6+5+6)$ paalia ja perävaunussa vastaavat luvut $2 \cdot (9+8+9)$ eli yhteensä 86 paalia. Kanttipaaleja mahtuu myös toiseen kerrokseen yhtä paljon kuin muihin, joten paalien yhteismääräksi tulee 45.

Pyöröpaalin tilavuus on $V = \pi \cdot r^2 \cdot l = 3,14 \text{ m} \cdot 0,62 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m}^3 = 1,35 \text{ m}^3$. Koko kuorman tilavuus on 116 m^3 ja kuorman massa $116 \text{ m}^3 \cdot 120 \text{ kg/m}^3 = 13932 \text{ kg}$. Energiaa olisi kyydissä $13932 \text{ kg} \cdot 13,5 \text{ MJ/kg} = 188082 \text{ MJ} = 188 \text{ GJ}$.

Kanttipaalin tilavuus on $0,8 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} = 2,3 \text{ m}^3$ ja koko kuorman tilavuus 103 m^3 sekä koko kuorman massa $200 \text{ kg/m}^3 \cdot 103 \text{ m}^3 = 20600 \text{ kg}$. Jos kanttipaaleja ladottaisiin ensimmäinen kerros lappeelleen ja kaksi seuraavaa syrjälleen (ajoneuvon korkeus olisi $4,4 \text{ m}$), mahtuisi kuormaan 59 paalia ja siten 27000 kg . Energiaa olisi kanttipaaliukuormassa joko 278 GJ tai 364 GJ .

Haketta mahtuu lavoille (kontteihin): nuppiin $7,2 \text{ m} \cdot 2,45 \text{ m} \cdot 3,2 \text{ m} = 56,4 \text{ m}^3$ ja perävaunun (p) $10,8 \text{ m} \cdot 2,45 \text{ m} \cdot 3,2 \text{ m} = 84,6 \text{ m}^3$ eli yhteensä 141 m^3 . Hake on taulukon 3.1 arvoja kuivempaa ja irtokuution massa on 280 kg joten koko kuorman massa on $39\,480 \text{ kg}$. Hakekuormassa on energiaa $39\,480 \text{ kg} \cdot 11 \text{ MJ/kg} = 434 \text{ GJ}$.

Vastaus:

Pyröpaalukuorman energiamäärä on 188 GJ , kanttipalikuorman joko 278 tai 364 GJ ja hakekuormassa 434 GJ .

Tehtävä 4.1**Lähtötiedot:**

Klapien massa on $10,0 \text{ kg}$.

Klapien energiasisältö on $15,8 \text{ MJ/kg}$.

Laskenta:

Klapien kokonaisenergiämäärä: $10,0 \text{ kg} \cdot 15,8 \text{ MJ/kg} = 158 \text{ MJ}$

Kaavan 4.1 mukaan eri palamisaikojen vaikutus palamistehoon:

- a) $5 \text{ min} \rightarrow 158 \text{ MJ} / (5 \cdot 60 \text{ s}) = 0,5267 \text{ MW} = 526,7 \text{ kW}$
- b) $15 \text{ min} \rightarrow 158 \text{ MJ} / (15 \cdot 60 \text{ s}) = 0,1756 \text{ MW} = 175,6 \text{ kW}$
- c) $1 \text{ h} \rightarrow 158 \text{ MJ} / (60 \cdot 60 \text{ s}) = 0,0439 \text{ MW} = 43,9 \text{ kW}$
- d) $24 \text{ h} \rightarrow 158 \text{ MJ} / (24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}) = 0,0018 \text{ MW} = 1,8 \text{ kW}$

Vastaus:

Palamistehot ovat a) $526,7 \text{ kW}$, b) $175,6 \text{ kW}$, c) $43,9 \text{ kW}$ ja d) $1,8 \text{ kW}$.

Kun poltettava energiamäärä pysyy samana, tehot laskevat palamisajan kasvaessa.

Tehtävä 4.2**Lähtötiedot:**

Kattilan palamisteho on 500 MW .

Auton kuormatilavuus on 140 i-m^3 .

Taulukosta 3.1 nähdään polttohakkeen energiatiheys $2,88 \text{ GJ/i-m}^3$.

Esimerkki 4.2

Laskenta:

Tunnin energian tarve: $W = P \cdot t = 500\,000\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 1\,800 \text{ GJ}$

Tunnissa tarvittava hakemäärä: $1\,800\text{ GJ} / 2,88\text{ GJ/i-m}^3 = 625\text{ i-m}^3$

Hakekuormia tarvitaan: $625\text{ i-m}^3 / 140\text{ i-m}^3 = 4,5\text{ hakekuormaa}$

Vastaus:

Polttohaketta tarvitaan tunnissa 5 kuormallista, koska voimalaitokselle kuljetetaan aina täysiä autokuormia.

Tehtävä 4.3

Lähtötiedot:

Auton massa $76\text{ t} = 76\,000\text{ kg}$

Auton nopeus $72\text{ km/h} = 72\,000\text{ m ajassa } 3600\text{ s}$

Vierimisvastuskerroin $0,01$

Voimansiirron tehohäviö 40 kW

Ilmanvastuksen aiheuttama tehontarve 120 kW

Laskenta:

Vierimisvastuksen voittamiseksi tehtävä työ: Laskenta samaan tapaan kuin kaava

1.2 opastaa kitkan osalta: $0,01 \cdot 76\,000\text{ kg} \cdot 10\text{ m/s}^2 \cdot 72\,000\text{ m} =$

$547\,200\,000\text{ kgm}^2/\text{s}^2\text{ (J)}$.

Etenemisteho: Kaavan 4.1 mukaan $P = W/t = 547\,200\,000\text{ kgm}^2/\text{s}^2 / 3600\text{ s} =$

$152\,000\text{ kgm}^2/\text{s}^3\text{ (W)} = 152\text{ kW}$

Vastaus:

Moottorilta tarvittava tehon on $152\text{ kW} + 40\text{ kW} + 120\text{ kW} = 312\text{ kW}$.

Tehtävä 4.4

Lähtötiedot:

Neljä rivitaloa, joissa jokaisessa kuusi asuntoa ja asunnoissa kaksi ulko-ovea

Vanhan oven $U = 1,8\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ja uuden oven $0,8\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

Oven koko 2 m^2 .

Sisälämpötila on $22\text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkolämpötila $-28\text{ }^\circ\text{C}$.

Lisätehtävässä lämpötilaero $30\text{ }^\circ\text{C}$ ja lämmityskauden pituus $6\text{ kk} = 180\text{ vrk}$.

Laskenta:

Ovia on $4 \cdot 6 \cdot 2 = 24\text{ kpl}$, ja niiden yhteispinta-ala on 48 m^2 .

Lämpövirran teho vanhojen ovien läpi: Meillä ei ole tähän annettuna kaavaa, mutta U-arvon laadusta voidaan päätellä, että kertomalla U-arvo pinta-alalla ja lämpötilaerolla saadaan teho. $P = 1,8\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \cdot 48\text{ m}^2 \cdot 50\text{ }^\circ\text{C} = 4\,320\text{ W} = 4,3\text{ kW}$

Uusien ovien lämpövirran teho: $P = 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 48 \text{ m}^2 \cdot 50 \text{ }^\circ\text{C} = 1,9 \text{ kW}$
 Lämmitysenergian säästö lämmityskaudella: $W = P \cdot t = 1\,900 \text{ W} \cdot 180 \text{ vrk} \cdot 24 \text{ h/vrk} = 8\,208\,000 \text{ Wh} = 8,2 \text{ MWh} = \text{noin } 10 \text{ mottia haketta.}$

Vastaus:

Oviremontti pienentää mainitussa lämpötilassa $4,3 - 1,9 = 2,4 \text{ kW}$ lämpötehon tarvetta. Oviremontin energian säästö lämmityskaudella $8,2 \text{ MWh}$.

Tehtävä 5.1**a) Lähtötiedot:**

Polttohaketta on $1\,000 \text{ i-m}^3$.

Hakekattilan hyötysuhde on $0,80$.

Kaava 4.1

a) Laskenta:

$$\eta = W_{\text{anto}} / W_{\text{otto}}, \text{ mistä } W_{\text{anto}} = W_{\text{otto}} / \eta$$

$$W_{\text{anto}} = 1\,000 \text{ i-m}^3 / 0,80 = 1\,250 \text{ i-m}^3$$

a) Vastaus:

Haketta tarvitaan käytännössä $1\,250 \text{ i-m}^3$.

b) Lähtötiedot:

Hakemäärä on $1\,250 \text{ i-m}^3$.

Taulusta 3.1 nähdään, että irtokuutio haketta sisältää energiaa $0,8 \text{ MWh}$ ja kiintokuutiometri puuta $2,00 \text{ MWh}$.

b) Laskenta:

Irtokuutiometrin energian suhde kiintokuutiometriin energiaan:

$$0,8 \text{ MWh} / 2,00 \text{ MWh} = 0,4$$

Hakemäärä vastaa: $1250 \text{ i-m}^3 \cdot 0,4 = 500 \text{ kiintokuutiometriä puuta}$

c) Vastaus:

Energiapuuta tarvitaan $500 \text{ kiintokuutiometriä}$.

Tehtävä 5.2**Lähtötiedot:**

Polttoöljymäärä vuodessa on $120\,000 \text{ l} = 120 \text{ m}^3$.

Taulukosta 3.1 nähdään, että polttoöljyn tiheys on $0,845 \text{ t/m}^3$, öljyn energiasisältö on $11,81 \text{ MWh/t}$ ja hakekuution energiasisältö $0,80 \text{ MWh/i-m}^3$.

Hakekattilan hyötysuhde on $0,80$.

Laskenta:

Öljyn massa: $120 \text{ m}^3 \cdot 0,845 \text{ t/m}^3 = 101,4 \text{ t}$

Öljyn energiasisältö: $101,4 \text{ t} \cdot 11,81 \text{ MWh/t} = 1\,197,5 \text{ MWh}$

Hakekuutioita tarvittaisiin: $1\,197,5 \text{ MWh} / 0,80 \text{ MWh/i-m}^3 = 1496,9 \text{ i-m}^3$

Hakekattilan 80 %:n hyötysuhteella haketta tarvittaisiin:

$1496,9 \text{ i-m}^3 / 0,80 = 1871 \text{ i-m}^3$

Vastaus:

Haketta tarvittaisiin vuodessa 1871 i-m^3 .

Tehtävä 5.3**Lähtötiedot:**

Lämpötehon tarve 50 kW, ja keskimäärin 15 kW 180 vrk lämmityskaudella

Nykyinen kattila 100 kW, uusi kattila 50 kW

Vanhan kattila kesimääräinen η 50 % ja uuden 70 %

Laskenta:

Kiinteistön lämpöenergian tarve lämmityskaudella: $P = W / t$;

$W = P \cdot t = 15\,000 \text{ W} \cdot 180 \text{ vrk} \cdot 24 \text{ h/vrk} = 64\,800\,000 \text{ Wh} = 64,8 \text{ MWh}$.

Kun 100 kW kattilan keskimääräinen hyötysuhde on 50 % saadaan lämmitysenergian tarpeeksi ratkaisemalla kaava $\eta = W_{\text{anto}} / W_{\text{otto}}$; $W_{\text{otto}} = W_{\text{anto}} / \eta = 64,8 \text{ MWh} / (50/100) = 64,8 \text{ MWh} \cdot 100/50 = 129,6 \text{ MWh}$.

Pienemmän kattilan käyttämä lämmitysenergia = $64,8 \text{ MWh} \cdot 100/70 = 92,6 \text{ MWh}$

Vastaus:

Kiinteistön lämmöntarve on 64,8 MWh

Kattilan pienentämisellä voidaan säästää $129,6 \text{ MWh} - 92,6 \text{ MWh} = 37 \text{ MWh}$.

Tämä on hakkeesta riippuen noin 40 m^3 erä.

Tehtävä 6.1**Lähtötiedot:**

Lopputuotteen eli biopolttoaineen energiasisältö on 29,7 MJ/kg.

Energiasuhde on 0,5.

Esimerkki 6.1

Laskenta:

Valmistusprosessin ja fossiilisten energiapanosten energiasisältö:

$29,7 \text{ MJ/kg} / 0,5 = 59,4 \text{ MJ/kg}$

Nettoenergia: $59,4 \text{ MJ/kg} - 29,7 \text{ MJ/kg} = 29,7 \text{ MJ/kg}$

Vastaus:

Energiapanosten energiasisältö on 59,4 MJ/kg ja nettoenergia on 29,7 MJ/kg.

Tehtävä 6.2

Lähtötiedot:

Pienpuukohteen energiasisältö on 100 MWh/ha.

Työpäivän kesto on 9 h.

Työmaan pinta-ala on 1,0 ha.

Korjuuketjun polttoöljyn kulutus on: 10 l/h + 12 l/h = 22 l/h.

Moottoripolttoöljyn kulutus työpäivässä on: 9 h · 22 l/h = 198 litraa.

Taulukosta 3.1 nähdään, että moottoripolttoöljytönnin energiasisältö on 11,53 MWh ja tiheys $845 \text{ kg/m}^3 = 0,845 \text{ kg/dm}^3$.

Laskenta:

Moottoripolttoöljytönni litroina: $1000 \text{ kg} / 0,845 \text{ kg/dm}^3 = 1183 \text{ dm}^3 = 1183 \text{ l}$

Moottoripolttoöljylitran energiasisältö: $11,53 \text{ MWh} / 1183 = 0,00974 \text{ MWh/l}$

Kulutetun moottoripolttoöljyn energiasisältö: $198 \text{ l} \cdot 0,00974 \text{ MWh/l} = 1,93 \text{ MWh}$

Nettoenergia: $100 \text{ MWh} - 1,93 \text{ MWh} = 98,07 \text{ MWh}$

Energiasuhde: $100 \text{ MWh} / 1,93 \text{ MWh} = 51,8$

Vastaus:

Pienpuun nettoenergia on 98,1 MWh ja energiasuhde 51,8.

Toisin sanoen korjuukoneiden polttoaineen suora energiapanos on vähäinen verrattuna korjatun metsäenergian energiasisältöön.

Tehtävä 6.3

Lähtötiedot:

Työmaan pinta-ala on 3,0 ha.

Kantoerän energiasisältö on 420 MWh.

Kaivinkoneen ja kuormatraktorin työtunnit ovat yhteensä $9 \text{ h} \cdot 3 \text{ vrk} = 27 \text{ h}$.

Kaivinkoneen polttoaineen kulutus on 12 l/h.

Kuormatraktorin polttoaineen kulutus on 12 l/h.

Kantoerästä tulee 525 i-m^3 kantomursketta.

Kantomurskaukseen ja konesiirtoihin kuluu aikaa 9 h.

Kantomurskaimen polttoaineen kulutus on 65 l/h.

Hakekuormia tulee päivässä (9 h) neljä kappaletta ja kuorman koko on 140 i-m^3 .

Työmaan ja voimalaitoksen välinen matka on 40 km.

Hakeauton polttoaineen kulutus on 50 l/h.

Taulukosta 3.1 nähdään, että moottoripolttoöljytönnin energiasisältö on 11,53 MWh ja tiheys $845 \text{ kg/m}^3 = 0,845 \text{ kg/dm}^3$.

Laskenta:

Korjuuketjun (kaivinkoneen ja kuormatraktorin) polttoaineen kulutus:
 $(12 + 12) \text{ l/h} \cdot 27 \text{ h} = 648 \text{ litraa}$

Kantomurskaimen ja hakeauton polttoaineen kulutus:
 $(65 + 50) \text{ l/h} \cdot 9 \text{ h} = 115 \text{ l/h} \cdot 9 \text{ h} = 1035 \text{ litraa}$

Moottoripolttoöljyttonni litroina: $1000 \text{ kg} / 0,845 \text{ kg/dm}^3 = 1183 \text{ dm}^3 = 1183 \text{ l}$
 Moottoripolttoöljylitran energiasisältö: $11,53 \text{ MWh} / 1183 = 0,00974 \text{ MWh/l}$
 Kulutetun polttoöljyn energiasisältö:
 $(648 \text{ l} + 1035 \text{ l}) \cdot 0,00974 \text{ MWh/l} = 16,4 \text{ MWh}$

Nettoenergia: $420 \text{ MWh} - 16,4 \text{ MWh} = 403,6 \text{ MWh}$
 Energiasuhde: $420 \text{ MWh} / 16,4 \text{ MWh} = 25,6$

Vastaus:

Kantomurskeen nettoenergia on 403,6 MWh ja energiasuhde 25,6.

Suorat energia-panokset vastaavat: $16,4 \text{ MWh} / (420 \text{ MWh} / 3\text{ha}) = 0,12 \text{ ha:n}$ eli noin aarin alalta saatavan kantoerän energiasisältöä.

Tehtävä 6.4**Lähtötiedot:**

Laskutehtävä 6.3

Traktorin valmistukseen käytetty energiapanos on 158,9 MJ/kg.

Hankintakaluston valmistukseen käytetty energiapanos on 158,9 MJ/kg.

Hakkuukoneen massa on 10 t = 10 000 kg.

Kuormatraktorin massa on 10 t = 10 000 kg.

Kantomurskaimen massa on 36 t = 36 000 kg.

Hakeauton massa on 20 t = 20 000 kg.

Kaluston tekniseksi käyttöiäksi oletetaan 4 vuotta = 1 460 vrk.

Taulukosta 1.1 nähdään, että 1 MJ = 0,278 kWh.

Laskenta:

Hakkukoneen energiapanos:

$10000 \text{ kg} \cdot 158,9 \text{ MJ/kg} \cdot 3 \text{ vrk} / 1460 \text{ vrk} = 3265 \text{ MJ}$

Kuormatraktorin energiapanos:

$10000 \text{ kg} \cdot 158,9 \text{ MJ/kg} \cdot 3 \text{ vrk} / 1460 \text{ vrk} = 3265 \text{ MJ}$

Kantomurskaimen energiapanos:

$$36\,000 \text{ kg} \cdot 158,9 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ vrk} / 1460 \text{ vrk} = 3\,918 \text{ MJ.}$$

Hakeauton energiapanos:

$$20\,000 \text{ kg} \cdot 158,9 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ vrk} / 1460 \text{ vrk} = 2\,177 \text{ MJ}$$

Kaluston epäsuorat energiapanokset yhteensä: $12\,645 \text{ MJ} = 3,51 \text{ MWh}$

Nettoenergia: $420 \text{ MWh} - 16,4 \text{ MWh} - 3,51 \text{ MWh} = 400 \text{ MWh}$

Energiasuhde: $420 \text{ MWh} / (16,4 \text{ MWh} + 3,51 \text{ MWh}) = 21$

Vastaus:

Epäsuorat energiapanokset mukaan ottaen kantomurskeen nettoenergia on 400 MWh ja energiasuhde 21.

Laskelmissa ei ole otettu huomioon varaosien kiertoa, jälkimarkkinoita eikä kierrätystä. Metsänhoitotöiden energiapanosten tarkastelun pohjaksi ei ole olemassa riittäviä laskentatietoja. Kun energiapanoksia tarkastellaan suhteessa koneiden käyttöikään, metsäkoneiden energiapanokset ovat pienempiä kuin maatalouskoneiden vastaavat panokset, koska metsäkoneilla on enemmän käyttötunteja ja nopeammat kuoletusajat.

Tehtävä 6.5

Lähtötiedot:

Tuotantopanokset 6000 litraa polttoöljyä, 2000 kWh sähköä, 8600 kg siemeniä, 3500 kg lannoitteiden typpeä, 600 kg lannoitteiden fosforia, 520 kg lannoitteiden kalia ja 32000 kg kalkkia.

Tuotot: ohraa 150000 kg, kauraa 60000 kg ja rypsiä 19000 kg.

Energiasisällöt: polttoöljy 9,91 kWh/l, siemenet 5,3 kWh/kg, N 13,7 kWh/kg, P 4,3 kWh/kg, K 2,7 kWh/kg, kalkki 0,36 kWh/kg, ohra 4,04 kWh/kg, kaura 4,23 kWh/kg ja rypsi 6,9 kWh/kg.

Laskenta:

Panosten energia: (öljy) $6\,000 \text{ l} \cdot 9,91 \text{ kWh/l} + (\text{sähkö}) 2\,000 \text{ kWh} + (\text{S}) 8\,600 \text{ kg} \cdot 5,3 \text{ kWh/kg} + (\text{N}) 3\,500 \text{ kg} \cdot 13,7 \text{ kWh/kg} + (\text{P}) 600 \text{ kg} \cdot 4,3 \text{ kWh/kg} + (\text{K}) 520 \text{ kg} \cdot 2,7 \text{ kWh/kg} + (\text{kalkki}) 32\,000 \cdot 0,36 \text{ kWh/kg} = 171\,440 \text{ kWh} = 171 \text{ MWh}$

Sadon energia: (O) $150\,000 \text{ kg} \cdot 4,04 \text{ kWh/kg} + (\text{K}) 60\,000 \text{ kg} \cdot 4,23 \text{ kWh/kg} + (\text{R}) 19\,000 \text{ kg} \cdot 6,9 \text{ kWh/kg} = 989\,204 \text{ kWh} = 989 \text{ MWh}$

Energiasuhde on tuottojen energia jaettuna panosten energialla
 = 989 MWh / 171 MWh = 5,8

Vastaus:

Energiasuhde on 5,8. On huomattava, että ravinteesta riippuen 15 – 50 % (N 15 %!) niistä tuli karjanlantana, mutta energiataselaskennassa karjanta lasketaan usein vain levitysenergian menekin mukaan kuten tässäkin on tehty.

Tehtävä 7.1

Lähtötiedot:

Kunnan vuotuinen energiapotentiaali on 547 200 MWh ± 20 %:n virhemarginaali. Taulukosta 1.1 nähdään, että 3,6 MJ = 1 kWh.

Laskenta:

Vuotuinen energiapotentiaali: 547 200 MWh ± 20 % = 1 969 920 GJ ± 20 %
 $1\,969\,920 \text{ GJ} \cdot (100 - 20) / 100 = 1\,575\,936$
 $1\,969\,920 \text{ GJ} \cdot (100 + 20) / 100 = 2\,363\,904$

Vastaus:

Kunnan vuotuinen energiapotentiaali on 1 575 936 – 2 363 904 GJ.

Tehtävä 7.2

Lähtötiedot:

Taulukon 7.1 mukaan kunnan vuotuinen energiapotentiaali on 547 200 MWh, kuusen uudistamisalojen kannoista saadaan 130 MWh/ha ja energia-turpeesta saadaan 425 MWh/ha.

Laskenta:

a) Kuusikoiden uudistamistarve ja kannonostoalueen pinta-alatarve:

$547\,200 \text{ MWh} / 130 \text{ MWh/ha} = 4\,210 \text{ ha} \pm 20 \% \text{ virhemarginaali}$

$4\,210 \text{ ha} \cdot (100 - 20) / 100 = 3\,368 \text{ ha}$

$4\,210 \text{ ha} \cdot (100 + 20) / 100 = 5\,052 \text{ ha}$

b) Turvetuotantoalan tarve:

$547\,200 \text{ MWh} / 425 \text{ MWh/ha} = 1\,288 \text{ ha} \pm 20 \% \text{ virhemarginaali}$

$1\,288 \text{ ha} \cdot (100 - 20) / 100 = 1\,030,4 \text{ ha}$

$1\,288 \text{ ha} \cdot (100 + 20) / 100 = 1\,545,6 \text{ ha}$

Vastaus:

a) Kuusikoita pitäisi uudistaa vuodessa 3 368 – 5 052 ha.

b) Energiaturvetta tulisi tuottaa vuodessa 1 031 – 1 546 ha.

Tehtävä 7.3

Lähtötiedot:

Taulukon 7.1 mukaan kunnan kokonaisenergiapotentiaali on 547 200 MWh \pm 20 %:n virhemarginaali.

Poltettavan oljen määrä on 2 000 kg/ha = 2,0 t/ha.

Oljen energiatiheys on 14 GJ/t.

Taulukosta 1.1 nähdään, että 3,6 MJ = 1 kWh.

Laskenta:

Oljen energiasisältö: 2,0 t/ha \cdot 14 GJ/t. = 28,0 GJ/ha

28 GJ/ha = 28 000 MJ/ha / 3,6 MJ/kWh = 7778 kWh/ha = 7,8 MWh/ha

Kunnan kokonaisenergiapotentiaali 547 200 MWh \pm 20 %:n virhemarginaali:

547 200 MWh \cdot (100 - 20) / 100 = 437 760 MWh

547 200 MWh \cdot (100 + 20) / 100 = 656 640 MWh

Tarvittava peltoala:

437 760 MWh / 7,8 MWh/ha = 56 123 ha

656 640 MWh / 7,8 MWh/ha = 84 185 ha

Vastaus:

Jos kunnan kokonaisenergiapotentiaali tuotettaisiin oljella, peltoalaa tarvittaisiin 56 123 - 84 185 hehtaaria.

Kunnan peltoala on vain 1 000 ha, joten koko energianpotentiaalın tuottaminen oljella ei onnistuisi. Jatkuva oljen korjuu vaikuttaisi myös peltojen ravinnetalouteen. Suomessa on yhteensä noin 2,5 miljoonaa hehtaaria peltoa, eli kunta tarvitsisi noin 2,8 % koko Suomen peltoalasta voidakseen tuottaa oljella energiansa.

Tehtävä 7.4

Lähtötiedot:

Taulukko 7.1

Varttuneiden taimikoiden pinta-ala on 200 ha ja energiatiheys on 50 MWh/ha.

Nuorten metsien hoitoala on 500 ha ja energiatiheys 100 MWh/ha.

Kuusikoiden uudistamisala on 100 ha ja hakkuutähteen sekä kantojen energiatiheys on 110 MWh/ha + 130 MWh/ha = 240 MWh/ha.

Viljantuotantoala on 1 000 ha. Oljen energiatiheys 7 MWh/ha.

Ruokohelven tuotantoala on 10 ha ja energiatiheys 22 MWh/ha.

Energiaurpeen tuotantoala on 20 ha ja energiatiheys 425 MWh/ha.

Laskenta:

Varttuneiden taimikoiden energiapotentiaali: $200 \text{ ha} \cdot 50 \text{ MWh/ha} = 10\,000 \text{ MWh}$

Nuorten metsien energiapotentiaali: $500 \text{ ha} \cdot 100 \text{ MWh/ha} = 50\,000 \text{ MWh}$

Kuusikoiden uudistamisalan (hakkuutähde ja kannot) energiapotentiaali:
 $100 \text{ ha} \cdot 240 \text{ MWh/ha} = 24\,000 \text{ MWh}$

Viljantuotantoalan oljen energiapotentiaali: $100 \text{ ha} \cdot 7 \text{ MWh/ha} = 700 \text{ MWh}$

Ruokohelven tuotantoalan energiapotentiaali: $10 \text{ ha} \cdot 22 \text{ MWh/ha} = 220 \text{ MWh}$

Energiaturpeen tuotantoalan energiapotentiaali: $20 \text{ ha} \cdot 425 \text{ MWh/ha} = 8\,500 \text{ MWh}$

Yhteensä energiapotentiaalia: $93\,420 \text{ MWh} \pm 20\% \text{ virhemarginaali}$

$93\,420 \text{ MWh} \cdot (100 - 20) / 100 = 74\,736 \text{ MWh}$

$93\,420 \text{ MWh} \cdot (100 + 20) / 100 = 112\,104 \text{ MWh}$

Vastaus:

Konkurssikunnan vuotuinen energiapotentiaali on $74\,736 - 112\,104 \text{ MWh}$.

Tehtävä 7.5**Lähtötiedot:**

Kunnassa on 1 500 asukasta eli laskennallisesti noin 500 omakotitaloutta. Omakotitalon vuotuinen energiankulutus on 20 MWh.

Kunnassa on 20 maatilaa. Maatilan keskimääräinen vuotuinen energiankulutus on 146 MWh.

Kunnassa on 750 autoa. Autolla ajetaan vuodessa 10 000 km. Auton keskimääräinen polttoainekulutus on $6,0 \text{ l}/100 \text{ km} = 0,06 \text{ l}/\text{km}$.

Traktoreita on 20 kappaletta. Traktorilla tehdään 300 h töitä vuodessa ja traktorin polttoöljyn keskikulutus $10 \text{ l}/\text{h}$.

Taulukon 3.1 mukaan moottoripolttoöljyn tiheys on $845 \text{ kg}/\text{m}^3$ ja energiasisältö on $11,53 \text{ MWh}/\text{tonni} = 11,53 \text{ MWh}/1183 \text{ l}$.

Laskenta:

Omakotitalojen vuotuinen energiankulutus: $500 \cdot 20 \text{ MWh} = 10\,000 \text{ MWh}$

Maatilojen vuotuinen energiankulutus: $20 \cdot 146 \text{ MWh} = 2\,920 \text{ MWh}$

Henkilöautojen vuotuinen energiankulutus:

$750 \cdot 10\,000 \text{ km} \cdot 0,06 \text{ l}/\text{km} \cdot 11,53 \text{ MWh} / 1\,183 \text{ litraa} = 4\,385,9 \text{ MWh}$

Traktorien vuotuinen energiankulutus:

$$20 \cdot 300 \text{ h} \cdot 10 \text{ l/h} \cdot 11,53 \text{ MWh/1183 l} = 584,8 \text{ MWh}$$

Konkurssikunnan vuotuinen energiankulutus on yhteensä: 17890,7 MWh

Vastaus:

Konkurssikunnan energiapotentiaali riittää kunnan energiankulutukseen, koska kunnan vuotuinen energian kulutus, 17890 MWh, on pienempi kuin kunnan energiapotentiaali 74 736 – 112 104 MWh.

Tavanomaiset maaseutukunnat ovat laskennallisesti omavaraisia energian suhteen. Suukaupungeissa ja teollisuuspaikkakunnilla tilanne on toisenlainen. Jos pienen maaseutukunnan läpi kulkee vilkasliikenteinen moottoritie, vieraspaikkakuntalaisten liikennevirrat ja energiankulutus hankaloittavat laskelmia. Sellutehdaspaikkakunta taas on energiaomavarainen.

Tehtävä 7.6

Lähtötiedot:

Kasvukauden pituus 120 vrk

Kasvukauden keskimääräinen auringon säteilyteho 200 W/m²

Nurmen sato 15 000 kg ka/ha (ka = kuiva-aine)

Nurmen biokaasun tuotantopotentiaali 400 m³NH₄/t_{org. ka}

Yksi m³ metaania on 10 kWh

Nurmirehun kuiva-aineen lämpöarvo 19 MJ/kg.

Aurinkokennojen hyötysuhde 15 %

Laskenta:

Hehtaarin ala on 10 000 m² ja sille kertyy säteilyenergiaa:

10 000 m² · 200 W/m² · 120 vrk · 24 h/vrk = 5 760 000 000 Wh = 5 760 MWh. Tästä aurinkokennot muuntavat sähköksi 5 760 MWh · 15/100 = 864 MWh/ha kasvukaudessa. Jos ala olisi katettu kennoilla, tuottaisivat ne sähköä jossain määrin myös kasvukauden ulkopuolisella kaudella.

Hehtaarin bruttoenergia: 15 000 kg ka/ha · 19 MJ/kg = 285 000 MJ = 79 MWh

Fotosynteesin teho on auringon säteilyteho / nurmen sadon kuiva-aineen energiamäärä = 79 MWh / 5 760 MWh = 1,37 %.

Biokaasun tuotanto energiana: $15 \text{ t ka} \cdot 400 \text{ m}^3 \text{NH}_4 / \text{t}_{\text{org. ka}} \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 \text{NH}_4 = 60000 \text{ kWh} = 60 \text{ MWh}$. Tästä saadaan sähköä $60 \text{ MWh} \cdot 40/100 = 24 \text{ MWh/ha}$ vuodessa. Tässä on oletettu koko sadon olevan orgaanista kuiva-ainetta. Todellisuudessa laskelmassa tulee parin tuhkaprosentin verran virhettä.

Vastaus:

Aurinkokennojen tuottama sähköenergia: 5760 MWh

Fotosynteesin hyötysuhde 1,37 %. Tämä on hyvin korkea luku ja on noin 40 % C3-kasvien biologisesta maksimista. Käytännön viljelyssä lukema on yleensä alle 1 %.

Aurinkokennoilla saataisiin 864 MWh/ha sähköenergiaa kesän 120 vrk:n aikana (kasvukaudella).

Biokaasulaitoksella saadaan nurmisadosta sähköä 24 MWh/ha vuodessa.

Tehtävä 8.1

Lähtötiedot:

Hankintakustannukset ovat 40 €/m^3 .

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on $2,0 \text{ MWh/m}^3$.

Laskenta:

Hankintakustannukset ovat: $40 \text{ €/m}^3 / 2,0 \text{ MWh/m}^3 = 20,0 \text{ €/MWh}$

Vastaus:

Hankintakustannukset ovat $20,0 \text{ €/MWh}$.

Tehtävä 8.2

Lähtötiedot:

Hakkuupoistuma on $50 \text{ m}^3/\text{ha}$. Tekstin mukaan tällöin poistuman vaikutus hankintakustannuksiin on $\pm 0 \text{ €/m}^3$.

Rungon keskijäreys on 40 dm^3 . Kuvan 8.1 mukaan hakkuukustannukset ovat tällöin 16 €/m^3 .

Työmaan metsäkuljetusmatka on 200 m. Kuvan 8.2 mukaan metsäkuljetuskustannukset ovat tällöin $6,50 \text{ €/m}^3$.

Kaukokuljetusmatka metsätien varrelta lämpölaitokselle on 60 km. Kuvan 8.3 mukaan kaukokuljetuskustannukset ovat tällöin $6,00 \text{ €/m}^3$.

Talvikohteen korjuu- että kuljetuskustannukset nostavat hintaa 1,00 €/m³.

Leimikon pinta-ala on 1 ha.

Tekstin mukaan yleiskustannukset ovat 3,00 €/m³ ja haketuskuustannukset 5,00 €/m³.

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on 2 MWh/m³.

Laskenta:

Hakkuupoistuma 50 m ³ /ha:	0,00 €/m ³
Hakkuukustannukset:	16,00 €/m ³
Metsäkuljetuskustannukset:	6,50 €/m ³
Kaukokuljetusmatkakustannukset:	6,00 €/m ³
Yleiskustannukset:	3,00 €/m ³
Haketuskustannukset:	5,00 €/m ³
Korjuun talvilisä:	1,00 €/m ³

HANKINTAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ: 37,50 €/m³

$$37,50 \text{ €/m}^3 / 2 \text{ MWh/m}^3 = 18,90 \text{ €/MWh}$$

Vastaus:

Talvikorjuutyömaan hankintakustannukset ovat 37,50 €/m³ eli 18,90 €/MWh.

Tehtävä 8.3

Lähtötiedot:

Hakkuupoistuma on 60 m³/ha. Tekstin mukaan tämän vaikutus hankintakustannuksiin on -1,20 €/m³.

Rungon koko on 50 dm³. Kuvan 8.1 mukaan tällöin hakkuukustannus on 14,50 €/m³.

Metsäkuljetusmatka on 100 m. Kuvan 8.2 mukaan tällöin metsäkuljetuskustannus on 5,60 €/m³

Kaukokuljetusmatka on 40 km. Kuvan 8.3 mukaan tällöin kaukokuljetuskustannus on 5,10 €/m³.

Leimikon pinta-ala on 1 ha.

Tekstin mukaan yleiskustannukset ovat 3 €/m³ ja haketuskuustannus 5 €/m³.

Talvikohteen korjuu- että kuljetuskustannukset nostavat hintaa 1,00 €/m³.

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on 2 MWh/m³.

Laskenta:

Hakkuupoistuma 60 m ³ /ha:	-1,20 €/m ³
Rungon hakkuukustannukset:	14,50 €/m ³
Metsäkuljetuskustannukset:	5,60 €/m ³
Kaukokuljetusmatkakustannukset:	5,10 €/m ³
Yleiskustannukset:	3,00 €/m ³
Haketuskustannukset:	5,00 €/m ³
Korjuun talvilisä:	1,00 €/m ³
HANKINTAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ:	33,00 €/m³

$$33 \text{ €/m}^3 / 2 \text{ MWh/m}^3 = 16,50 \text{ €/MWh}$$

Vastaus:

Työmaan hankintakustannukset ovat 33 €/m³ eli 16,50 €/MWh.

Tehtävä 8.4**Lähtötiedot:**

Hakkuupoistuma on 40 m³/ha. Tekstin mukaan tällöin sen vaikutus hankintakustannuksiin on +1,60 €/m³.

Rungon keskijäreys on 20 dm³. Kuvan 8.1 mukaan tällöin hakkuukustannukset ovat 21 €/m³.

Metsäkuljetusmatka on 400 m. Kuvan 8.2 mukaan tällöin metsäkuljetuskustannus on 8,40 €/m³

Kaukuljetusmatka on 100 km. Kuvan 8.3 mukaan tällöin kaukokuljetuskustannus on 7,70 €/m³.

Leimikon pinta-ala on 1 ha.

Tekstin mukaan yleiskustannukset ovat 3,00 €/m³ ja haketuskustannukset 5,00 €/m³.

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on 2 MWh/m³.

Kesäleimikossa korjuu- ja kaukokuljetuskustannukset laskevat yhteensä -1,0 €/m³.

Laskenta:

Hakkuupoistuma 40 m ³ /ha:	1,60 €/m ³
Rungon hakkuukustannukset:	21,00 €/m ³
Metsäkuljetuskustannukset:	8,40 €/m ³
Kaukokuljetusmatkakustannukset:	7,70 €/m ³
Yleiskustannukset:	3,00 €/m ³
Haketuskustannukset:	5,00 €/m ³
Korjuun- ja kaukokuljetuksen kesävähennys:	-1,00 €/m ³
HANKINTAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ:	45,70 €/m³

$$45,70 \text{ €/m}^3 / 2 \text{ MWh/m}^3 = 22,90 \text{ €/MWh}$$

Vastaus:

Kesäkorjuutyömaan hankintakustannukset ovat 45,70 €/m³ eli 22,90 €/MWh.

Tehtävä 8.5**Lähtötiedot:**

Samat lähtötiedot kuin tehtävässä 8.4

Metsurin päiväkustannus on 200 €.

Savottaan menee 5 päivää.

Metsäkuljetuskustannukset ovat 2 €/m³ suuremmat kuin tehtävässä 8.4.

Laskenta:

Metsurin kustannukset 1 ha:n savotalta: $200 \text{ €/pv} \cdot 5 \text{ pv} = 1\,000 \text{ €}$

Hakkuukustannukset: $1\,000 \text{ €/ha} / 40 \text{ m}^3 = 25,00 \text{ €/m}^3$

Metsäkuljetuskustannukset: $8,40 \text{ €/m}^3 + 2 \text{ €/m}^3 = 10,40 \text{ €/m}^3$

Kaukokuljetusmatkakustannukset: $7,70 \text{ €/m}^3$

Yleiskustannukset: $3,00 \text{ €/m}^3$

Haketuskustannukset: $5,00 \text{ €/m}^3$

Korjuun- ja kaukokuljetuksen kesävähennys: $-1,00 \text{ €/m}^3$

HANKINTAKUSTANNUKSET YHTEENSÄ: $50,10 \text{ €/m}^3$

$$50,10 \text{ €/m}^3 / 2 \text{ MWh/m}^3 = 25 \text{ €/MWh}$$

Vastaus:

Hankintakustannukset ovat 50,10 €/m³ eli 25 €/MWh.

Tehtävä 8.6**Lähtötiedot:**

Puukustannukset ovat 2,50 €/MWh eli 5 €/m³.

Muut kustannukset ovat 32 €/m³.

Taulukon 3.1 perusteella puun energiasisältö on 2 MWh/m³.

Laskenta:

Puukustannukset ovat: $2,50 \text{ €/MWh} \cdot 2 \text{ MWh/m}^3 = 5 \text{ €/m}^3$

Hankintakustannukset ovat: $32 \text{ €/m}^3 + 5 \text{ €/m}^3 = 37 \text{ €/m}^3$

$$37 \text{ €/m}^3 / 2 \text{ MWh/m}^3 = 18,50 \text{ €/MWh}$$

Vastaus:

Kokonaishankintakustannukset ovat 37 €/m³ eli 18,50 €/MWh.

Tehtävä 8.7**Lähtötiedot:**

Hoitokohteen pinta-ala on 5,0 ha.

Hakkuukertymä 30–60 m³/ha.

Taulukon 3.1 perusteella puun energiasältö on 2,0 MWh/m³.

Laskenta:

Puumäärät: 5,0 ha · 30 m³/ha = 150 m³ ja 5 ha · 60 m³/ha = 300 m³

Puun energiasältö: 150 m³ · 2 MWh/m³ = 300 MWh

300 m³ · 2,0 MWh/m³ = 600 MWh

Vastaus:

Pienpuuta saadaan 150–300 m³.

Puumäärän energiasältö on 300–600 MWh.

Tehtävä 8.8**Lähtötiedot:**

Leimikon hakkuukertymä on 200 m³/ha ja pinta-ala on 2,0 ha.

Hakkuutähteen osuus on 20 %.

Kantojen ja juurakoiden osuus on 25 %.

Laskenta:

Ainespuuta: 200 m³/ha · 2,0 ha = 400,0 m³

Hakkuutähteen määrä: 20 % · 400,0 m³ = 80 m³

Kantojen ja juurakoiden määrä: 25 % · 400,0 m³ = 100 m³

Vastaus:

Hakkuutähteen määrä on arviolta 80 m³. Kantojen ja juurakoiden määrä on 100 m³.

Tehtävä 8.9**Lähtötiedot:**

Leimikon hakkuukertymä on 400 m³/ha.

Leimikon pinta-ala on 2,0 ha.

Hakkuutähteen osuus on 25 %

Kantojen ja juurakoiden osuus on 28 %.

Taulukon 3.1 perusteella puun energiasältö on 2 MWh/m³.

Laskenta:

Ainespuumäärä yhteensä: $400 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 2,0 \text{ ha} = 800,0 \text{ m}^3$

Hakkuutähteen määrä: $25 \% \cdot 800,0 \text{ m}^3 = 200 \text{ m}^3$

Kantojen ja juurakoiden määrä: $28 \% \cdot 800,0 \text{ m}^3 = 224 \text{ m}^3$

Hakkuutähteen energiasisältö: $200 \text{ m}^3 \cdot 2,0 \text{ MWh}/\text{m}^3 = 400 \text{ MWh}$

Kantojen ja juurakoiden energiasisältö: $224 \text{ m}^3 \cdot 2,0 \text{ MWh} = 448 \text{ MWh}$

Vastaus:

a) Hakkuutähteitä on arviolta 200 m^3 sekä kantoja ja juurakoita 224 m^3 .

Hausjärvellä kuusikoiden uudistamispuustot voivat olla kaksi kertaa suurempia kuin Seinäjoella.

b) Hakkuutähteen energiasisältö on 400 MWh sekä kantojen ja juurakoiden energiasisältö 448 MWh .

Hakkuutähteellä lämmittäisi 20 omakotitaloa vuodessa ja kannoilla vastaavasti 22 omakotitaloa.

Tehtävä 8.10

Lähtötiedot:

Energiapuun hehtaarikertymä on $45,0 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Leimikon pinta-ala on $3,0 \text{ ha}$.

Pinta-alatuki on $252,50 \text{ €/ha}$

Kantohinta on $3,0 \text{ €/m}^3$.

Laskenta:

a) Kantorahatulo tukimallissa: $252,50 \text{ €} \cdot 3,0 \text{ ha} = 757,50 \text{ €}$

b) Kantorahatulo normaalisti: $3,0 \text{ €/m}^3 \cdot 45,0 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 3,0 \text{ ha} = 405,0 \text{ €}$

Vastaus:

Tukimalli a) ($757,50 \text{ €}$) on tässä tapauksessa kantorahatuloa b) ($405,0 \text{ €}$) parempi metsänomistajalle.

Sopimuskäytänteet voivat vaihdella tukien, kantohintojen ja leimikkotietojen mukaan.

Tehtävä 8.11**Lähtötiedot:**

Leimikon pinta-ala on 3,0 ha.

Kuusitukkaa ja kuitupuuta kertyy 300 m³/ha.

a) Latvusmassan on 20 €/ha ja kantojen hehtaarihinta on 20 €/ha.

b) Latvusmassan hinta on 2,50 €/m³ ja kantojen on 2,50 €/m³.

Laskenta:

a) Metsänomistajalle maksetaan: 3,0 ha · 40 €/ha = 120 €

b) Hakkuukertymä: 300 m³/ha · 3,0 ha = 900 m³

Hakkuutähdettä: 900 m³ · 20 % = 180 m³

Hakkuutähteestä maksetaan: 180 m³ · 2,5 €/m³ = 450 €

Kantoja: 900 m³ · 25 % = 225 m³

Kannoista maksetaan: 225 m³ · 2,50 €/m³ = 562,50

Yhteensä maksetaan: 450 € + 562,50 € = 1012,50 €

Vastaus:

B-vaihtoehto, jossa ostaja maksaa kuutiometripohjaista kantohintaa on a-vaihtoehtoon hehtaarikohtaista hinnoittelua parempi vaihtoehto metsänomistajalle.

Tehtävä 8.12**Laskentatiedot:**

Lämpötili on 25 €/MWh.

Energiapuukertymä on 100 m³ eli 50 m³/ha.

Leimikon pinta-ala on 2,0 ha.

Hankintakustannus on 40 €/m³.

Pinta-alamatuki on 252,50 €/ha.

Korjuutuki on 7 €/m³.

Toteutuspalvelustuki on 51 €/ha.

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on 2,0 MWh/m³.

Laskenta:

Lämpötili:	100 m ³ · 2,0 MWh/m ³ · 25 €/MWh =	+5 000 €
Hankintakustannukset:	100 m ³ · 40 €/m ³ =	-4 000 €
Pinta-alamatuki:	252,50 € · 2,0 ha =	-505 €
Korjuutuki:	7 €/m ³ · 100 m ³ =	-700 €
Toteutuspalvelustuki:	51 €/ha · 2,0 ha =	+102 €
Kaupan kate:		-103 €

Vastaus:

Kauppa jää 103 € tappiolle.

Laskelmassa ei ole mukana veroja. Yhtiösi tuottaa metsäenergiaa imago-mieleessä ja valmistaa pääasiassa sahatavaraa, vaneria, voimapaperia ja pakkauskartonkia.

Tehtävä 8.13**Lähtötiedot:**

Lähtötiedot samat kuin tehtävässä 8.12, mutta kantohinta on 5 €/m³ maksetaan myyjälle ja pinta-aratuki tulee yhtiölle.

Laskenta:

Lämpötili:	$100 \text{ m}^3 \cdot 2,0 \text{ MWh/m}^3 \cdot 25 \text{ €/MWh} =$	+5 000 €
Hankintakustannukset:	$100 \text{ m}^3 \cdot 40 \text{ €/m}^3 =$	-4 000 €
Pinta-aratuki:	$252,50 \text{ €} \cdot 2,0 \text{ ha} =$	+505 €
Kantohinta:	$100 \text{ m}^3 \cdot 5 \text{ €/m}^3 =$	-500 €
Korjuutuki:	$7 \text{ €/m}^3 \cdot 100 \text{ m}^3 =$	-700 €
Toteutus selvitystuki:	$51 \text{ €/ha} \cdot 2,0 \text{ ha} =$	+102 €
Kaupan kate:		+407 €

Vastaus:

Jos metsäyhtiösi saa pinta-aratukea ja maksaa kantohintaa 5 €/m³, kaupan kate on 407 € > 0 eli toiminta kannattaa.

Jos metsäyhtiösi saa pinta-aratukea ja maksaa kantohintaa 9 €/m³, kaupan kate on 7 € > 0, eli tätä suuremmalla kantohinnalla toiminta ei enää kannata.

Tehtävä 8.14**Lähtötiedot ja laskenta:**

Leimikon pinta-ala on 5,0 hehtaaria sekä hakkuukertymä 45,0 m³/ha.

Taulukon 3.1. mukaan puussa on energiaa 2,0 MWh/m³.

a) $45,0 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 5,0 \text{ ha} \cdot 7 \text{ €/m}^3 = 1575 \text{ €}$

b) $252,50 \text{ €/ha} \cdot 5,0 \text{ ha} = 1262,50 \text{ €}$

c) $45,0 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 5,0 \text{ ha} \cdot 7 \text{ €/m}^3 = 1575 \text{ €}$

d) $(45,0 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 5,0 \text{ ha} \cdot 1 \text{ €/m}^3) + (252,50 \text{ €/ha} \cdot 5,0 \text{ ha} / 2) = 225 \text{ €} + 631,25 \text{ €} = 856,25 \text{ €}$

e) $(45,0 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 5,0 \text{ ha} \cdot 2,0 \text{ MWh/m}^3) \cdot 20 \text{ €} = 9000 \text{ €} \rightarrow$ Kannattavin vaihtoehto
 f) $9000 \text{ €} - (250 \text{ €/ha} \cdot 5,0 \text{ ha}) = 7750,00 \text{ €}$

Vastaus:

Vaihtoehto e on Virtaselle kannattavin. Vaihtoehto on kannattavin, vaikka Virtanen joutuisi maksamaan osittaisen ennakkoräivauksen.

Vaihtoehto f on myös kannattava, vaikka ennakkoräivauksen maksaa. Ennakko-
 räiväuskustannus voi joskus olla puiden arvoa suurempi.

Tehtävä 8.15**Lähtötiedot:**

Tilavuus on 40 litraa. Klapien välissä on ilmaa, joten tilavuus on pinomitta.

40 l:n laatikon hinta on 3,49 €.

Kiintokuutiometri on 1 000 litraa.

Termiselitysten mukaan 1 kiintokuutiometri on 1,5 pinokuutiometriä ja irto-
 kuutiot muunnetaan kiintokuutiometreiksi jakamalla hakemäärä luvulla 2,5.

Laskenta:

Tilavuus kiintokuutiometreinä: $40 \text{ l} / 1,5 = 26,7 \text{ l}$

Klapien litrahinta: $3,49 \text{ €} / 26,7 \text{ l} = 0,13 \text{ €/l}$

1 000 l puuta maksaa: $0,13 \text{ €/l} \cdot 1000 \text{ l} = 130,70 \text{ €}$

Vastaus:

Puun hinta on 130,70 € kiintokuutiometriä kohti 130,70 €.

Hinta on noin 4,5 kertaa suurempi kuin harvennuskuitupuun hankintahinta
 helmikuussa 2014.

Tehtävä 9.1**Lähtötiedot:**

Kuormatraktorin hinta on 225 000 €.

Käyttötuntikustannukset ovat 63 €/h.

Vuotuiset käyttökustannukset ovat 156 190 €.

Koneen tuottavuus on a) 10 000 m³/a, b) 25 000 m³/a c) 40 000 m³/a.

Käyttöaika vuodessa on 2592,5 tuntia.

Laskenta:

a) $156\,190 \text{ €} / 10\,000 \text{ m}^3 = 15,62 \text{ €/m}^3$

b) $156\,190 \text{ €} / 25\,000 \text{ m}^3 = 6,25 \text{ €/m}^3$

c) $156\,190 \text{ €} / 40\,000 \text{ m}^3 = 3,90 \text{ €/m}^3$

Tunnissa kuljetetaan kiintokuutiometreinä:

- a) $10\,000\text{ m}^3/\text{a} / 2592,5\text{ h/a} = 3,9\text{ m}^3/\text{h}$
- b) $25\,000\text{ m}^3/\text{a} / 2592,5\text{ h/a} = 9,6\text{ m}^3/\text{h}$
- c) $40\,000\text{ m}^3/\text{a} / 2592,5\text{ h/a} = 15,4\text{ m}^3/\text{h}$

Vastaus:

- a) Kuormatraktorin vuosikustannukset ovat $15,60\text{ €/m}^3$. Tunnissa kuljetetaan kiintokuutiometreinä $3,9\text{ m}^3/\text{h}$.
- b) Kuormatraktorin vuosikustannukset ovat $6,30\text{ €/m}^3$. Tunnissa kuljetetaan kiintokuutiometreinä $9,6\text{ m}^3/\text{h}$.
- c) Kuormatraktorin vuosikustannukset ovat $3,90\text{ €/m}^3$. Tunnissa kuljetetaan kiintokuutiometreinä $15,4\text{ m}^3/\text{h}$.

Tehtävä 9.2

Lähtötiedot:

Lähtötiedot ovat samat kuin tehtävässä 9.1.

Laskenta:

- a) Työvoimakustannukset: $59\,128\text{ €} / 156\,190\text{ €} = 37,9\%$
Pääomakustannukset (poisto ja korko): $39\,743 / 156\,190\text{ €} = 25,4\%$
Polttoainekustannukset: $25\,666\text{ €} / 156\,190\text{ €} = 16,4\%$
- b) Vaihda Liite 1:n laskelmataulukossa hankintahinnaksi $250\,000\text{ €}$.

Vastaus:

- a) Työvoimakustannusten osuus lopputuloksesta on $37,9\%$, pääomakustannusten osuus $25,4\%$ ja polttoainekustannusten osuus $16,4\%$.

Käyttötuntilaskelmassa keskeinen osa on kiinteillä pääomakustannuksilla. Velanhoitokulut pitää hoitaa aina, vaikka töitä ei olisi. Kiinteissä työkustannuksissa on keskeinen osuus palkan sivukuluilla. Polttoaineen kulutus riippuu työtunneista. Mitä enemmän työtunteja, sitä enemmän kuluu polttoainetta, joten kyse on muuttuvista kustannuksista.

- b) Laskelman mukaan vuotuiset käyttötuntikustannukset ovat $162\,450\text{ €/h}$ eli 66 €/h , jos koneen hankintahinta olisi $250\,000\text{ €}$.

Tehtävä 9.3

Lähtötiedot:

Lähtötiedot ovat samat kuin tehtävässä 9.1.

Laskenta:

Käyttötuntilaskelmaan laitetaan uudet tunnit eli 2 000 h käyttöaikatuntimäärän 2 592,5 h paikalle.

Vastaus:

Käyttökustannukset ovat 145 830 €/a ja vuotuiset käyttötuntikustannukset 77 €/h.

Kun käyttötuntimäärä laskee, niin käyttökustannukset laskevat muuttuvien kustannusten pienentyessä. Laskelmassa koneenkuljettajan oletetaan tekevän huoltotöitä ja korvaavia töitä. Pääomakustannukset eivät muutu. Työseisokit merkitsevät erityisesti polttoainekustannusten alenemista.

Tehtävä 9.4

Lähtötiedot:

Lähtötiedot ovat samat kuin tehtävässä 9.1.

Laskenta:

Käyttötuntilaskelmaan (peruslaskelma yksikkötuntikustannukset 63 €/h) laitetaan uudeksi tuntityöpalkaksi 9 €/h.

Vastaus:

Palkkojen nousu euron tunnissa nostaa käyttökustannukset 156 941 euroon. Yksikkötuntikustannukset ovat 64 €/h.

Tehtävä 9.5

Lähtötiedot:

Käyttötuntikustannukset ovat 150 €/h.

Haketustyön tuottavuus on a) 85 m³/h ja b) 100 m³/h.

Laskenta:

a) $150 \text{ €/h} / 85 \text{ m}^3/\text{h} = 1,80 \text{ €/m}^3$

b) $150 \text{ €/h} / 100 \text{ m}^3/\text{h} = 1,50 \text{ €/m}^3$

Vastaus:

a) Irtokuution haketus maksaa 1,80 €/m³.

b) Irtokuution haketus maksaa 1,50 €/m³.

Jos haketuskustannukset ovat 1,50 € irtokuutiolta, kiintokuutiometrin haketus kustannukset ovat 3,75 €.

Tehtävä 9.6

Lähtötiedot:

Hakkurin käyttötuntilaskelma

Vastaus:

Laskelmassa ilmenee, että hakkuri kuluttaa erittäin paljon polttoainetta: 64,9 litraa tunnissa. Vuosituntimäärä on yli 4 000 tuntia. Vakuutusmaksut ovat korkeat palovaaran takia. Koska autohakkurissa on pyörät, lavettikustannuksia ei ole. Koska alalla on työvoimapula, on palkka esimerkkilaskelmassa suurempi kuin metsäkonealalla yleensä.

Vuotuiset käyttökustannukset ovat 394 487 € ja käyttötuntikustannus 151 €.

Tehtävä 10.1

Lähtötiedot:

Hakemäärä on 300 kiintokuutiometriä.

1 kiintokuutiosta saadaan 2,5 irtokuutiota haketta.

Kuormatila a) 120 irtokuutiometriä ja b) 150 irtokuutiometriä.

Laskenta:

Haketta irtokuutioina: $300 \text{ k-m}^3 \cdot 2,5 = 750 \text{ i-m}^3$

a) Ajokertoja, kun kuormatila on 120 m³: $750 \text{ i-m}^3 / 120 \text{ i-m}^3 = 6,25$

b) Ajokertoja, kun kuormatila on 150 i-m³: $750 \text{ i-m}^3 / 150 \text{ i-m}^3 = 5$

Vastaus:

a) Tarvitaan 7 ajokertaa, koska 6 ajokertaa ei riitä.

b) Tarvitaan tasan 5 ajokertaa.

Tehtävä 10.2

Lähtötiedot:

Kuvasta 10.1 nähdään:

a) Myyntihinta on 7 314 €, jos kosteus on 35 %.

 Myyntihinta on 5 445 €, jos kosteus on 60 %.

b) Myyntihinta on 7 314 €, jos kosteus on 35 %.

 Myyntihinta on 6 374 €, jos kosteus on 60 %.

c) Myyntihinta kohdissa a) ja b) oli 75 €/MWh. Uusi myyntihinta kohdissa on 100 €/MWh.

Laskenta:

- a) $7314 \text{ €} - 5445 \text{ €} = 1869 \text{ €}$ enemmän
 b) $7314 \text{ €} - 6374 \text{ €} = 940 \text{ €}$ enemmän
 c) Uuden myyntihinnan vaikutus a- ja b-vastauksiin:
 a) $1869 \text{ €} / 75 \text{ €/MWh} \cdot 100 \text{ €/MWh} = 2492,00 \text{ €}$
 b) $940 \text{ €} / 75 \text{ €/MWh} \cdot 100 \text{ €/MWh} = 1253,30 \text{ €}$

Vastaus:

Myyntitulot olisivat a) 1869 € enemmän ja b) 940 € enemmän.

Jos energian myyntihinta on 100 €/MWh, myyntitulot olisivat: a) 2 492 € enemmän ja b) 1 253,30 € enemmän.

Tehtävä 10.3**Lähtötiedot:**

Energiapuun kuiva-tuoretiheys on 400 kg/k-m^3 .

- a) Kuormatilavuus on 120 m^3 ja hakkeen kosteus on 30 %.
 b) Kuormatilavuus on 150 m^3 ja hakkeen kosteus on 55 %.
 Määritysten mukaan 2,5 irtokuutiota vastaa 1 kiintokuutiota.

Laskenta:

a) Yhden kiintokuution sisältämä vesimäärä:

$$400 \text{ kg/k-m}^3 / (100 \% - 30 \%) \cdot 30 \% = 171,43 \text{ kg} = 171,4 \text{ litraa}$$

$$\text{Hakekiintokuutioita kuormassa: } 120 \text{ i-m}^3 / 2,5 = 48 \text{ k-m}^3$$

$$\text{Kuorman vesimäärä litroina: } 171,43 \text{ litraa} \cdot 48 \text{ k-m}^3 = 8228,6 \text{ litraa}$$

b) Yhden kiintokuution sisältämä vesimäärä:

$$400 \text{ kg/k-m}^3 / (100 \% - 55 \%) \cdot 55 \% = 488,89 \text{ kg} = 488,9 \text{ litraa}$$

$$\text{Hakekiintokuutioita kuormassa: } 150 \text{ i-m}^3 / 2,5 = 60 \text{ k-m}^3$$

$$\text{Kuorman vesimäärä litroina: } 488,9 \text{ litraa} \cdot 60 \text{ k-m}^3 = 29334 \text{ litraa}$$

Vastaus:

Täydessä hakekuormassa on vettä a) 8 229 litraa ja b) 29 334 litraa.

Tehtävä 10.4**Lähtötiedot:**

Yhdistelmän kokonaismassa on 64 000 kg ja omamassa 23 000 kg.

Energiapuun kuivatuoretiheys on 400 kg/m^3

Energiapuun kosteudet ovat a) 20 %, b) 40 % ja c) 60 %.

Laskenta:

Kuorman maksimimassa: $64\,000\text{ kg} - 23\,000\text{ kg} = 41\,000\text{ kg}$

a) Yhden kiintokuution kokonaismassa (vesi + kuiva-aine):

$$400\text{ kg/k-m}^3 / (100\% - 20\%) \cdot 100\% = 500\text{ kg/k-m}^3$$

$$\text{Maksimimassan sallima kuutiomäärä: } 41\,000\text{ kg} / 500\text{ kg/k-m}^3 = 82\text{ k-m}^3$$

b) Yhden kiintokuution kokonaismassa (vesi + kuiva-aine):

$$400\text{ kg/k-m}^3 / (100\% - 40\%) \cdot 100\% = 666,7\text{ kg/k-m}^3$$

$$\text{Maksimimassan sallima kuutiomäärä: } 41\,000\text{ kg} / 666,7\text{ kg/k-m}^3 = 61,5\text{ k-m}^3$$

c) Yhden kiintokuution kokonaismassa (vesi + kuiva-aine):

$$400\text{ kg/k-m}^3 / (100\% - 60\%) \cdot 100\% = 1\,000\text{ kg/k-m}^3$$

$$\text{Maksimimassan sallima kuutiomäärä: } 41\,000\text{ kg} / 1\,000\text{ kg/k-m}^3 = 41\text{ k-m}^3$$

Vastaus:

Kiintokuutioita voidaan kuljettaa a) 82 k-m^3 , b) $61,5\text{ k-m}^3$ ja c) 41 k-m^3 .

Tehtävä 10.5**Lähtötiedot:**

Hakeauton kuormatilavuus on 120 m^3 .

Kuljetusmatka on $1\,200\text{ km}$.

Hakkeen kuivatuoretiheys on 400 kg/k-m^3 .

Hakkeen kosteus laskee 55% :sta 30% :iin.

1 kiintokuutiosta saadaan $2,5$ irtokuutiota haketta.

Laskenta:

$$\text{Kuormassa haketta kiintokuutioina: } 120\text{ m}^3 / 2,5 = 48\text{ k-m}^3$$

Kiintokuution massa laskee kosteuspitoisuuden laskiessa:

$$400\text{ kg/k-m}^3 / (100\% - 55\%) \cdot 100\% = 888,9\text{ kg/k-m}^3$$

$$400\text{ kg/k-m}^3 / (100\% - 30\%) \cdot 100\% = 571,4\text{ kg/k-m}^3$$

$$888,9\text{ kg/k-m}^3 - 571,4\text{ kg/k-m}^3 = 317,5\text{ kg/k-m}^3$$

$$\text{Koko kuorman massa laskee: } 317,5\text{ kg/k-m}^3 \cdot 48\text{ k-m}^3 = 15\,240\text{ kg}$$

Polttoaineen kulutus laskee:

$$15\,240\text{ kg} / 1\,000\text{ kg} \cdot 0,6\text{ litraa} \cdot (1\,200\text{ km} / 100\text{ km}) = 109,7\text{ litraa}$$

Vastaus:

Polttoaineen kulutus laskee $109,7$ litraa.

Tehtävä 10.6

Lähtötiedot:

Keskinopeus kuormattuna on 60 km/h.

Keskinopeus tyhjänä on 65 km/h.

Kuormanteko kestää 1 tunnin metsäpäässä.

Kuorman purku vie 0,5 tuntia laitoksella.

Matka on 50 km.

Kuormia on 4.

Laskenta:

a) Matka-aika lämpölaitokselta varastolle tyhjänä: $50 \text{ km} / 65 \text{ km/h} \cdot 4 = 3,08 \text{ h}$

Matka-aika varastolta lämpölaitokselle kuormattuna :

$50 \text{ km} / 60 \text{ km/h} \cdot 4 = 3,33 \text{ h}$

Kuormauksiin ja purkuihin kuluva aika: $(1 \text{ h} + 0,5 \text{ h}) \cdot 4 = 6 \text{ h}$

Hakkeen kuljettamiseen kuluva aika yhteensä: $3,08 \text{ h} + 3,33 \text{ h} + 6 \text{ h} = 12,41 \text{ tuntia}$

Ajan desimaalit minuutteina: $60 / 100 \cdot 41 = 24,6 \text{ min}$

Hakkeen kuljettamiseen kuluu: 12 h 25 min

b) Odotusaika kuormauksen jälkeen:

$50 \text{ km} / 65 \text{ km/h} + 50 \text{ km} / 60 \text{ km/h} + 0,5 \text{ h} = 2,10 \text{ h}$

Odotusaika yhteensä: $3 \cdot 2,10 \text{ h} = 6,3 \text{ h}$

Ajan desimaalit minuutteina: $60/100 \cdot 30 = 18 \text{ min}$

Odotusaika: 6 h 18 min

Vastaus:

a) Hakkeen kuljettaminen kestää 12 h 25 min.

b) Hakkurin käyttäjä odottaa 6 h 18 min.

Tehtävä 10.7

Lähtötiedot:

Vanhan lain mukaan maksimipaino on auton massa 20 t + kuorma 40 t = 60 t.

Uuden lain mukaan maksimipaino on auton massa 24 t + kuorma 52 t = 76 t.

Hakkeen kosteus on 35 %.

Energiapuun kuivatuoretiheys on 400 kg/m^3 .

Laskenta:

Haketta voi kuljettaa enemmän: $52 \text{ t} - 40 \text{ t} = 12 \text{ t} = 12\,000 \text{ kg}$

Veden massa, kun hakkeen kosteus on 35 %:

$400 \text{ kg/m}^3 / (100 \% - 35 \%) \cdot 35 \% = 215,3 \text{ kg/m}^3$

Veden ja hakkeen massa yhteensä: $400 \text{ kg/m}^3 + 215,3 \text{ kg/m}^3 = 615,3 \text{ kg/m}^3$

Lisähake-erän kiintotilavuus: $12\,000\text{ kg} / 615,3\text{ kg/m}^3 = 19,5\text{ m}^3$

Lisähake-erä irtokuutioina: $19,5\text{ m}^3 \cdot 2,5 = 48,8\text{ i-m}^3$

Vastaus:

Uusi lainsäädännön mukaan voi kuljettaa 19,5 kiintokuutiometriä tai 48,8 irtokuutiometriä suurempia hakekuomia.

Jos vanhan lain mukaan hakeauton kuormatila oli 110 – 140 irtokuutiota, saadaan kuormaan nykyisin 34,9 – 44,3 % enemmän massaa. Auton teknisten mittojen pitää myös sopia säädöksiin, jotta hakeautolla voi ajaa esim. tunneleissa.

Tehtävä 10.8

Lähtötiedot:

Kuorman massa on 40 tonnia = 40 000 kg.

Kuorman tuoretiheys on 840 kg/m³.

Laskenta:

Kuorman kiintotilavuus: $40\,000\text{ kg} / 840\text{ kg/m}^3 = 47,6\text{ m}^3$

Vastaus:

Tukkikuorman kiintotilavuus on 47,6 kiintokuutiometriä.

Käytännössä tukkirekkaan sopii puuta kaikkiaan noin 50 kiintokuutiometriä.

Tehtävä 10.9

Lähtötiedot:

Kuorman massa on 35 tonnia = 35 000 kg.

Kuorman kiintotilavuus on 50,0 m³.

Tuoretiheyden minimiarvo on 750 kg/m³.

Laskenta:

Kuitupuun tuoretiheys: $35\,000\text{ kg} / 50,0\text{ m}^3 = 700\text{ kg/m}^3$

Vastaus:

Koska kuusikuitupuukuorman tuoretiheys oli 700 kg/m³ eli se on vähemmän kuin 750 kg/m³, kuorma meni raakiksi kemiallisen massanvalmistukseen ja mustalipeän polttoon.

Tällä samalla logiikalla voidaan arvioida hakkeen tai murskeen kosteus ajoneuvovaa'alla lämpölaitoksen mittaportilla. Kuormien kosteusmäärittäviä voidaan tehdä laboratoriossa ja tarkentaa otantakuormien avulla.

Tehtävä 10.10

Lähtötiedot:

Kuormatilan irtotilavuus ja hakemäärä on 110 irtokuutiometriä.

Auton massa on 20 t ja kuorman massa on 40 t.

Puun kuivatuoretiheys on 400 kg/m^3 .

Hakekuorman massa on a) 40 t, b) 30 t ja c) 25 t.

Määrittysten mukaan 1 kiintokuutio on 2,5 irtokuutiota.

Laskenta:

a) Kokonaismassa (auto + kuorma): $20 \text{ t} + 40 \text{ t} = 60 \text{ tonnia}$

Haketta kiintokuutioina: $110 \text{ i-m}^3 / 2,5 = 44 \text{ m}^3$

Hakkeen tuoretiheys: $40\,000 \text{ kg} / 44 \text{ m}^3 = 909,1 \text{ kg/m}^3$

Veden massa puukuutiossa: $909,1 \text{ kg} - 400 \text{ kg} = 509,1 \text{ kg}$

Hakekuorman kosteus: $509,1 \text{ kg} / 909,1 \text{ kg} \cdot 100 \% = 56,0 \%$

b) Kokonaismassa (auto + kuorma): $20 \text{ t} + 30 \text{ t} = 50 \text{ tonnia}$

Haketta kiintokuutioina: $110 \text{ i-m}^3 / 2,5 = 44 \text{ m}^3$

Hakkeen tuoretiheys: $30\,000 \text{ kg} / 44 \text{ m}^3 = 681,8 \text{ kg/m}^3$

Veden massa puukuutiossa: $681,8 \text{ kg} - 400 \text{ kg} = 281,8 \text{ kg}$

Hakekuorman kosteus: $281,8 \text{ kg} / 681,8 \text{ kg} \cdot 100 \% = 41,3 \%$

c) Kokonaismassa (auto + kuorma): $20 \text{ t} + 25 \text{ t} = 45 \text{ tonnia}$

Haketta kiintokuutioina: $110 \text{ i-m}^3 / 2,5 = 44 \text{ m}^3$

Hakkeen tuoretiheys: $25\,000 \text{ kg} / 44 \text{ m}^3 = 568,2 \text{ kg/m}^3$

Veden massa puukuutiossa: $568,2 \text{ kg} - 400 \text{ kg} = 168,2 \text{ kg}$

Hakekuorman kosteus: $168,2 \text{ kg} / 568,2 \text{ kg} \cdot 100 \% = 29,6 \%$

Vastaus:

a) Hakkeen kosteus on 56,0 %. Hake on märkää ja huonolaatuista. Hakekuorma on voinut olla lumi- ja räntäsateessa peittämättömänä muutaman päivän.

b) Hakkeen kosteus on 41,3 % eli se on sopivaa suurelle voimalaitokselle.

c) Hakkeen kosteus on 29,6 % eli se on hyvälaatuista pienelle lämpölaitokselle.

Tehtävä 11.1

Lähtötiedot:

Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskurin versio 1.82

Leimikon sijainti: Etelä-Suomi

Energiapuutavaralaji: Harvennusenergiapuu

Puulaji: Sekapuusto

Hakkuuajankohta: 13.1.2014

Mittausajankohta: 30.5.2014

Laskenta:

EPPU-laskurin mukaan sekapuوران tuoretiheysluku on 730 kg/m^3 ja hakkuukertymä $366,4 \text{ m}^3$.

Vastaus:

Hakkuukertymä oli $366,4 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.2

Lähtötiedot:

Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskurin versio 1.82

Leimikon sijainti: Etelä-Suomi

Energiapuutavaralaji: Latvusmassa

Puulaji: Havupuusto

Hakkuuajankohta: 12.4.2014

Mittausajankohta: 22.7.2014

Latvusmassan massa: $152\,340 \text{ kg}$

Laskenta:

EPPU-laskuri laskee sekapuوران tuoretiheysluvuksi 600 kg/m^3 , ja latvusmassan kertymäksi $253,9 \text{ m}^3$.

Vastaus:

Latvusmassaa on $253,9 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.3

Lähtötiedot:

Metsäntutkimuslaitoksen EPPU-laskurin versio 1.82

Leimikon sijainti: Etelä-Suomi

Energiapuutavaralaji: Latvusmassa

Puulaji: Havupuusto

Hakkuuajankohta: 1.2.2014

Mittausajankohta: 2.2.2014

Latvusmassan massa: $152\,340 \text{ kg}$

Lisätarkenteet: Tuore, jossa lunta ja jäätä

Laskenta:

EPPU-laskuri laskee latvusmassaerän tuoretiheysluvuksi 950 kg/m^3 , ja kertymäksi $160,4 \text{ m}^3$.

Vastaus:

Latvusmassaa on $160,4 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.4**Lähtötiedot:**

Kantojen massa on 150 000 kg.

Nostoaika on 16 – 20.5.2014 ja metsäkuljetus 15.– 20.7.2014.

Puhtausluokka on 1 ja painoluokka 3.

Taulukon 11.1 mukaan puhtausluokassa 1 ja painoluokassa 3 kantojen tuore-
tiheysluku on 690 kg/m^3 .

Laskenta:

Kantoerän kiintotilavuus: $150\,000 \text{ kg} / 690 \text{ kg/m}^3 = 217,4 \text{ m}^3$

Vastaus:

Kantoerän kiintotilavuus on $217,4 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.5**Lähtötiedot:**

Kantojen massa on 150 000 kg.

Puhtaus- ja painoluokat ovat 3.

Taulukon 11.1 mukaan puhtausluokassa 3 ja painoluokassa 3 kantojen tuore-
tiheysluku on 750 kg/m^3 .

Nostoaika on toukokuussa 2014 ja metsäkuljetus heinäkuussa.

Laskenta:

Kantoerän kiintotilavuus: $150\,000 \text{ kg} / 750 \text{ kg/m}^3 = 200,0 \text{ m}^3$

Vastaus:

Kantoerän kiintotilavuus on $200,0 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.6**Vastaus:**

Korkealla rankakasalla on suurempi kiintotilavuusprosentti, koska ylhäällä olevien puiden massa painaa alhaalla olevia puita, eli mitä korkeampi kasa sitä tiiviimpi se on.

Tehtävä 11.7**Lähtötiedot:**

Rankakasan pituus on 18,0 m, korkeus 4,0 m ja leveys 4,5 m.

Pinon keskiläpimitta on 11 cm.

Taulukon 11.2 mukaan karsimattoman rangan kiintotilavuusprosentti on 33.

Laskenta:

Kasan kehystilavuus: $18,0 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m} = 324,00 \text{ m}^3$

Karsitun rangan kiintotilavuus: $33 \% + 10 \% = 43 \%$

Rankakasan kiinto-tilavuus: $324,00 \text{ m}^3 \cdot 0,43 = 139,32 \text{ m}^3$

Vastaus:

Rankakasan kiinto-tilavuus on $139,3 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.8

Lähtötiedot:

Tehtävän 11.8 lomake

Laskenta:

Pinojen 1–9 kehystilavuus pituus: $2,00 \text{ m} \cdot 9 \cdot 3,00 \text{ m} \cdot 4,00 \text{ m} = 216,00 \text{ m}^3$

Viimeisen pinon kehystilavuus: $3,00 \text{ m} \cdot 1,00 \text{ m} \cdot 4,00 \text{ m} = 12,00 \text{ m}^3$

Kehystilavuus yhteensä: $216,00 \text{ m}^3 + 12,00 \text{ m}^3 = 228,00 \text{ m}^3$

Kun keskiläpimitta on 11 cm ja kasan keskikorkeus on 3 m, kiintotilavuusprosentti on 31.

Kiintotilavuus: $228,00 \text{ m}^3 \cdot 31/100 = 70,7 \text{ m}^3$

Vastaus:

Varaston kehystilavuus on $228,00 \text{ m}^3$, kiintotilavuusprosentti 31 ja kiintotilavuus $70,7 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.9

Lähtötiedot:

Tehtävässä 11.9 koivukuitupuupinon mittauslomake

Laskenta:

Keskimääräinen korkeus etusivulta:

$(1,67 \text{ m} + 2,12 \text{ m} + 2,25 \text{ m} + 2,30 \text{ m} + 2,17 \text{ m} + 2,00 \text{ m} + 2,05) / 7 = 2,08 \text{ m}$

Keskimääräinen korkeus takasivulta:

$(1,65 \text{ m} + 2,10 \text{ m} + 2,20 \text{ m} + 2,20 \text{ m} + 2,20 \text{ m} + 1,95 \text{ m} + 2,00 \text{ m}) / 7 = 2,043 \text{ m}$

Keskimääräinen korkeus: $(2,08 \text{ m} + 2,043 \text{ m}) / 2 = 2,062 \text{ m}$

Keskimääräinen leveys:

$$(3,00 \text{ m} + 3,00 \text{ m} + 3,05 \text{ m} + 3,00 \text{ m} + 3,00 \text{ m} + 2,95 \text{ m} + 3,15 \text{ m}) / 7 = 3,021 \text{ m}$$

$$\text{Kasojen 1–7 kehystilavuus: } 2,0 \text{ m} \cdot 2,062 \text{ m} \cdot 3,021 \text{ m} \cdot 7 = 87,2 \text{ m}^3$$

Viimeinen kasa

$$\text{Keskimääräinen pituus: } (1,0 \text{ m} + 0,9 \text{ m}) / 2 = 0,95 \text{ m}$$

$$\text{Keskimääräinen korkeus: } (2,10 \text{ m} + 2,00 \text{ m}) / 2 = 2,05 \text{ m}$$

$$\text{Kehystilavuus: } 3,0 \text{ m} \cdot 0,95 \text{ m} \cdot 2,05 \text{ m} = 5,84 \text{ m}^3$$

$$\text{Kehystilavuus yhteensä: } 87,2 \text{ m}^3 + 5,84 \text{ m}^3 = 93,04 \text{ m}^3$$

$$\text{Kiintotilavuusprosentti: } 54 \% + 2 \% = 56 \%$$

$$\text{Kiintotilavuus: } 93,04 \text{ m}^3 \cdot 56 / 100 = 52,1 \text{ m}^3$$

Vastaus:

Koivukuitupuupinon kehystilavuus on $93,04 \text{ m}^3$, kiintotilavuusprosentti 56 ja kiintotilavuus $52,1 \text{ m}^3$.

Tehtävä 11.10

Lähtötiedot:

Tehtävä 11.9

Klapeja saa 2,5-kertaisen määrän pinon kiintotilavuudesta:

Laskenta:

$$\text{Kiintokuutiosta irtokuutiota: } 52,1 \text{ m}^3 \cdot 2,5 = 130,3 \text{ m}^3$$

Vastaus:

Klapeja saa 130,3 irtokuutiota.

Tehtävä 11.11

Lähtötiedot:

Kuorman tilavuus on 140 kiintokuutiometriä.

Määrittysten mukaan 1 kiintokuutiometri on 2,5 irtokuutiometriä.

Laskenta:

$$\text{Hakemäärä kiintokuutiometreinä: } 140 \text{ irtokuutiometriä} / 2,5 = 56 \text{ m}^3$$

Vastaus:

Hakeauton kuorman tilavuus on 56 kiintokuutiometriä.

Tehtävä 11.12

Lähtötiedot:

Karsittua rankaa on 100 kiintokuutiometriä.

Määrittysten mukaan 1 kiintokuutiometri on 2,5 irtokuutiometriä.

Laskenta:

Haketta irtokuutiometreinä: $100 \text{ kiinto-m}^3 \cdot 2,5 = 250 \text{ irtokuutiometriä}$

Vastaus:

Haketta saadaan 250 irtokuutiometriä.

Käytännössä muuntokerroin voi vanhoilla hakevarastoilla olla 2,2.

Tehtävä 12.1

Laskenta:

Inventointikoealan säde: 3,99 m

Inventointikoealan pinta-ala: $\pi \cdot (3,99 \text{ m})^2 = 50,0 \text{ m}^2$

Inventointikoeala suhteessa hehtaariin:

$50,0 \text{ m}^2 / 1 \text{ ha} = 50,0 \text{ m}^2 / 10\,000 \text{ m}^2 = 1/200$

Koealojen 1 ja 3 poistumat: $6 \cdot 200 = 1200 \text{ r/ha}$

Koealan 2 poistuma: $7 \cdot 200 = 1400 \text{ r/ha}$

Koealan 4 poistuma: $4 \cdot 200 = 800 \text{ r/ha}$

Koealan 5 poistuma: $5 \cdot 200 = 1000 \text{ r/ha}$

Harvennuspoistuma:

Poistumien keskiarvo:

$(1\,200 \text{ r/ha} + 1\,400 \text{ r/ha} + 1\,200 \text{ r/ha} + 800 \text{ r/ha} + 1\,000 \text{ r/ha}) / 5 = 1\,120 \text{ r/ha}$

Harvennuspoistuman tulee olla vähintään 1000 r/ha.

Jäävän puuston keskiläpimitta:

Puuston keskiläpimittojen keskiarvo:

$(8 \text{ cm} + 9 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 9 \text{ cm} + 9 \text{ cm}) / 5 = 9 \text{ cm}$

Keskiläpimitan on oltava vähintään 8 cm, mutta alle 16 cm.

Jäävän puuston runkoluku:

Jäävän puuston runkuluvun keskiarvo:

$(1\,000 \text{ r/ha} + 1\,200 \text{ r/ha} + 1\,200 \text{ r/ha} + 1\,000 \text{ r/ha} + 800 \text{ r/ha}) / 5 = 1\,040 \text{ r/ha}$

Jäävän puuston keskimääräinen runkoluku on jätävä alle 2000 r/ha.

Työkuvion pinta-ala

Työmaan pinta-ala on 2 ha.

Työkuvion pinta-alan tulee olla vähintään 1 ha.

Puuston keskipituus:

Puuston pituuden keskiarvo: $(8 \text{ m} + 9 \text{ m} + 10 \text{ m} + 9 \text{ m} + 9 \text{ m}) / 5 = 9 \text{ m}$

Havupuuston keskipituuden tulee olla enintään 14 m.

Puustovauriot:

Pystypuita on 26 kappaletta ja vauriopuita on 1.

Puustovaurioprocentti: $1/26 \cdot 100 \% = 3,8 \%$

Puustovauriot ovat hyväksyttävissä, jos kriittinen vaurio-osuus on alle 4,0 %.

Ajouraleveys:

Ajouraleveyden keskiarvo: $(4,1 \text{ m} + 4,5 \text{ m} + 4,4 \text{ m} + 4,4 \text{ m} + 4,5 \text{ m}) / 5 = 4,4 \text{ m}$

Ajouraleveys on asianmukainen, kun se ylittää 4,0 m, mutta on alle 4,5 m.

Ajouraväli:

Ajouravälin keskiarvo: $(21,5 \text{ m} + 20,3 \text{ m} + 20,9 \text{ m} + 19,8 \text{ m} + 20,1 \text{ m}) / 5 = 20,5 \text{ m}$

Ajouraväli on tavoitteen mukainen, kun se on vähintään 20,0 metriä.

Urapainumat:

Kultakin koealalta mitattu ajouria: $5 \cdot 60 \text{ m} = 300 \text{ m}$

Koneiden tekemiä 10 cm:n painumia yhteensä: $2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0 \text{ m} + 2 \text{ m} + 4 \text{ m} = 10 \text{ m}$

Ura-painumien osuus: $(10 \text{ m} / 300 \text{ m}) \cdot 100 \% = 3,3 \%$

Ura-painumien osuus 3,3 % on hyvää tasoa. Kriittinen vaurio-osuus valtioneuvoston asetuksen mukaan kivennäismailla on 15 % ja turvemailloilla 25 %.

Vastaus:

Työmaa täyttää kaikilta osin tukikelpoisuuden arviointikriteerit.

Esimerkki työmaan kokonaisarviosta:

Työmaa on hyvin toteutettu, mutta koealojen ulkopuolelta havaittiin varastopaikan takana syviä metsäkoneen raiteita sekä eväspapereita ja metsäkoneen öljyinen hydraulikkaletku. Tältä osin toimintaa on tarpeen jatkossa kehittää paremmaksi. Varastopaikkojen siisteys antaa toimijoista käsityksen ulospäin.

Tehtävä 12.2

Lähtötiedot:

Työmaan pinta-ala on 11,0 ha.

Energiapuumäärä on 520,3 m³.

Pinta-alamatuki on 252,50 €/ha.

Korjuutuki on 7 €/m³.

Toteutusselvitystuki on 301,10 €.

Laskenta:

Pinta-alamatuki: 252,50 €/ha · 11,0 ha = 2 777,50 € Matti Metsänomistajan tilille

Korjuutuki: 520,30 m³ · 7 €/m³ = 3 642,10 € Metsänhoitoyhdistyksen tilille

Toteutusselvitystuki: 301,10 € Metsänhoitoyhdistyksen tilille

Vastaus:

Pinta-alamatuki on 2 777,50 €, korjuutuki 3 642,10 € ja toteutusselvitystuki 301,10 €.

Tehtävä 12.3

Lähtötiedot:

Työmaan pinta-ala on 11,0 ha.

Energiapuumäärä on 520,3 m³.

Pinta-alamatuki on 252,50 €/ha.

Korjuutuki on 5 €/m³.

Toteutusselvitystuki on 301,10 €.

Laskenta:

Pinta-alamatuki: 180 €/ha · 11,0 ha = 1 980 € Matti Metsänomistajan tilille

Korjuutuki: 520,30 m³ · 5 €/m³ = 2 601,50 € Metsänhoitoyhdistyksen tilille

Toteutusselvitystuki: 301,1 € Metsänhoitoyhdistyksen tilille

Vastaus:

Pinta-alamatuki on 1 980 €, korjuutuki 2 601,50 € ja toteutusselvitystuki 301,10 €.

Tukitaso on tehtävässä 12.3 alempi kuin tehtävässä 12.2.

Tehtävä 12.4

Lähtötiedot:

Työmaan pinta-ala on 3,0 ha.

Energiapuun massa on 151 275 kg.

Tuoretiheysluku on tekstin perusteella $1\,000\text{ kg/m}^3$, koska puuerässä on mukana lunta ja jäätä (tammikuu).

Jäävän puuston keskiläpimitta on 10,0 cm.

Jäävän puuston keskipituus on 11,0 m.

Harvennuspoistuma on 1 200 r/ha.

Korjuutuki on 7 €/m^3 .

Pinta-ala tuki on $252,50\text{ €/ha}$.

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on $2,0\text{ MWh/m}^3$.

Laskenta:

a) Energiapuuta kiintokuutiometreinä: $151\,275\text{ kg} / 1\,000\text{ kg/m}^3 \approx 151,3\text{ m}^3$

Energiapuuta hehtaarikohtaisesti: $151,3\text{ m}^3 / 3,0\text{ ha} = 50,425\text{ m}^3/\text{ha}$

b) Energiapuuta litroina: $50,425\text{ m}^3/\text{ha} = 50\,425\text{ dm}^3/\text{ha}$

Poistuman runkojen keskitilavuus: $50\,425\text{ dm}^3/\text{ha} / 1\,200\text{ r/ha} = 42,0\text{ dm}^3$
 $= 42,0\text{ litraa}$

c) Puuerän energiasisältö: $151,3\text{ m}^3 \cdot 2,0\text{ MWh/m}^3 = 302,6\text{ MWh}$

d) Korjuutuki: $151,3\text{ m}^3 \cdot 7\text{ €/m}^3 = 1\,059,10\text{ €}$

e) Pinta-alamatuki: $252,50\text{ €/ha} \cdot 3,0\text{ ha} = 757,50\text{ €}$

Vastaus:

a) Energiapuuta kertyi $151,3\text{ m}^3$ eli $50,4\text{ m}^3/\text{ha}$.

b) Poistuvan rungon keskikoko oli $42,0\text{ litraa}$.

c) Puuerän energiasisältö oli $302,6\text{ MWh}$.

d) Energiapuun korjuutuki oli $1\,059,10\text{ €}$.

e) Metsänomistaja sai pinta-alamatukea $757,50\text{ €}$.

Tehtävä 13.1

Lähtötiedot:

Vuoden puupolttoainetilauks on $50\text{ GWh} = 50\,000\text{ MWh}$.

Karsitun rangan kantohinta on 7 €/m^3 .

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on $2,0\text{ MWh/m}^3$.

Laskenta:

Vuotuinen puupolttoainetilaus: $50\,000 \text{ MWh} / 2,0 \text{ MWh/m}^3 = 25\,000 \text{ m}^3$

Puumäärä maksaa: $25\,000 \text{ m}^3 \cdot 7 \text{ €/m}^3 = 175\,000 \text{ €}$

Vastaus:

Energiapuutilaus on $25\,000 \text{ m}^3$ karsittuna rankana. Puun ostoon tarvitaan $175\,000 \text{ €}$.

Tehtävässä ei ole mukana arvonlisäveroa, koska se on läpimenoerä. Myyjälle tilitettävän 24 %:n arvonlisäveron kanssa puumäärä maksaisi $217\,000 \text{ €}$.

Tehtävä 13.2**Lähtötiedot ja laskenta:**

Energiasisällön vuositilaus yhteensä:

$200 \text{ GWh} + 200 \text{ GWh} + 100 \text{ GWh} + 50 \text{ GWh} + 50 \text{ GWh} + 10 \text{ GWh} + 10 \text{ GWh} + 50 \text{ GWh} + 50 \text{ GWh} + 100 \text{ GWh} + 200 \text{ GWh} + 200 \text{ GWh} = 1\,220 \text{ GWh} = 1\,220\,000 \text{ MWh}$

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on $2,00 \text{ MWh/m}^3$.

Puuta tarvitaan: $1\,220\,000 \text{ MWh} / 2,00 \text{ MWh/m}^3 = 610\,000 \text{ m}^3$

Karsittua rankaa tarvitaan: $610\,000 \text{ m}^3 \cdot 50 \% = 305\,000 \text{ m}^3$

Hakkuutähteitä tarvitaan: $610\,000 \text{ m}^3 \cdot 40 \% = 244\,000 \text{ m}^3$

Kantoja tarvitaan: $610\,000 \text{ m}^3 \cdot 10 \% = 61\,000 \text{ m}^3$

Luvun 8 mukaan 45 km:n kuljetusmatkalla hakkuutähdehakkkeen hankintakustannus on ollut 20 €/m^3 ja kantomurskeen 30 €/m^3 .

Ostobudjetti (hinnat taulukosta 13.1):

Karsittu ranka: $305\,000 \text{ m}^3 \cdot 7 \text{ €/m}^3 = 2\,135\,000 \text{ €}$

Hakkuutähde: $244\,000 \text{ m}^3 \cdot 2 \text{ €/m}^3 = 488\,000 \text{ €}$

Kannot: $61\,000 \text{ m}^3 \cdot 3 \text{ €/m}^3 = 183\,000 \text{ €}$

Hankintabudjetti:

Karsitun rangan hankintakustannus: $40 \text{ €/m}^3 \cdot 305\,000 \text{ m}^3 = 12\,200\,000 \text{ €}$

Hakkuutähteen hankintakustannus: $20 \text{ €/m}^3 \cdot 244\,000 \text{ m}^3 = 4\,880\,000 \text{ €}$

Kantojen hankintakustannus: $30 \text{ €/m}^3 \cdot 61\,000 \text{ m}^3 = 1\,830\,000 \text{ €}$

Karsitun rangan hankintaan tarvitaan:

Hakkuukoneita: $305\,000 \text{ m}^3 / 10\,000 \text{ m}^3 = 31$ kappaletta

Kuormatraktoreita: $305\,000 \text{ m}^3 / 30\,000 \text{ m}^3 = 11$ kappaletta

Hakkureita: $305\,000 \text{ m}^3 / 25\,000 \text{ m}^3 = 13$ kappaletta

Hakeautoja: $305\,000 \text{ m}^3 / 25\,000 \text{ m}^3 = 13$ kappaletta

Hakkuutähteen hankintaan tarvitaan:

Päättehakkuukoneita:	$244\,000\text{ m}^3 / 40\,000\text{ m}^3 = 7$ kappaletta
Kuormatraktoreita:	$244\,000\text{ m}^3 / 30\,000\text{ m}^3 = 9$ kappaletta
Hakkureita:	$244\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3 = 10$ kappaletta
Hakeautoja:	$244\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3 = 10$ kappaletta

Kantojen hankintaan tarvitaan:

Kaivinkoneita:	$61\,000\text{ m}^3 / 17\,000\text{ m}^3 = 4$ kappaletta
Kuormatraktoreita:	$61\,000\text{ m}^3 / 30\,000\text{ m}^3 = 3$ kappaletta
Hakkureita:	$61\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3 = 3$ kappaletta
Hakeautoja:	$61\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3 = 3$ kappaletta

Kaikkiaan kone- ja autoyksiköitä on yhteensä 117 eli kone- ja autokuskivuoroja tulee tällöin yhteensä 234.

Tehtävä 13.3**Lähtötiedot:**

Rankaa ja kuitupuuta on $350\,000\text{ m}^3$.

Puun tehdas hinta on 40 €/m^3 .

Laskenta ja vastaus:**a) Ostobudjetti:**

Kuitupuu ja ranka (kantohinta): $350\,000\text{ m}^3 \cdot 15\text{ €/m}^3 = 5\,250\,000\text{ €}$ (ilman alv)

Hankintakustannukset (korjuu, kuljetus, haketus, varastointi, yleiskustannukset):

$350\,000\text{ m}^3 \cdot 25\text{ €/m}^3 = 8\,750\,000\text{ €}$

Jos keskimääräinen hakkuukertymä on $50,0 - 70,0\text{ m}^3/\text{ha}$, harvennusleimikoita tarvitaan $5\,000 - 7\,000$ hehtaaria vuodessa.

Konekaluston tarve:

Hakkuukoneita (pikkumotoja): $350\,000\text{ m}^3 / 20\,000\text{ m}^3 = 18$ kappaletta

Kuormatraktoreita: $350\,000\text{ m}^3 / 30\,000\text{ m}^3 = 12$ kappaletta

Hakkureita: $350\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3 = 14$ kappaletta

Jos työ tehtäisiin

käyttöpaikkamurskaimella,

niitä tarvittaisiin: $350\,000\text{ m}^3 / 120\,000\text{ m}^3 = 3$ kappaletta

Hakeautoja: $350\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3 = 14$ kappaletta

Biojalostamon ostobudjetti ja konekaluston tarve vastaavat puun tilavuuden osalta suursahan vuotuista puunkäyttöä.

b) Tehtaan käyttöpäivät: $65 \text{ vrk} - 7 \text{ vrk} - 14 \text{ vrk} = 344 \text{ vrk}$

Puuta käytetään vuorokaudessa: $350\,000 \text{ m}^3 / 344 \text{ vrk} = 1\,017,4 \text{ m}^3/\text{vrk}$

Jalostamo käyttää puuta vuorokaudessa $1\,017,4 \text{ m}^3$.

Tehtävä 13.4

Lähtötiedot:

Kuitupuuta tarvitaan $2\,500\,000 \text{ m}^3$.

Kuitupuun tehdashinta on 40 €/m^3 .

Laskenta ja vastaus:

a) Ostobudjetti:

Kuitupuun: $2\,500\,000 \text{ m}^3 \cdot 15 \text{ €/m}^3 = 37\,500\,000 \text{ €}$

Hankintakustannukset: $2\,500\,000 \text{ m}^3 \cdot 25 \text{ €/m}^3 = 62\,500\,000 \text{ €}$

Konekaluston tarve:

Hakkuukoneita (pikkumotoja): $2\,500\,000 \text{ m}^3 / 20\,000 \text{ m}^3 = 125$ kappaletta

Kuormatraktoreita: $2\,500\,000 \text{ m}^3 / 30\,000 \text{ m}^3 = 84$ kappaletta

Puutavara-autoja: $2\,500\,000 \text{ m}^3 / 25\,000 \text{ m}^3 = 100$ kappaletta

Biojalostamon ostobudjetti ja konekaluston tarve vastaavat vanhan ajan hankinta-alueen tai nykyaikaisen tehtaan kuitupuun käyttöä.

b) Vuodessa on 365 päivää, ja tehdasseisokit kestävät 3 viikkoa eli 21 päivää.

Tehtaan käyttöpäiviä on 344 kappaletta eli puunkäyttö on $7\,267,4 \text{ m}^3$ päivässä.

b) Tehtaan käyttöpäivät: $65 \text{ vrk} - 7 \text{ vrk} - 14 \text{ vrk} = 344 \text{ vrk}$

Puuta käytetään vuorokaudessa: $2\,500\,000 \text{ m}^3 / 344 \text{ vrk} = 7\,267,4 \text{ m}^3/\text{vrk}$

Jalostamo käyttää puuta vuorokaudessa $7\,267,4 \text{ m}^3$.

Tehtävä 13.5

Lähtötiedot:

Energiasisällön vuositilaus yhteensä on $100 \text{ GWh} = 100\,000 \text{ MWh}$.

Kemera-tukikelpoisuus on 80 %.

Puut ostetaan 1 000 ha:n leimikkoalalta.

Taulukon 3.1 mukaan puun energiasisältö on $2,00 \text{ MWh/m}^3$.

Laskenta ja vastaus:

Energia-tilaus kiintokuutiaina: $100\,000 \text{ MWh} / 2,00 \text{ MWh/m}^3 = 50\,000 \text{ m}^3$

Lämpötili on 20 €/MWh eli tämän yksikköhinnan kertaa energiasisältö voimalaitos tilittää hankintaorganisaatiollesi rankapuista ja niiden hankinnasta.

Ostobudjetti:

Karsittu ranka: $50\,000\text{ m}^3 \cdot 7\text{ €/m}^3 = 350\,000\text{ €}$ (ilman arvonlisäveroa)

Leimikkoalan puiden kertymä: $50\,000\text{ m}^3 / 1\,000\text{ ha} = 50\text{ m}^3/\text{ha}$

Jos vain puolet kaupasta toteutuisi rahalla, ostobudjetti olisi 175 000 €, eikä lopuilla puilla olisi kantohintaa.

Hankintabudjetti:

Karsitun rangan hankintakustannukset (korjuu, varastointi, haketus, hakekuljetus, hallinto): $40\text{ €/m}^3 \cdot 50\,000\text{ m}^3 = 2\,000\,000\text{ €}$

Karsitun rangan hankintaan tarvitaan:

Hakkuukoneita: $50\,000\text{ m}^3 / 10\,000\text{ m}^3/\text{a} = 5\text{ kappaletta}$

Kuormatraktoreita: $50\,000\text{ m}^3 / 30\,000\text{ m}^3/\text{a} = 2\text{ kappaletta}$

Hakkureita: $50\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3/\text{a} = 2\text{ kappaletta}$

Hakeautoja: $50\,000\text{ m}^3 / 25\,000\text{ m}^3/\text{a} = 2\text{ kappaletta}$

Kaikkiaan kone- ja autoyksiköitä tarvitaan 11 kappaletta eli kone- ja autokusmien työvuoroja on 22. Tämän lisäksi tarvitaan ainakin yksi työnjohtaja. Yrittäjille tilitetään erikseen sovitut urakkataksat ja arvonlisävero.

Toiminnan katelaskelma (Kemera-tukikelpoisuus 80 %):

Toiminnan tuotto: $20\text{ €/MWh} \cdot 100\,000\text{ MWh} = 2\,000\,000\text{ €} +$

Pinta-alatuki: $0,8 \cdot 50\,000\text{ m}^3 / 50\text{ m}^3/\text{ha} \cdot 253\text{ €/ha} = 202\,400\text{ €} +$

Korjuutuki: $0,8 \cdot 50\,000\text{ m}^3 \cdot 7\text{ €/m}^3 = 280\,000\text{ €} +$

Toteutusselvitystuki: $0,8 \cdot 50\,000\text{ m}^3 / 50\text{ m}^3/\text{ha} \cdot 30\text{ €/ha} = 24\,000\text{ €} +$

Tukia yhteensä: $202\,400\text{ €} + 280\,000\text{ €} + 24\,000\text{ €} = 506\,400\text{ €}$

Ostobudjetti: 350 000 € –

Hankintabudjetti: 2 000 000 € –

Kate: $506\,400\text{ €} - 350\,000\text{ €} =$ 156 400 €

Kate kiintoneliötä kohden: $156\,000\text{ €} / 50\,000\text{ m}^3 = 3,12\text{ €/m}^3$

Tehtävä 14.1**Lähtötiedot:**

Taulukko 14.1

Laskenta:Kerrotaan taulukon 14.1 lukuarvot kertoimella: $118,2 / 109,1 = 1,0834$

Pannuhuone	$12\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	13 000,80 €
Kattila	$13\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	14 084,20 €
Syöttölaitteet, automatiikka ja poltin	$30\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	32 502,00 €
Savupiippu	$19\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	20 584,60 €
Sähkötyöt ja tarvikkeet	$4\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	4 333,60 €
LVI-työt ja tarvikkeet	$13\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	14 084,20 €
Rakennusluvut ja piirustukset	$1\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	1 083,40 €
Lämpökanaalit (54–108 €/m)	$3\,000\text{ €} \cdot 1,0834 =$	3 250,20 €
Yhteensä:		102 923,00 €

Vastaus:

Pannuhuone	13 000 €
Kattila	14 000 €
Syöttölaitteet, automatiikka ja poltin	32 500 €
Savupiippu	20 600 €
Sähkötyöt ja tarvikkeet	4 300 €
LVI-työt ja tarvikkeet	14 100 €
Rakennusluvut ja piirustukset	1 100 €
Lämpökanaalit (54–108 €/m)	3 300 €
Yhteensä:	102 900 € ≈ 103 000 €

Tehtävä 14.2**Lähtötiedot:**Broilerihallin koko on $54\text{ m} \times 30\text{ m} = 1\,620\text{ m}^2$.Päärakennuksen koko on 250 m^2 .

Lämpökanaalin pituus on 100 m.

Vuotuinen öljynkulutus on 32 000 litraa.

Öljynhintaa on 1,02 €/litra.

Lämpökeskuskontin hinta on 90 000 €.

Lämpökanaalien hinta on 75 €/m.

Pankin myöntää tasaerälainan 12 vuodella 4 %:n reaalkorolla (annuiteetti-kerroin 0,1066).

Kattilanhyötysuhde on 85 %.

Taulukon 3.1 mukaan hakkeen energiasisältö on 0,8 MWh/m³ ja öljyn 855 kg/m³ eli 11,63 MWh/t.

Laskenta:

a) Broilerihalli ja asuintalo kuluttavat öljyä yhteensä: 32 000 litraa = 32 m³

32 000 litraa öljyä sisältää energiaa: 32 m³ · 855 kg/m³ = 27360 kg = 27,36 t
27,36 t · 11,63 MWh/t = 318,2 MWh ≈ 320 MWh

Energiankulutus + kanaalin lämpöhäviö 5 %: 320 MWh x 1,05 = 336 MWh

b) Kattilatehon laskennassa käytetään esimerkin 14.1 tehontarvearvoja.

Broilerihalli	$1620 \text{ m}^2 \cdot 0,08 \text{ kW/m}^2 =$	130 kW
Asuintalo	$250 \text{ m}^2 \cdot 0,1 \text{ kW/m}^2 =$	25 kW
Kanaali	$2 \text{ kW} / 100 \text{ m} \cdot 100 \text{ m} =$	2 kW
Yhteensä		157 kW

c) Haketta tarvitaan: 336 kWh / 0,85 = 395 MWh

Hakkeen kulutus vuodessa: 395 MWh / 0,8 MWh/m³ = 494 m³

d)

Hakelämmitys:

Kattilaitoksen pääomakustannus vuodessa	$(90\,000 \text{ €} + (75 \text{ €/m} \cdot 100 \text{ m})) \cdot 0,1066 =$	10 394 €
Hake	$494 \text{ m}^3 \times 16,50 \text{ €/i-m}^3 =$	8 151 €
Yhteensä		18 545 €

Öljylämmitys:

Öljylämmitys 32 000 litraa · 1,02 €/litra = **32 640 €**

Säästö: 32640 € – 18545 € = 14 095 €

Vastaus:

a) Tilan energiantarve uudessa lämmitysratkaisussa on 336 MWh.

b) Kattilatehoa tarvitaan 157 kW.

c) Haketta kuluu tilalla vuodessa 494 m³.

d) Hakelämmityksellä säästää vuodessa öljylämmitykseen verrattuna 14 095 €.

Tehtävä 15.1

Lähtötiedot:

Kaukolämmön tuotantokustannukset maakaasulla ovat 65 €/MWh.

Kaukolämmön tuotantokustannukset kivihieillä on 58 €/MWh.

Kaukolämmön tuotantokustannukset turpeella on 52 €/MWh.

Kaukolämmön tuotantokustannukset puulla on 66 €/MWh.

Hiilidioksidipäästöt ovat taulukossa 15.1.

Päästöoikeuden hinta on 10 €/tCO₂.

Laskenta:

Tuotantokustannukset

Maakaasulla: $65 \text{ €/MWh} + 0,202 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \cdot 10 \text{ €/tCO}_2 = 67,00 \text{ €/MWh}$

Kivihieillä: $58 \text{ €/MWh} + 0,341 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \cdot 10 \text{ €/tCO}_2 = 61,40 \text{ €/MWh}$

Turpeella: $52 \text{ €/MWh} + 0,382 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \cdot 10 \text{ €/tCO}_2 = 55,80 \text{ €/MWh}$

Puulla: $66 \text{ €/MWh} + 0 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \cdot 10 \text{ €/tCO}_2 = 66,00 \text{ €/MWh}$

Vastaus:

Kaukolämmön tuottaminen maksaa maakaasulla 67,00 €/MWh, kivihieillä 61,40 €/MWh, turpeella 55,80 €/MWh ja puulla 66,00 €/MWh.

Tehtävä 15.2

Lähtötiedot:

Päästökaupan lisäkustannus turpeelle on 11 €/MWh.

Kuvan 15.1 mukaan turpeen hiilidioksidipäästöt ovat 0,382 tCO₂/MWh.

Laskenta:

Päästöoikeuden hinta: $11 \text{ €/MWh} / 0,382 \text{ tCO}_2/\text{MWh} = 28,8 \text{ €/tCO}_2$

Vastaus:

Päästöoikeuden hinta on 28,8 € hiilidioksiditonnilta.

Tehtävä 15.3

Lähtötiedot:

Lähtötiedot saadaan kuvasta 15.1.

Turpeella tuotetun energian tuotantohinta on alhaisin eli 52 €/MWh.

Puu on kallein eli puuenergian tuotantokustannukset ovat 66 €/MWh.

Laskenta:

Turpeen lisäkustannuksen tulee olla vähintään:

$66 \text{ €/MWh} - 52 \text{ €/MWh} = 14,00 \text{ €/MWh}$

Turpeen päästöoikeuden hinta, kun kannattavuus olisi yhtä suuri:
 $14,00 \text{ €/MWh} / 0,382 \text{ tCO}_2/\text{MWh} = 36,65 \text{ €/tCO}_2$

Vastaus:

Turpeen päästöoikeuden hinnan tulee olla enemmän kuin 36,70 € hiilidioksiditonnilta, jotta puu olisi kannattavin polttoaine.

Tehtävä 16.1

Lähtötiedot:

Rankapuun tuhkapitoisuus on 1,0 %.

Havupuukiintokuutiometrin kuivatuoretiheys on 430 kg/m³.

Puuta on yksi kuutiometri.

Laskenta:

Puukuutiossa on tuhkaa: $1,0 / 100 \cdot 430 \text{ kg} = 4,3 \text{ kg}$ tuhkaa

Vastaus:

Havupuukuutiossa on 4,3 kg tuhkaa.

Hakkilan ja Kalajan mukaan [1983] kotimaista rankapuuta poltettaessa saadaan 3–5 kg tuhkaa kiintokuutiometriä kohti.

Tehtävä 16.2

Lähtötiedot:

Puutuhkaa levitetään 4 000 kg/ha.

Tuhkan kosteus on 30 %.

Fosforia ja kaliumia on 2 % puutuhkan kuiva-aineesta.

Laskenta:

Tuhkaerässä on vettä 30 %: $30 / 100 \cdot 4 000 \text{ kg} = 1 200 \text{ kg}$

Tuhkaerässä on tuhkaa: $4 000 \text{ kg} - 1 200 \text{ kg} = 2 800 \text{ kg}$

Tuhkaerän kuiva-aineesta on fosforia ja kaliumia 2 %:

$2 / 100 \cdot 2 800 \text{ kg/ha} = 56 \text{ kg/ha}$

Vastaus:

Fosforia ja kaliumia levitetään hehtaarille 56 kg.

Tehtävä 16.3

Lähtötiedot:

Tuhkaa levitetään 5 t/ha = 5 000 kg/ha.

Tuhkan kosteus on 32 %.

Kadmiumia on tuhkassa 20 mg/kg.

Laskenta:

Tuhkaa levitetään hehtaarille kuiva-aineena:

$$5\,000\text{ kg} - (32/100 \cdot 5\,000)\text{ kg} = 5\,000\text{ kg} - 1\,600\text{ kg} = 3\,400\text{ kg}$$

$$\text{Kadmiumin määrä hehtaarilla: } 20\text{ mg/kg} \cdot 3\,400\text{ kg} = 68\,000\text{ mg} = 68\text{ g}$$

Vastaus:

Suometsä hehtaarille pääsee kadmiumia 68 g.

Tehtävä 16.4

Lähtötiedot:

Tuhkaa levitetään 20 hehtaarille.

Tuhka levitetään 4,5 t/ha = 4 500 kg/ha.

Levityskustannukset ovat 300 €/ha.

Laskenta:

Tuhkaa levitetään yhteensä: 20 ha · 4 500 kg/ha = 90 000 kg

Tuhka- ja levityskustannukset (ilman alvia): 300 €/ha · 20 ha = 6 000 €

Vastaus:

Tuhkaa levitetään 90 000 kg.

Tuhkaerä ja sen levitys maksavat yhteensä 6 000 €.

Tehtävä 16.5

Lähtötiedot:

Tuhkaa levitetään 20 hehtaarille.

Tuhkaa levitetään 5 t/ha = 5 000 kg/ha.

Levityskustannukset ovat 600 €/ha.

Laskenta:

Tuhkaa levitetään yhteensä: 20 ha · 5 000 kg/ha = 100 000 kg

Tuhka- ja levityskustannukset (ilman alvia): 600 €/ha · 20 ha = 12 000 €

Vastaus:

Tuhkaa levitetään 100 000 kg.

Tuhka ja sen levitys maksavat yhteensä 12 000 €.

Tehtävä 16.6**Lähtötiedot:**

Laskenta-aika on 20 vuotta.

Suometsän pinta-ala on hehtaari.

Laskentakorot ovat 3,0 %:n ja 5,0 %:n reaalikorot ilman inflaatiota.

Puutuhkan aiheuttama vuotuinen lisäkasvu on 2,5 m³/ha.

Kuitupuun kantohinta on 12 €/m³.

Lannoituskustannus on 400 €/ha.

Laskenta:

a) Tuhkalannoituksen lisäämän kasvun arvo 20 vuodessa:

$$12 \text{ €/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 20 \text{ a} = 600 \text{ €/ha}$$

Lannoituskustannukset: 400 €/ha

$$NPV = \frac{600 \text{ €/ha}}{(1+3/100)^{20}} - \frac{400 \text{ €/ha}}{(1+3/100)^0} = -67,79 \text{ €/ha}$$

b)

$$NPV = \frac{600 \text{ €/ha}}{(1+5/100)^{20}} - \frac{400 \text{ €/ha}}{(1+5/100)^0} = -173,87 \text{ €/ha}$$

c) Investoinnin sisäinen korko saadaan ratkaisemalla x yhtälöstä:

$$NPV = \frac{600 \text{ €/ha}}{(1+x/100)^{20}} - \frac{400 \text{ €/ha}}{(1+x/100)^0} = 0$$

$$X = 2,05$$

Vastaus:

a) Nettotulojen nykyarvo 3 %:n laskentakorolla on -57,80 €/ha

b) Nettotulojen nykyarvo 5 %:n laskentakorolla on 173,90 €/ha.

c) Investoinnin sisäinen korko on 2,1 %.

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A. TUTKIMUKSIA

1. Timo Toikko. Sosiaalityön amerikkalainen oppi: Yhdysvaltalaisen caseworkin kehitys ja sen yhteys suomalaiseen tapauskohtaiseen sosiaalityöhön. 2001.
 2. Jouni Björkman. Risk Assessment Methods in System Approach to Fire Safety. 2005.
 3. Minna Kivipelto. Sosiaalityön kriittinen arviointi: Sosiaalityön kriittisen arvioinnin perustelut, teoriat ja menetelmät. 2006.
 4. Jouni Niskanen. Community Governance. 2006. (verkkojulkaisu)
 5. Elina Varamäki, Matleena Saarakkala & Erno Tornikoski. Kasvuyrittäjyyden olemus ja pk-yritysten kasvustrategiat Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
 6. Kari Jokiranta. Konkretisoituva uhka: Ilkka-lehden huumekirjoitukset vuosina 1970–2002. 2008.
 7. Kaija Loppela. Ryhmässä oppiminen – tehokasta ja hauskaa: Arviointitutkimus PBL-pedagogiikan käyttöönotosta fysioterapeuttikoulutuksessa Seinäjoen ammattikorkeakoulussa vuosina 2005–2008. 2009.
 8. Matti Ryhänen & Kimmo Nissinen (toim.). Kilpailukykyä maidontuotantoon: Toimintaympäristön tarkastelu ja ennakointi. 2011.
 9. Elina Varamäki, Juha Tall, Kirsti Sorama, Aapo Länsiluoto, Anmari Viljamaa, Erkki K. Laitinen, Marko Järvenpää & Erkki Petäjä. Liiketoiminnan kehittyminen omistajanvaihdoksen jälkeen: Case-tutkimus omistajanvaihdoksen muutostekijöistä. 2012
 10. Merja Finne, Kaija Nissinen, Sirpa Nygård, Anu Hopia, Hanna-Leena Hietaranta-Luoma, Harri Luomala, Hannu Karhu & Annu Peltoniemi. Eteläpohjalaiset elintavat ja terveyskäyttäytyminen: TERVAS: Terveelliset valinnat ja räätälöidyt syömisen ja liikkumisen mallit 2009–2011. 2012.
-

11. Elina Varamäki, Kirsti Sorama, Anmari Viljamaa, Tarja Heikkilä & Kari Salo. Eteläpohjalaisten sivutoimiyrittäjien kasvutavoitteet sekä kasvun mahdollisuudet. 2012.
12. Janne Jokelainen. Hirsiseinän tilkemateriaalien ominaisuudet. 2012.
13. Elina Varamäki & Seliina Päälysaho (toim.) Tapio Varmola – suomalaisen ammattikorkeakoulun rakentaja ja kehittäjä. 2013.
14. Tuomas Hakonen. Bioenergiaterminaalin hankintaketjujen kanttavuus eri kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeilla. 2013.
15. Minna Zechner (toim). Hyvinvointitieto: kokemuksellista, hallinnollista ja päätöksentekoa tukevaa? 2014.
16. Sanna Joensuu, Elina Varamäki, Anmari Viljamaa, Tarja Heikkilä & Marja Katajavirta. Yrittäjyysaikomukset, yrittäjyysaikomusten muutos ja näihin vaikuttavat tekijät koulutuksen aikana. 2014.

B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ

1. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu: Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma. 1998.
2. Elina Varamäki, Ritva Lintilä, Taru Hautala & Eija Taipalus. Pk-yritysten ja ammattikorkeakoulun yhteinen tulevaisuus: Prosessin kuvaus, tuotokset ja toimintaehdotukset. 1998.
3. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1996–1997 valmistuneiden sijoittuminen. 1999.
4. Petri Kahila. Tietoteollisen koulutuksen tilanne- ja tarveselvitys Seinäjoen ammattikorkeakoulussa: Väliraportti. 1999.
5. Elina Varamäki. Pk-yritysten tuleva elinkaari: Säilyykö Etelä-Pohjanmaa yrittäjämaakuntana? 1999.
6. Seinäjoen ammattikorkeakoulun laatu järjestelmän auditointi 1998–1999: Itsearviointiraportti ja keskeiset tulokset. 2000.

7. Heikki Ylihärtilä. Puurakentaminen rakennusinsinöörien koulutuksessa. 2000.
 8. Juha Ruuska. Kulttuuri- ja sisältötuotannon koulutusselvitys. 2000.
 9. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu: Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma 2001. 2001.
 10. Minna Kivipelto (toim.). Sosionomin asiantuntijuus: Esimerkkejä kriminaalihuolto-, vankila- ja projektityöstä. 2001.
 11. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1998–2000 valmistuneiden sijoittuminen. 2002.
 12. Tapio Varmola, Helli Kitinoja & Asko Peltola (ed.). Quality and new challenges of higher education: International Conference 25.–26. September, 2002. Seinäjoki Finland. Proceedings. 2002.
 13. Susanna Tauriainen & Arja Ala-Kauppila. Kivennäisaineet kasvavien nautojen ruokinnassa. 2003.
 14. Päivi Laitinen & Sanna Välisaari. Staphylococcus aureus -bakteerien aiheuttaman utaretulehduksen ennaltaehkäisy ja hoito lypsykarjatiljoilla. 2003.
 15. Riikka Ahmaniemi & Marjut Setälä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu: Alueellinen kehittäjä, toimija ja näkijä. 2003.
 16. Hannu Saari & Mika Oijennus. Toiminnanohjaus kehityskohteena pk-yrityksessä. 2004.
 17. Leena Niemi. Sosiaalisen tarkastelua. 2004.
 18. Marko Järvenpää (toim.) Muutoksen kärjessä: Kalevi Karjanlahti 60 vuotta. 2004.
 19. Suvi Torkki (toim.). Kohti käyttäjäkeskeistä muotoilua: Muotoilukoulutuksen painotuksia SeAMK:ssa. 2005.
 20. Timo Toikko (toim.). Sosiaalialan kehittämistyön lähtökohta. 2005.
-

-
21. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2001 – 2003 valmistuneiden sijoittuminen opiskelun jälkeen. 2005.
 22. Tuija Pitkäköske, Sari Pajuniemi & Hanne Vuorenmaa (ed.). Food Choices and Healthy Eating: Focusing on Vegetables, Fruits and Berries: International Conference September 2nd – 3rd 2005. Kauhajoki, Finland. Proceedings. 2005.
 23. Katariina Perttula. Kokemuksellinen hyvinvointi Seinäjoen kolmella asuinalueella: Raportti pilottihankkeen tuloksista. 2005.
 24. Mervi Lehtola. Alueellinen hyvinvointitiedon malli: Asiantuntijat puhujina. Hankkeen loppuraportti. 2005.
 25. Timo Suutari, Kari Salo & Sami Kurki. Seinäjoen teknologia- ja innovaatiokeskus Frami vuorovaikutusta ja innovatiivisuutta edistävänä ympäristönä. 2005.
 26. Päivö Laine. Pk-yritysten verkkosivustot: Vuorovaikutteisuus ja kansainvälistyminen. 2006.
 27. Erno Tornikoski, Elina Varamäki, Marko Kohtamäki, Erkki Petäjä, Tarja Heikkilä & Kirsti Sorama. Asiantuntijapalveluyritysten yrittäjien näkemys kasvun mahdollisuuksista ja kasvun seurauksista Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla: Pro Advisor -hankkeen esiselvitystutkimus. 2006.
 28. Elina Varamäki (toim.) Omistajanvaihdosnäkymät ja yritysten jatkuvuuden edistäminen Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
 29. Thorsten Beck, Henning Bruun-Schmidt, Helli Kitinoja, Lars Sjöberg, Owe Svensson & Alfonsas Vainoras. eHealth as a facilitator of transnational cooperation on health: A report from the Interreg III B project "eHealth for Regions". 2007.
 30. Anmari Viljamaa & Elina Varamäki (toim.) Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2007. 2007.
 31. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Eija Taipalus & Marja Lautamaja. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2004 – 2005 valmistuneiden sijoittuminen opiskelujen jälkeen. 2007.
-

32. Sulevi Riukulehto. Tietoa, tasoa, tekoja: Seinäjoen ammattikorkeakoulun ensimmäiset vuosikymmenet. 2007.
 33. Risto Lauhanen & Jussi Laurila. Bioenergian hankintalogistiikka: Tapaustudkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. 2007. (verkkojulkaisu).
 34. Jouni Niskanen (toim.). Virtuaalioppimisen ja -opettamisen Benchmarking Seinäjoen ammattikorkeakoulun, Seinäjoen yliopistokeskuksen sekä Kokkolan yliopistokeskuksen ja Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakouluun Averkon välillä keväällä 2007. Loppuraportti. 2007. (verkkojulkaisu).
 35. Heli Simon & Taina Vuorela. Ammatillisuus ammattikorkeakoulujen kielten- ja viestinnäopetuksessa: Oulun seudun ammattikorkeakoulun ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun kielten- ja viestinnäopetuksen arviointi- ja kehittämishanke 2005–2006. 2008. (verkkojulkaisu).
 36. Margit Närvä, Matti Ryhänen, Esa Veikkola & Tarmo Vuorenmaa. Esiselvitys maidontuotannon kehittämiskohteista. Loppuraportti. 2008.
 37. Anu Aalto, Ritva Kuoppamäki & Leena Niemi. Sosiaali- ja terveysalan yrittäjyyspedagogisia ratkaisuja: Seinäjoen ammattikorkeakoulun Sosiaali- ja terveysalan yksikön kehittämishanke. 2008. (verkkojulkaisu)
 38. Anmari Viljamaa, Marko Rossinen, Elina Varamäki, Juha Alarinta, Pertti Kinnunen & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2008. 2008. (verkkojulkaisu).
 39. Risto Lauhanen. Metsä kasvaa myös Länsi-Suomessa: Taustaselvitys hakkuumahdollisuuksista, työmääristä ja resurssitarpeista. 2009. (verkkojulkaisu).
 40. Päivi Niiranen & Sirpa Tuomela-Jaskari. Haasteena ikäihmisten päihdeongelma?: Selvitys ikäihmisten päihdeongelman esiintyvyydestä pohjalaismaakunnissa. 2009. (verkkojulkaisu).
 41. Jouni Niskanen. Virtuaaliopetuksen ajokorttikonsepti: Portfoliotyyppinen henkilöstökoulutuskokonaisuus. 2009. (verkkojulkaisu)
 42. Minttu Kuronen-Ojala, Pirjo Knif, Anne Saarijärvi, Mervi Lehtola & Harri Jokiranta. Pohjalaismaakuntien hyvinvointibarometri 2009: Selvitys pohjalaismaakuntien hyvinvoinnin ja hyvinvointipalveluiden tilasta sekä niiden muutossuunnista. 2009. (verkkojulkaisu).
-

-
43. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas & Pentti Rauhala. Seinäjoen ammattikorkeakoulu: Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio toiminnan arviointiraportti. 2010.
 44. Elina Varamäki (toim.), Pertti Kinnunen, Marko Kohtamäki, Mervi Lehtola, Sami Rintala, Marko Rossinen, Juha Tall & Anmari Viljamaa. Etelä-Pohjanmaan yrittäjäyyskatsaus 2010. 2010.
 45. Elina Varamäki, Marja Lautamaja & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan omistajanvaihdosbarometri 2010. 2010.
 46. Tiina Sauvula-Seppälä, Essi Ulander & Tapani Tasanen (toim.). Kehittyvä metsäenergia: Tutkimusseminaari Seinäjoen Framissa 18.11.2009. 2010.
 47. Veli Autio, Jouni Björkman, Peter Grönberg, Markku Heinisuo & Heikki Ylihärsilä. Rakennusten palokuormien inventaariotutkimus. 2011.
 48. Erkki K. Laitinen, Elina Varamäki, Juha Tall, Tarja Heikkilä & Kirsti Sorama. Omistajanvaihdokset Etelä-Pohjanmaalla 2006 – 2010: Ostajayritysten ja ostokohteiden profiilit ja taloudellinen tilanne. 2011.
 49. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Marja Lautamaja. Nuorten, aikuisten sekä ylemmän tutkinnon suorittaneiden sijoittuminen työelämään: Seurantatutkimus Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2006 – 2008 valmistuneille. 2011.
 50. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas & Pertti Rauhala. Evaluation report for research, development and innovation activities. 2011.
 51. Ari Haasio & Kari Salo (toim.) AMK 2.0: Puheenvuoroja sosiaalisesta mediasta ammattikorkeakouluissa. 2011.
 52. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Juha Tall & Erno Tornikoski. Eteläpohjalaiset yrittäjät liiketoimintojen ostajina, myyjinä ja kehittäjinä. 2011.
 53. Jussi Laurila & Risto Lauhanen. Pienen kokoluokan CHP-teknologiasta lisää voimaa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle. 2011.
 54. Tarja Keski-Mattinen, Jouni Niskanen & Ari Sivula. Ammattikorkeakouluopintojen ohjaus etätyömenetelmillä. 2011.
-

55. Tuomas Hakonen & Jussi Laurila. Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen. 2011.
 56. Heikki Holma, Elina Varamäki, Marja Lautamaja, Hannu Tuuri & Terhi Anttila. Yhteistyösuhteet ja tulevaisuuden näkymät eteläpohjalaisissa puualan yrityksissä. 2011.
 57. Elina Varamäki, Kirsti Sorama, Kari Salo & Tarja Heikkilä. Sivutoimiyrittäjyyden rooli ammattikorkeakoulusta valmistuneiden keskuudessa. 2011.
 58. Kimmo Nissinen (toim.). Maitilan prosessien kehittäminen: Lypsy-, ruokinta- ja lannankäsittely- sekä kuiritusprosessien toteuttaminen: Maitohygienian turvaaminen maitotiloilla: Teknologisia ratkaisuja, rakiennuttaminen ja tuotannon ylösajo. 2012.
 59. Matti Ryhänen & Erkki Laitila (toim.). Yhteistyö ja resurssit maitotiloilla: Verkostomaisen yrittämisen lähtökohtia ja edellytyksiä. 2012.
 60. Jarkko Pakkanen, Kati Katajisto & Ulla El-Bash. Verkostoitunut älykkäiden koneiden kehitysympäristö: VÄLKKEY-projektin raportti. 2012.
 61. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Juha Tall, Aapo Länsiluoto & Anmari Viljamaa. Ostajien näkemykset omistajanvaihdoksen toteuttamisesta ja onnistumisesta. 2012.
 62. Minna Laitila, Leena Elenius, Hilikka Majasaari, Marjut Nummela & Annu Peltoniemi (toim.). Päihdetyön oppimista ja osaamista ammattikorkeakoulussa. 2012.
 63. Ari Haasio (toim.). Verkko haltuun!: Nätet i besittning!: Näkökulmia verkostoituvaan kirjastoon. 2012.
 64. Anmari Viljamaa, Sanna Joensuu, Beata Taijala, Seija Rått, Tero Turunen, Kaija-Liisa Kivimäki & Päivi Borisov. Elävästä elämästä: Kumppaniyrityspedagogiikka oppimisympäristönä. 2012.
 65. Kirsti Sorama. Klusteriennakointimalli osaamistarpeiden ennakointiin: Ammatillisen korkea-asteen koulutuksen opetussisältöjen kehittäminen. 2012.
-

-
66. Anna Saarela, Ari Sivula, Tiina Ahtola & Antti Pasila. Mobiilisovellus bioenergia-alan oppimisympäristöksi: Bioenergia-asiantuntijuutta kehittämässä Etelä-Pohjanmaalla. 2013
 67. Ismo Makkonen. Korjuri vs. koneketju energiapuunkorjuussa. 2013.
 68. Ari Sivula, Risto Lauhanen, Anna Saarela, Tiina Ahtola & Antti Pasila Bioenergia-asiantuntijuutta kehittämässä Etelä-Pohjanmaalla. 2013.
 69. Juha Tall, Kirsti Sorama, Piia Tulisalo, Erkki Petäjä & Ari Virkamäki. Yrittäjyys 2.0. – menestyksen avaimia. 2013.
 70. Anu Aalto & Salla Kettunen. Hoivayrittäjyys ikääntyvien palveluissa – nyt ja tulevaisuudessa. 2013.
 71. Varpu Hulusi, Tuomas Hakonen, Risto Lauhanen & Jussi Laurila. Metsänomistajien energiapuun myyntihalukkuus Etelä- ja Keski-Pohjanmaan metsäkeskusalueella. 2013.
 72. Anna Saarela. Nuoren metsän hoitokohteen ympäristönhoito ja työturvallisuus: Suomen metsäkeskuksen Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueyksikön alueella toimivien energiapuuyrittäjien haastattelu. 2014.
 74. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Juha Tall, Anmari Viljamaa & Aapo Länsiluoto. Omistajanvaihdoksen toteutus ja onnistuminen ostajan ja jatkajan näkökulmasta. 2013.
 75. Minttu Kuronen-Ojala, Mervi Lehtola & Arto Rautajoki. Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan ja Pohjanmaan hyvinvointibarometri 2012: ajankohtainen arvio pohjalaismaakuntien väestön hyvinvoinnin ja palvelujen tilasta sekä niiden muutossuunnista. 2014.
 76. Elina Varamäki, Juha Tall, Anmari Viljanmaa, Kirsti Sorama, Aapo Länsiluoto, Erkki Petäjä & Erkki K. Laitinen Omistajanvaihdos osana liiketoiminnan kehittämistä ja kasvua – tulokset, johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset. 2013.
 77. Kirsti Sorama, Terhi Anttila, Salla Kettunen & Heikki Holma. Maatilojen puurakentamisen tulevaisuus : Elintarvikeklusterin ennakointi. 2013.
-

78. Hannu Tuuri, Heikki Holma, Yrjö Ylkänen, Elina Varamäki & Martti Kangasniemi. Kuluttajien ostopäätöksiin vaikuttavat tekijät ja oheispalveluiden tarpeet huonekaluhankinnoissa: Eväitä huonekaluteollisuuden markkina-aseman parantamiseksi. 2013.
80. Tarja Heikkilä, Marja Katajavirta & Elina Varamäki. Nuorten ja aikuisten tutkinnon suorittaneiden sijoittuminen työelämään –seurantatutkimus Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v 2009 – 2012 valmistuneille. 2014.

C. OPPIMATERIAALEJA

1. Ville-Pekka Mäkeläinen. Basics of business to business marketing. 1999.
2. Lea Knuuttila. Mihin työhajausta tarvitaan?: Oppimateriaalia sosiaalialan opiskelijoiden työhajauskurssille. 2001.
3. Mirva Kuni, Petteri Männistö & Markus Välimaa. Leikkauspelot ja niiden hoitaminen. 2002.
4. Ilpo Kempas & Angela Bartens. Johdatus portugalin kielen ääntämiseen: Portugali ja Brasilia. 2011.
5. Ilpo Kempas. Ranskan kielen prepositio-opas: Tavallisimmat tapaukset, joissa adjektiivi tai verbi edellyttää tietyn preposition käyttöä tai esiintyy ilman prepositiota. 2011.

D. OPINNÄYTETÖITÄ

1. Hanna Halmesmäki & Merja Halmesmäki. Työvoiman osaamistarvekartoitus Etelä-Pohjanmaan metalli- ja puualan yrityksissä. 1999.
 2. Tiina Kankaanpää, Maija Luoma-aho & Heli Sinisalo. Kymmenen metrin kävelytestin suoritusohjeet CD-rom levyllä: Aivoverenkiertohäiriöön sairastuneen kävelyn mittaaminen. 2000.
 3. Laura Elo. Arvojen rooli yritysmaailmassa. 2001.
 4. Nina Anttila. Päälle käyvä: Vaatemallisto ikääntyvälle naiselle. 2002.
 5. Jaana Jeminen. Matkalla muotoiluyrittäjyyteen. 2002.
-

-
6. Päivi Akkanen. Lypsääkö meillä tulevaisuudessa robotti? 2002.
 7. Johanna Kivioja. E-learningin alkutaival ja tulevaisuus Suomessa. 2002.
 8. Heli Kuntola & Hannele Raukola. Naisen kokemuksia minäkuvan muuttumisesta rinnanpoistoleikkauksen jälkeen. 2003.
 9. Jenni Pietarila. Meno-paluu -lauluillan tuottaminen: Produktion tuottajan käsikirja. 2003.
 10. Johanna Hautamäki. Asiantuntijapalvelun tuotteistaminen case: Avaimet markkinointiin, kehittyvän yrityksen asiakasohjelma -pilotti projekti. 2003.
 11. Sanna-Mari Petäjistö. Teollinen tuotemuotoiluprosessi: Sohvapöydän ja sen oheistuotteiden suunnittelu. 2004.
 12. Susanna Patrikainen. Nuorekkaita asukokonaisuuksia Mode LaRose Oy:lle: Vaatemallien suunnittelu teolliseen mallistoon. 2004.
 13. Tanja Rajala. Suonikohjuleikkaukseen tulevan potilaan ja hänen perheensä ohjaus päiväkirurgisessa yksikössä. 2004.
 14. Marjo Lapiolahti. Maksuvalmiuslaskelmien toteutuminen sukupolvenvaihdoilla. 2004.
 15. Marjo Taittonen. Tutkimusmatka syrjäytymisen maailmaan. 2004.
 16. Minna Hakala. Maidon koostumus ja laatutekijät. 2004.
 17. Anne Uusitalo. Tuomarniemen ympäristöohjelma. 2004.
 18. Maarit Hoffrén. Vaihtelua kasviksilla: Kasvisruokalistan kehittäminen opiskelijaravintola Risettiin. 2004.
 19. Sami Karppinen. Tuomarniemen hengessä: Arkeista antologiaksi. 2005.
 20. Elina Syrjänen & Anne-Mari Uschanoff. Messut – ideasta toimintaan: Messutoteutus osana yrityksen markkinointiviestintää. 2005.
 21. Ari Sivula. Metahakemiston ja LDAP-hakemiston asennus, konfigurointi ja ohjelmointi Seinäjoen koulutuskuntayhtymälle. 2006. (verkkojulkaisu).
 22. Johanna Väliniemi. Suorat kaaret: kattaustekstiilien suunnittelu yhteistyössä tekstiiliteollisuuden kanssa. 2006. (verkkojulkaisu).
-

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Kalevankatu 35, PL 97, 60101 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-76-5 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5581 (verkkojulkaisu)