

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 216

Kansantaloudellisen metsäekonomian
tutkimussuunta



HAKELÄMPÖLAITOKSILLE KANNATTAVASTI KORJATTAVAN POLTTOPUUMÄÄRÄN ARVIOINTIMENETELMÄ

LEENA PETÄJISTÖ



HELSINKI 1986



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 216

Kansantaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunta

Leena Petäjistö

HAKELÄMPÖLAITOKSILLE KANNATTAVASTI KORJATTAVAN POLTTOPUU-
MÄÄRÄN ARVIOINTIMENETELMÄ

Helsinki 1986

101-101 101-101

ISBN 951-40-0892-8
ISSN 0358-4283

SISÄLLYS

	Sivu
ESIPUHE	
TIIVISTELMÄ	3
1. JOHDANTO	5
1.1. Tutkimuksen tausta	5
1.2. Tutkimuksen tarkoitus	7
1.3. Keskeiset käsitteet	11
2. MENETELMÄT JA AINEISTO	12
2.1. Investointilaskelmat	12
2.2. Suoritekohtaisten kustannusten laskeminen	14
2.3. Aineisto ja kustannustiedot	16
3. KEHITETTY LASKENTAMALLI	18
3.1. Laskentatilanteen raja	18
3.1.1. Lämpölaitoksen suunnittelutilanne	18
3.1.2. Hankintakustannusten laskentatilanne	20
3.2. Lämmöntuotannon yksikkökustannukset	22
3.3. Laitosten liiketaloudellinen kannattavuus	25
3.4. Polttopuun enimmäishinta	27
3.5. Polttopuun hankintakustannusten muodostuminen	29
3.6. Leimikoittainen hankintakustannusten arviointi	31
3.7. Taloudellisesti saavutettavan polttopuumäärän arviointi	35
3.8. Sovellutusesimerkkejä laskentamallin käytöstä	38
3.8.1. Sovellutusesimerkki kunnallisen 1 MW:n lämpölaitoksen suunnittelutilanteessa	38
3.8.2. Sovellutusesimerkki 3 MW:n aluelämpölaitoksen suunnittelutilanteesta	45
4. TULOSTEN TARKASTELU	49
LÄHTEET	54

ESIPUHE

Metsäntutkimuslaitoksessa on toteutettu vuodesta 1978 lähtien laajamittaista tieteiden välistä yhteistutkimusprojektia "Puu energian raaka-aineena" (Pera). Leena Petäjistä teki tämän esitutkimuksen osana Pera-projektin taloudellisia tutkimuksia. Taloudellisia tutkimuksia tehdään tutkimusryhmässä, johon Petäjistön lisäksi kuuluvat Tapio Hankala, Matti Palo ja Mikko Toropainen.

Kauppa- ja teollisuusministeriö ja Metsäntutkimuslaitos rahoittivat yhdessä tämän tutkimuksen. Lauri Heikinheimo toimi tutkimuksen vastuullisena johtajana kauppa- ja teollisuusministeriölle, jossa Jouko Hepola, Raija Pikku-Pyhältö ja Martti Korkiakoski valvoivat tutkimusta.

Sirpa Onttinen avusti aineiston käsittelyssä ja Jorma Salo laati laskentamallin tietokonesovellutuksen. Pentti Hakkila Metsäntutkimuslaitoksen metsätyötieteen tutkimussuunnalta ja Esko Jaatinen Imatran Voima Oy:stä sekä em. tutkimusryhmän jäsenet lukivat käsikirjoituksen. Metsäteho luovutti leimikkoaineiston esimerkkeihin.

Kiitän kansantaloudellisen metsäekonomin tutkimussuunnan puolesta kaikkia tämän tutkimuksen toteuttamiseen ystävällisesti myötävaikuttaneita henkilöitä ja yhteisöjä.

Helsingissä, helmikuussa 1986

Matti Palo

TIIVISTELMÄ

Tämän esitutkimuksen tarkoituksena oli kehittää laskenta-malli, jonka avulla voidaan arvioida polttopuuta pääpoltto-aineenaan käyttävää lämpölaitosta suunniteltaessa kannattavasti korjattavissa olevia puumääriä. Malli perustuu polttopuun kilpailukykyisen hinta-arvion ja polttopuun hankintakustannusten määrittämiseen.

Malli jaettiin kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin liiketaloudellisten laskelmien avulla polttopuulle enimmäishinta. Polttopuun enimmäishinta tarkoittaa sitä korkeinta polttopuun hintaa, jolla päästään etukäteen asetetun liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaisiin lämmöntuotannon kustannuksiin. Liiketaloudellisen kannattavuuden selvittämismenetelmäksi valittiin korollisen takaisinmaksuajan menetelmä. Laskentamallin avulla osoitettiin lämpölaitoksen suunnittelussa tarvittavat kustannus- ja hintatiedot.

Polttopuun enimmäishintaan vaikuttavat oleellisesti laskelmiin valitun vertailupolttoaineen hinta ja vertailulaitoksen sekä polttopuulaitoksen investointikustannukset. Polttopuulaitoksessa on mallissa rajatussa laskentatilanteessa saavutettava kustannussäästöjä niin paljon, että vertailtavien laitosratkaisujen välinen erotusinvestointi palautuu investoijalle takaisin tietyn ajan kuluessa korkoineen. Liiketaloudellisiin laskelmiin valitussa vertailulaitoksessa oletettiin tuotettavan lämpöä saman verran kuin polttopuulaitoksessa.

Mallin toisessa vaiheessa selvitettiin polttopuun hankintakustannusten muodostuminen. Siinä selvitettiin erityisesti lämpölaitoksen suunnittelussa tärkeimmät leimikko- ja muut polttopuun hankintakustannuksiin vaikuttavat tekijät. Lämpölaitoksen suunnittelun kannalta on polttopuun korjuumenetelmän ja lämpölaitoksen polttopuun laadulle asettamien vaatimusten välinen riippuvuus oleellista. Polttopuulle ase-

tetut laatuvaatimukset (ranka-, kokopuu-, hakkutähdehake) vaikuttavat polttopuun hankintakustannuksiin. Kehitetyn laskentamallin avulla on mahdollista tarkastella lämpölaitoksen teknisten ratkaisujen ja mahdollisten lisäinvestointien ja polttopuun eri korjuumenetelmien välisiä suhteita. Polttopuun hankintakustannukset voidaan arvioida mallissa sekä kokopuuna että kyseeseen tulevilla leimikoissa myös rankana korjattuina. Esitutkimusvaiheessa malli rajattiin koskemaan välivarastohaketusketjuja.

Hankintakustannusten laskennassa on otettu huomioon lämpölaitoksen vuotuisen polttopuun tarpeen ja leimikkotekijöiden vaikutus. Hankintakustannusten arviointi perustuu eri työvaiheille sovittujen maksujen ja maksuehdotusten käyttöön ja on rakennettu niin, että mallin käyttäjä poimii voimassa olevista maksu-, ja taksataulukoista tarvittavat kustannustiedot leimikoittaisten olosuhteiden perusteella.

Mallin kolmannessa vaiheessa verrataan polttopuun enimmäishintaa polttopuun keskimääräisiin hankintakustannuksiin. Leimikoittain arvioidun, talteen saatavilla puumäärillä painotetun keskimääräisen hankintakustannuksen ja polttopuun enimmäishinnan avulla arvioidaan polttopuulaitoksen taloudellisesti saavutettavia puumääriä. Taloudellisesti saavutettavaksi puumääräksi ymmärretään tarkastelujakson aikana korjattaviksi suunnitelluista leimikoista saatava puumäärä, jonka keskimääräinen hankintakustannus on korkeintaan sama kuin polttopuun enimmäishinta. Polttopuu voi tällöin kertyä eri leimikkotyypeistä ja olla eri korjuumenetelmin korjattua.

Laskelma on luonteeltaan ennakoarvio. Laskentamallin käyttöä havainnollistetaan kahta suunnittelutilannetta edustavilla empiirisillä esimerkeillä.

1. JOHDANTO

1.1. Tutkimuksen tausta

Energiahuolto maassamme on muuttunut huomattavasti viime vuosikymmeninä. Voimakas energian kokonaiskäytön kasvu tyydytettiin suurimmaksi osaksi ulkomailta tuodulla energialla. Kasvu hidastui 1970-luvun loppupuolella ja energiakriisien jälkeen Suomessa kiinnitettiin entistä enemmän huomiota energiaomavaraisuuden lisäämiseen. Valtioneuvostossa hyväksytyjen energiapoliittisten ohjelmien (1979, 1983) eräänä pyrkimyksenä on energiaomavaraisuuden nostaminen lisäämällä kotimaisten energialähteiden osuutta. Puuhun perustuvien energialähteiden käyttöä on 1983 hyväksytyin ohjelman mukaan mahdollista lisätä vuoteen 1995 mennessä noin 6 miljoonaa kuutiometriä vastaavalla määrällä vuodessa.

Korjuuteknisesti nykyiset ainespuukäytön ulkopuoliset puuvarat muodostavat polttopuupotentiaalin, josta esitetyt arviot vaihtelevat 11,4 milj.m³ /a (Valtanen 1981) ja 15,3 milj.m³ /a (Hakkila 1978) välillä. Selvityksissä on otettu huomioon ainoastaan biologiset ja korjuutekniset tekijät, mutta sivuutettu taloudelliset rajoitteet. Puuvaraselvitykseen (1976) perustuen on tehty myös alueittaisia polttopuumäärien arvioita (Valtanen 1981, Äijälä & Sahrman 1982, Kotimaisten polttoaineiden tuotanto... 1983), jotka nekin kuvaavat puumääriä, jotka teknisesti olisivat vuosittain hyödynnettävissä ottamatta kantaa kannattavuusseikkoihin. Polttopuun korjuun taloudelliset rajoitteet ovat painottuneet kuitenkin entistä voimakkaammin tuontipolttoaineiden viimeaikaisen hintakehityksen vuoksi.

Polttohakkeen tuotanto-, jakelu- ja käyttötekniikkaa sekä kustannuksia on selvitetty esimerkiksi kauppa- ja teollisuusministeriön ja SITRAn teettämässä "Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden alueellisen hyväksikäytön kehittäminen"-projektin loppuraportissa (Immonen & Seppälä 1984).

Polttopuun korjuuteknologisia tutkimuksia on tehty "Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö" -projektin yhteydessä Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla. Hakkila (1984) on tutkinut polttopuun hankinnan edellytyksiä, korjuuketjuja ja hankinnassa ilmenneitä ongelmia sekä polttohakkeen käytön tekniikkaa ja kustannuksia lämpölaitoksilla. Pienpuun ja hakkuutähteen käyttömahdollisuuksia ja käytön taloudellisuutta sekä korjuun ajankäyttöä ovat selvittäneet esimerkiksi Lönnberg ja Vesikallio (1980) ja Kuitto (esimerkiksi 1983).

Kansantaloudellisia ja liiketaloudellisia tutkimuksia kotimaisten energian käytöstä on tehty mm. Metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomin tutkimusosastolla. Jaatinen (esimerkiksi 1980) on tutkinut puun polttoainekäytön ja jalostuskäytön allokointiongelmia kansantaloudessa. Toropainen (1982, 1984a ja 1984b) on tutkinut julkisen rahoitustuen vaikutusta kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymisessä sekä avustusten vaikutusta erityisesti aluelämpölaitosten investointeihin sekä selvittänyt lämpölaitosten liiketaloudellista ja kansantaloudellista kannattavuutta eri näkökulmista. Rahoitustukea saaneiden energiainvestointien kansantaloudellisia ja muita vaikutuksia sekä rahoitustuen kehittämistä on arvioitu myös mm. kauppa- ja teollisuusministeriön asettaman työryhmän toimesta (Energiainvestointien rahoitustuen ... 1982). Energiainvestointeihin myönnetyn tuen vaikutusta yritysten päätöksentekoon on tutkittu Liiketaloustieteellisessä tutkimuslaitoksessa (Energiainvestointien vaikutus ...1983).

Kotimaisten polttoaineiden kilpailukykyisyyttä verrattuna tuontipolttoaineisiin on selvitetty kauppa- ja teollisuusministeriön Ekono Oy:llä teettämissä kilpailukykyisyyyslaskelmissa (Kotimaisten polttoaineiden ...1983). Kilpailukykyisyyssarviot perustuvat lämmöntuotannon yksikkökustannuslaskelmiin eri polttoaineilla tuotettuna.

Energiantuotannolle asetetut kannattavuusvaatimukset ja korjuuteknisesti ja biologisesti korjuukelpoisten puuvarojen korjuun taloudelliset rajoitteet eivät kuitenkaan ole olleet aktiivisen tutkimuksen kohteena. Lämpölaitosten liiketaloudellisen kannattavuuden perusteella ei ole arvioitu taloudellisesti saavutettavia polttopuumääriä, vaikka kysymys on puun energiakäytön lisäämisen ja energialaitosten suunnittelun kannalta keskeinen.

1.2. Tutkimuksen tarkoitus

Energialaitosten tyyppi- ja kokojakauma vaikuttaa polttopuun kilpailukykyyn energian raaka-aineena laitoksen tehon, laiteratkaisujen ja mahdollisten vertailupolttoaineiden muuttuessa.

Lämpölaitoshankkeen kannattavuutta voidaan tarkastella alue- tai kaukolämpölaitoksen piiriin siirtyvän yksittäisen kuluttajan, lämpöä tuottavan laitoksen tai kunnallis- tai kansantalouden kannalta. Puun käyttöä lisäävän energiantuotantokapasiteetin rakentaminen edellyttää kuitenkin, että investoijan hankkeelle etukäteen asettamat kannattavuusvaatimukset pystytään suunnitelmien mukaan täyttämään. Päätöksentekijä joutuu suunnittelussaan selvittämään, millä hinta- ja kustannusedellytyksillä lämpölaitoksen energiantuotannossaan tarvitsema puumäärä on käyttöpaikalle hankittavissa. Rajoitteena on tällöin laitoksen toiminnalle asetettu kannattavuustavoite.

Polttopuun hankintakustannus vaihtelee leimikoittain mm. korjuuteknisten olosuhdetekijöitten, kaukokuljetusmatkan, polttopuusta maksetun kantohinnan sekä lämpölaitoksen teknisten ratkaisujen polttopuulle asettamien laatuvaatimusten mukaan (ks. esim. Hakkila 1984, Lönnberg & Vesikallio 1980).

Tutkimustehtäväksi asetettiin laskentamallin kehittäminen, jota voitaisiin käyttää apuna lämpölaitosta suunniteltaessa. Malli rakennettiin tietokoneperustaiseksi. Tarkoituksena oli erityisesti osoittaa hinta- ja kustannustiedot, joita päätöksentekijä tarvitsee polttopuuta käyttävän lämpölaitoksen suunnittelutilanteessa.

Laskentamallin lähtökohtana on se, että rakennettavaksi suunnitellun lämpölaitoksen on toimittava liiketaloudellisesti kannattavasti. Malli jaettiin kolmeen vaiheeseen.

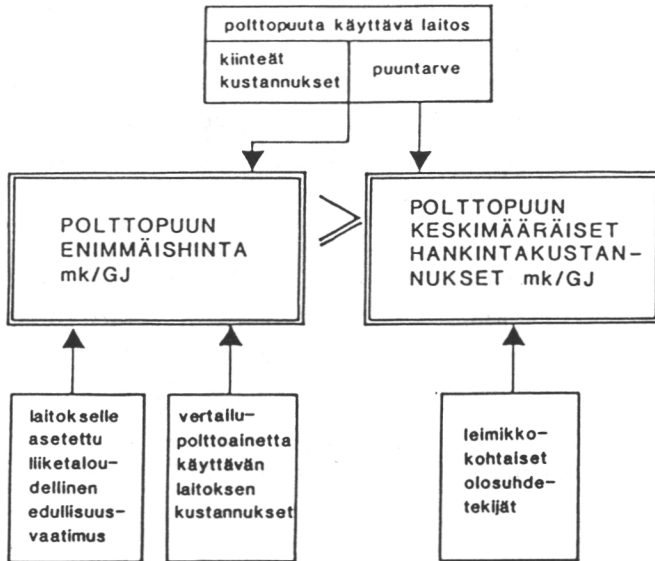
Ensimmäisessä vaiheessa verrataan energialaitosten investointivaihtoehtojen keskinäistä edullisuutta liiketaloudellisten laskelmien avulla. Vertailulla selvitetään laskenta-perusteet kilpailukykyisen polttopuun hinnan arvioimiseksi, kun kaikki muut relevantit tekijät paitsi polttopuun hinta tunnetaan. Arvointi tehdään seuraavasti:

1. Määritetään lämpölaitoksen eri investointivaihtoehtojen lämmöntuotannon yksikkökustannukset.
2. Valitaan lämmöntuotannon yksikkökustannuksiltaan edullisin laitosvaihtoehto/raskaspolttoöljyvaihtoehto liiketaloudellisten kannattavuuslaskelmien vertailuvaihtoehtoksi.
3. Arvioidaan polttopuuta käyttävän vaihtoehdon yksikkökustannukset ilman polttoainekustannuksia.

4. Verrataan liiketaloudellisin kannattavuuslaskelmin polttopuuvaihtoehdosta aiheutuvia maksuvirtoja lämmöntuotannon yksikkökustannuksiltaan edullisimman ja/tai raskaspolttoöljyvaihtoehdon aiheuttamiin maksuvirtoihin. Vertailun avulla päästään arvioimaan korkeimmat liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaiset lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannukset polttopuulaitokselle. Yksikkökäyttökustannusten perusteella arvioidaan polttopuulle ns. enimmäishinta.

Laskentamallin toisen vaiheen avulla tarkastellaan korjuuteknisten, lämpölaitosten tarvitsemien puumäärien sekä muiden tekijöiden vaikutusta markkinahintaisilla panoksilla korjattavan polttopuun hankintakustannuksiin. Leimikoit- taisten hankintakustannusten ja leimikoista talteen saatavien puumäärien perusteella arvioidaan polttopuun keskimää- räiset hankintakustannukset.

Mallin kolmannessa vaiheessa verrataan polttopuun enimmäis- hintaa polttopuun keskimääräisiin hankintakustannuksiin. Vertailun avulla tarkastellaan mahdollisia polttopuuleimi- koita ja niistä talteen saatavia puumääriä, jotka ovat kor- jattavissa käyttöpaikalle samoin tai alhaisemmin keskimää- räisin kustannuksin kuin polttopuun enimmäishinta. Lasken- tamallin vaiheet ja niiden väliset suhteet on esitetty ku- vassa 1.



Kuva 1. Laskentamallin osa-alueet

Vertailulla voidaan määrittää leimikkotyypit, leimikoista korjattavissa olevat puumäärät ja korjuukustannukset sekä lämpölaitokselle taloudellisesti saavutettavan polttopuun keskimääräinen hankintakustannus.

Malli rajattiin niin, että sen avulla voidaan selvittää polttopuun käytön mahdollinen yläraja lämpölaitoksessa, mutta ei polttopuun käytön optimimäärää.

Hankintakustannusten laskenta rajattiin koskemaan välivarastohaketusta ja polttopuun korjuu tehtäväksi markkinahintaisiin panoksiin.

1.3. Keskeiset käsitteet

Polttopuulla tarkoitetaan energian lähteeksi käytettävää puuraaka-ainetta. Tässä tutkimuksessa ensisijaisen kiinnostuksen kohteena on nykymetsien puureservi, jolle ei ole näköpiirissä kysyntää teollisuuden raaka-aineeksi.

Polttopuun enimmäishinnalla tarkoitetaan polttopuun korkeinta käyttöpaikkahintaa, jolla vielä päästään energian tuotantolaitokselle etukäteen asetetun liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaisiin hyväksyttäviin lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannuksiin. Yksikkökäyttökustannuksilla ymmärretään yksikkökustannuksia, joista on vähennetty pääomakustannusten osuus.

Polttopuun hankintakustannuksilla tarkoitetaan polttopuun hankinnasta aiheutuneita kustannuksia käyttöpaikalle tuotuna, mukaan lukien polttopuusta maksettava kantohinta.

Taloudellisesti saavutettavalla polttopuumäärällä tarkoitetaan tarkastelujakson aikana korjattaviksi suunnitelluista leimikoista saatavaa puumäärää, jonka arvioitu keskimääräinen hankintakustannus energiayksikköä kohti on korkeintaan sama kuin laskenta-alueen lämpölaitosten arvioitu käyttömäärillä painotettu keskimääräinen polttopuun enimmäishinta.

2. MENETELMÄT JA AINEISTO

2.1. Investointilaskelmat

Investointilaskelmat ovat pitkän aikavälin laskelmia, joiden avulla voidaan tutkia investointien edullisuutta. Päätöksenteon tukena käytettävät investointilaskelmat sisältävät suunniteltavien vaihtoehtojen aiheuttamat maksuvirrat markkinahintoihin arvostettuina. Investointilaskelmia voidaan soveltaa sekä investointien kannattavuutta etukäteen arvioitaessa että investointien toteutunutta kannattavuutta tutkittaessa. Tässä työssä on kyseessä investointien suunnittelutilanteessa tehtävä etukäteisarviointi.

Investointien liiketaloudellista kannattavuutta voidaan selvittää eri menetelmin, kuten esimerkiksi absoluuttista kannattavuutta mittaavin nykyarvo- ja annuiteettimenetelmin tai suhteellisen kannattavuuden osoittavan sisäisen korkokannan menetelmän avulla. Näistä perusmenetelmistä johdettuja liiketaloudellisen kannattavuuden osoittavia menetelmiä ovat investoinnin tuottoprosentin menetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä.

Käytetyn menetelmän soveltamisedellytykset muuttuvat asetetun laskentatehtävän mukaan. Laskentatehtävä voi olla esimerkiksi suunnitteilla olevan hankkeen toteuttamiskelpoisuuden selvittäminen tai se voi olla eri vaihtoehtojen välinen valintatilanne, jossa pyritään selvittämään toisensa poissulkevista vaihtoehdoista edullisin.

Tämän laskentamallin ensimmäisessä vaiheessa on kyseessä vaihtoehtojen valintatilanteeseen perustuvan vertailulaskelman osatekijän (polttopuun hinnan) ratkaiseminen, jolla päätösvaihtoehto (polttopuuta pääpolttoaineenaan käyttävä lämpölaite) saavuttaa sille etukäteen asetetun edullisuuden raja-arvon.

Tässä työssä päädyttiin polttopuulaitoksen edullisuuden raja-arvon määrittämiseksi käyttämään korollisen takaisinmaksuajan menetelmää. Menetelmän etuna on se, että se korostaa eri vaihtoehtojen rahoitus- ja maksuvalmiusvaikutuksia, lisäksi menetelmä on havainnollinen. Menetelmä on myös yksinkertaistetussa muodossaan energiainvestoijien yleisesti käyttämä (ks. esim. Toropainen 1982). Menetelmän haittana on se, että se ei ota huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä suorituksia ja kannattavuusrajat ovat sopimuksenvaraisia.

Takaisinmaksuaika osoittaa ajan, jonka kuluessa hankkeesta saatavat nettotulot tai -säästöt (+jäännösarvo) yhdessä kattavat investointikustannusten ja laskentakoron mukaisen tuottovaatimuksen eli ajan, jossa investointi maksaa itsensä.

Kun oletetaan, että perusinvestointia myöhäisempiä investointeja ei tapahdu ja vuotuinen nettotuotto tai -säästö pysyy vakiona ja jäännösarvoa ei oteta huomioon tai se on nolla, korollisen takaisinmaksuajan ratkaisuyhtälö on seuraava (Edullisuusvertailun menetelmäopas 1980):

$$(1) \quad a_{n/i} \cdot S - I_0 = 0, \text{ minkä ratkaisu on}$$

$$(2) \quad n = \frac{\log S - \log (S - i \cdot I_0)}{\log (1 + i)}$$

jossa $a_{n/i}$ = jaksollisten maksujen diskonttaus-
tekijä takaisinmaksuajalla n ,
$$= \left[(1 + i)^n - 1 \right] / i(1 + i)^n$$

S = vuosittain toistuva nettotuotto
tai kustannussäästö, mk

I_0 = investointi, mk

i = laskentakorko

n = takaisinmaksuaika, vuotta

Vaihtoehtojen valintatehtävässä tämän investointikriteerin mukaan edullisin vaihtoehto on lyhyimmän takaisinmaksuajan vaihtoehto. Edullisuuden selvittämistehtävässä hanke katsotaan kannattavaksi, jos sen takaisinmaksuaika on korkeintaan yhtä pitkä tai lyhyempi kuin ennalta tuottovaatimuksen mukaan valittu takaisinmaksuaika.

Laskentakauden pituus samoin kuin sovellettu laskentakorko ovat laskentatilanteesta riippuvaisia. Korko edustaa laskelmissa pääoman vaihtoehtoista käyttöä (oma pääoma) tai rahoituksen kustannuksia (vieras pääoma). Laskelmissa käytettävä korko riippuu siten investoinnin rahoitusrakenteesta. Laskentakauden pituus riippuu siitä, miten eri aikoina ilmenviä vaikutuksia kulloinkin halutaan painottaa. Se riippuu mm. laskennan kohteen arvioidusta eliniästä tai vaikutusajasta sekä kussakin laskentatilanteessa luotettavaksi arvioidusta ennustehorisontista.

2.2. Suoritekohtaisten kustannusten laskeminen

Lämpölaitosten liiketaloudellisen kannattavuuden selvittämistehtävässä ja polttoaineen ja sen vaatiman teknologian valinnassa ovat keskeisessä asemassa tuotetun lämmön yksikkökustannukset.

Lämmöntuotannon yksikkökustannusten selvittämisessä kuten myös polttopuun korjuun työvaiheiden hinnoittelussa on ratkaistava, mitä kustannuksia kullekin suoritteelle kohdistetaan. Tuotantotyyppin ja laskentatilanteen mukaan selvittämistehtävässä voidaan käyttää eri menetelmiä. Käytettävissä on kolme toisistaan poikkeavaa ratkaisutapaa (ks. esim. Riistama & Jyrkkiö 1978).

Minimikalkyyllissä suoritteelle kohdistetaan ainoastaan sen aiheuttamat muuttuvat kustannukset. Kalkyyllitapa soveltuu käytettäväksi silloin, kun potentiaaalitekijöistä aiheutuvien kustannusten katsotaan olevan toimintasuhteesta riippumat-

tomia. Esimerkiksi metsänomistaja voi kiinteiden kustannusten ollessa jo uponneita soveltaa sitä polttopuuta hankintakaupoin lämpölaitokselle toimittaessaan.

Normaalikalkyyllitapaa käytettäessä määritetään tuotannolle normaalitoiminta-aste. Suoritteille kohdistetaan niistä aiheutuvien kustannusten lisäksi kiinteitä kustannuksia se määrä, joka tällä toiminta-asteella tulisi suoritteiden kannettavaksi.

Keskimääräiskalkyyllitapaa käytettäessä suoritteille kohdistetaan niistä aiheutuneiden muuttuvien kustannusten lisäksi kaikki ne kiinteät kustannukset, jotka ovat tarpeen suoritteiden aikaansaamiseksi. Keskimääräiskalkyyllitapaa käytettäessä saadaan erilaisia tuloksia, vaikka kapasiteetin käyttöasteen muutosten ei oletetakaan vaikuttavan muuttuviin kustannuksiin. Alhaisilla toiminta-asteilla suoritteiden kannettaviksi jäävät myös tuottamatta jääneiden suoritteiden osuus kiinteistä kustannuksista. Keskimääräiskalkyyllitapa on lämmöntuotannon yksikkökustannuksia selvitetessä ainoa perusteltu menetelmä, jonka avulla voidaan tarkastella kapasiteetin käyttöasteen ja pääomakustannusten vaikutusta yksikkökustannuksiin.

Myös polttopuun korjuun eri työvaiheille laaditut yksikkömaksut ja taksat perustuvat yleensä keskimääräiskalkyyllitavan soveltamiseen. Ne määräytyvät vuotuisen suoritettavan työmäärän mukaan. Työmäärän kasvaessa esimerkiksi haketuksen ja kaukokuljetuksen yksikköpääomakustannukset pienevät.

2.3. Aineisto ja kustannustiedot

Laskentamallia havainnollistettiin ja testattiin sovellutus-esimerkkilaskelmin. Esimerkkilaskelmia täydennettiin muutamia eri muuttujia koettelevin herkkyyksianalyysien. Näin saatiin ennakkokäsitys polttopuun enimmäishintaan, polttopuun hankintakustannuksiin ja taloudellisesti saavutettavaan polttopuumääriin oleellisesti vaikuttavista tekijöistä.

Polttopuun enimmäishinnan määrittämistä havainnollistettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomian tutkimusosastolla (Toropainen 1984a ja 1984b) tehdystä tutkimuksesta saadun aineiston avulla. Aineistoon kuuluivat kauppa- ja teollisuusministeriön investointiavustusta saaneet, kotimaista polttoainetta käyttävät, nimellisteholtaan vähintään 0,5 MW:n, viimeistään vuodenvaihteessa 1981/1982 käyttöön otetut aluelämpökeskukset. Aineistosta valittiin muutamia tyyppillisiin kokoluokkiin kuuluvia polttopuuta pääpolttoaineenaan käyttäviä aluelämpökeskuksia. Lämpölaitosten kustannustiedot ovat vuoden 1982 toteutuneita kustannuksia.

Investointilaskelmien vertailulaitoksina käytettiin kauppa- ja teollisuusministeriön Ekono Oy:llä teettämistä kotimaisten polttoaineiden kilpailukyylaskelmista (1983) saatavia eri polttoaineita käyttäviä laitoksia. Kilpailukyylaskelmat edustavat vuoden 1982 loppuvuoden hintatasossa tyyppillisiä suunnitteilla ja markkinoilla olleita laitoksia. Vertailulaitoksiksi valittiin sekä kotimaisia että tuonti-polttoaineita käyttäviä laitosratkaisuja.

Polttopuun hankintakustannuksiin vaikuttavien tekijöiden vaikutusta selvitettiin muutamien eri leimikkotyyppejä koskevin ennakkolaskelmin. Aineistona esimerkeissä käytettiin metsä- ja uittoalan työehtosopijapuolten tekemien pieniläpimittaisen puun taksaehdotusten seuranta varten kerättyjä leimikkokohtaisia tilastoja. Esimerkkilaskelmissa sovelletut leimikot on korjattu vuonna 1979.

Hakkuun kustannukset saatiin metsä- ja uittoalan työehtosopijapuolten hyväksymästä kokopuun ja pienpuurangan hakkuun yksikköpalkkojen kokeilusopimuksesta (Pieniläpimittaisen kokopuun...1.10.1982-28.2.1983). Metsäkuljetuksen kustannukset saatiin käyttämällä Metsäalan Kuljetuksenantajien ja Koneurakoitsijain sopimia kokopuun metsäkuljetusmaksuja (Kokopuiden lähikuljetusmaksut 1.9.1982 alkaen). Haketuksen kustannukset saatiin esimerkeissä käyttämällä Metsäalan Kuljetuksenantajien antamaa varastohaketuksen suositusta (Ehdotus yksipuoliseksi ...1982) ja kaukokuljetuksen osalta kustannukset saatiin soveltamalla Metsäalan Kuljetuksenantajien ja Suomen Kuorma-Autoliitto ry:n sopimia maksuja (Puu-tavaran autokuljetuksen ...1.1.1983-31.12.1983).

Polttopuun kantohinta ei kuulu hintasuositussopimusten piiriin. Polttopuun kantohintaa määritettäessä esimerkeissä laskettiin polttopuun ainespuosuudelle puun hintasuositussopimusten (1.7.1982-30.6.1983) mukainen kuitupuun kantohinta ja lisäraaka-aineosuudelle erillinen, kuitupuun kantohintaa alempi kantohinta.

Laskelmissa käytettiin Etelä-Suomen palkkausaluetta koskevia maksuja niiltä osin, joissa maksut määräytyivät palkkausalueittain. Laskelmat laadittiin vuodenvaihteen 1982/83 hintatasossa ja ovat kustannus- ja leimikkotietoja lukuunottamatta kuvitteellisia.

3. KEHITETTY LASKENTAMALLI

3.1. Laskentatilanteen rajaus

3.1.1. Lämpölaitoksen suunnittelutilanne

Laskentamallin ensimmäisessä vaiheessa on kyseessä liiketaloudellisiin laskelmiin perustuvan polttopuun kilpailukyisen hinnan määrittäminen. Lähtökohtana polttopuun enimmäishinnan määrittämisessä on se, että alue- tai kaukolämmön tuottamisesta on tehty periaatepäätös. (Aluelämmön hyödyistä ja haitoista ks. esim. Kaukolämpötietoa päättäjille 1983). Laskenta-alueen energiantarve ja liittymishalukkuus tunnetaan ja alue- tai kaukolämmitys tarjoaa yksittäiselle kuluttajalle kilpailukykyisen ratkaisun. Lämpölaitoshankkeen kannattavuutta tarkastellaan lämmön tuottajan kannalta.

Lämmönmyynnistä ja liittymismaksuista saatavien tulojen avulla kyetään kattamaan lämpölaitoksen investoinneista ja lämmöntuotannosta aiheutuvat menot. (Liittymis- ja lämmönmyyntimaksujen muodostumisesta ks. esim. Kinnunen & Kiu-kaanniemi 1981). Tulojen oletetaan olevan eri polttoaineita käyttävissä vaihtoehdoissa samat. Niihin sisältyy kuitenkin tariffien mukainen muutosmahdollisuus kustannustason muuttuessa.

Yleistäen voisi sanoa, että mitä tasalaatuisempi ja energiasisällöltään korkeampi polttoaine sitä alhaisemmat investointikustannukset. Kiinteitä polttoaineita käyttävien lämpölaitosten investointikustannukset ovat noin 2-4 kertaiset verrattuna öljyä polttavaan vaihtoehtoon. Lisäksi kiinteitä polttoaineita käyttävien laitosten kiinteät käyttö- ja hoitokustannukset ovat suuremmat.

Lämpölaitoshankkeista suuri osa on kunnallisia. Kunnallisen suunnittelun yleisinä tavoitteina voidaan pitää sen asukkaiden yleisen hyvinvoinnin kehittämistä, työllisyyden turvaamista ja kunnanolojen kaikenpuolista kehittämistä. Näitä

tavoitteitaan kunnan tulee toteuttaa myös energiahuollossaan.

Lämpölaitoksen suunnittelutilanteessa pyritään liiketaloudellisesti kannattavaan vaihtoehtoon. Lämpölaitoksen investointivaihtoehdon ei kuitenkaan tarvitse olla liiketaloudellisesti kannattavin vaihtoehto, jos muiden investointivaihtoehdosta odotettavissa olevien hyötyjen (esimerkiksi ympäristövaikutukset, työllisyysvaikutukset jne.) koetaan korvaavan se.

Lämpölaitoksen suunnittelutilanne rajattiin työssä niin, että eri polttoaineita käyttävien investointivaihtoehtojen valintatilanteessa koetaan polttopuuta käyttävä laitosvaihtoehto liiketaloudellisesti kannattavaksi ja toteuttamiskelpoiseksi vaihtoehdoksi, jos hankkeeseen sijoitettu erotusinvestointi (polttopuulaitoksen investointikustannukset miinus vertailulaitoksen investointikustannukset) palautuu ennalta määrättyssä ajassa korkoineen takaisin investoijalle.

Polttopuuta käyttävän laitoksen täytyy saavuttaa kustannussäästöjä verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Jos oletetaan, että muut vaihtoehdosta aiheutuvat kustannukset paitsi polttopuun hinta ovat joustamattomia, on kustannussäästöt kyettävä saavuttamaan polttoainekustannuksissa.

Polttopuuta käyttävää laitosvaihtoehtoa verrataan samankokoiseen, yhtä paljon lämpöä tuottavaan, lämmöntuotannon yksikkökustannuksiltaan edullisimpaan vaihtoehtoon/ raskaspolttoöljylaitokseen. Raskaspolttoöljylaitos valittiin vertailulaitokseksi, sillä se on yleinen energiainvestoijien laskelmissaan käyttämä vertailulaitos (ks. esim. Toropainen 1984a). Verkostokustannusten oletetaan yksinkertaistaen olevan samat eri vaihtoehdoissa.

3.1.2. Hankintakustannusten laskentatilanne

Potentiaaliset polttopuuvarat jaotellaan korjuutekniikan kannalta karsittuna rankana tai karsimattomanakokopuuna korjattavaan pienpuuhun ja päätehakkuualojen metsätähteeseen, kuten hakkuutähde (hukkarunkopuu, oksat) sekä kanto- ja juuripuu.

Toimiakseen häiriöttömästi osa polttopuuta pääpolttoaineenaan käyttävistä laitoksista vaatii karsitusta rangasta tehtyä haketta. Kokopuuhakkeen käyttöön varautuminen lisää laitoksen investointikustannuksia. Investointikustannusten erotus polttopuulaitoksen ja vertailulaitoksen välillä kasvaa. Liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaiset tarvittavat kustannussäästöt polttoainekustannuksissa vastaavasti kasvavat. Kokopuun käytön mahdollisuus alentaa kuitenkin toisaalta polttopuun hankintakustannuksia.

Hakkuutähdettä ei tähän mennessä ole juuri käytetty lämpölaitosten polttoaineena. Hakkuutähteen haketukseen soveltuvien hakkureiden kehittymisen myötä on hakkuutähteen korjuu polttoaineeksi mahdollistunut. Hakkuutähteen korjuu rajattiin kuitenkin koskemaan ainoastaan monitoimikonetyömaita. Hakkuutähde eroaa polttoaineominaisuuksiltaan pienpuusta tehdystä hakkeesta, eikä sen käyttö metsäteollisuuden suurilla laitoksilla lukuunottamatta ole yleensä mahdollista nykyisissä polttopuuta käyttävissä laitosratkaisuissa. Kanto- ja juuripuun korjuu sekä käyttö polttihakkeena on vielä kokeiluasteella ja se rajattiin laskentamallin ulkopuolelle.

Polttopuun korjuuketju muodostuu työvaiheista, joiden sijoittuminen korjuuketjussa riippuu käytetystä menetelmästä. Jotta korjuuteknisten olosuhteiden vaikutusta polttopuun hankintakustannuksiin voitaisiin tarkastella, on korjuu hahmoteltava eri vaiheissa tehtäväksi, selvästi rajattavissa oleviksi toimenpiteiksi.

Polttopuun haketusketjut jaotellaan haketuspaikan mukaan palstahakemukseen, välivarastohakemukseen ja hakemukseen käyttöpaikalla tai terminaalissa. Maasto-olosuhteiden vaikeutessa tai talvella, jolloin polttohakkeen tarve on lämpölaitoksissa suurimmillaan, on välivarastohaketus toimivampi vaihtoehto kuin palstahaketus. Välivarastohaketus onkin tällä hetkellä yleisin käytössä oleva menetelmä (Hakkila 1984). Käyttöpaikalla tai terminaalissa haketuksen esteinä erityisesti karsimattoman kokopuun ja hakkuutähteen osalta on ollut ratkaisematon kaukokuljetuksen järjestäminen. Näistä syistä laskentamallin korjuuketjut rajattiin koskemaan välivarastohaketusketjuja.

Polttopuun kauppatapoina ovat mahdollisia hankintakaupat, puolihankintakaupat ja pystykaupat. Hankintakaupoissa hakkuu, kasaus ja metsäkuljetus tehdään puun myyjän toimesta. Puolihankintakaupoissa sen sijaan puun myyjä suorittaa hakkuun ja kasauksen ja pystykaupoissa polttopuun hankintaorganisaatio huolehtii kaikista korjuun osavaiheista. Pystykauppojen samoin kuin hankintakauppojenkin osuus oli vuonna 1982 noin 50 % lämpölaitoksille toimitetusta polttopuusta (Hakkila 1984).

Polttopuun korjuun toimenpiteet rajattiin tehtäviksi markkinahintaisella, palkatulla työvoimalla ja koneilla. Pystykaupoissa katsotaan polttopuun hankinta organisaation päätoiminnaksi ja sille kohdistetaan erilliskustannusten lisäksi myös hankinnasta aiheutuneet yleis- ja korkokustannukset. Hankintakaupoissa malli rajoittuu koskemaan korkeimman mahdollisen keskimääräisen tienvarsikustannuksen (hakkuu + metsäkuljetus + kantohinta) määrittämistä.

3.2. Lämmöntuotannon yksikkökustannukset

Lämmöntuotannon yksikkökustannukset muodostuvat kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista. Yksikkökustannusten rakenne eroaa eri polttoaineita käyttävissä vaihtoehdoissa. Tuotetun lämmön yksikkökustannukset saadaan kussakin vaihtoehdossa vuotuisten kokonaismenojen perusteella seuraavasti:

$$(3) \quad c_e = \left[K_i + (K_f + K_p + K_v) \cdot (1 + i \cdot t/12) \right] / E, \text{ jossa}$$

c_e = lämmöntuotannon yksikkökustannus,
mk/MWh tai mk/GJ

K_i = vuotuiset pääomakustannukset, mk

K_f = vuotuiset kiinteät käyttö- ja
hoitokustannukset, mk

K_p = vuotuiset polttoainekustannukset, mk

K_v = vuotuiset muut muuttuvat kustannukset, mk

i = laskentakorko

t = aika, jolta maksetaan korkoa käyttö-
pääomalle, kk

E = tuotettu hyötyenergia, MWh/a tai GJ/a

($=\eta E_{pr}$, jossa η = vuosihyötysuhde

E_{pr} = käytetyn polttoaineen
energiasisältö, MWh
tai GJ)

Kiinteät kustannukset muodostuvat lämpölaitoksilla pääomakustannuksista ja kiinteistä käyttö- ja hoitokustannuksista. Työvoimakustannukset muodostavat huomattavan osan kiinteistä käyttö- ja hoitokustannuksista. Lämpölaitoksen muuttuvia kustannuksia ovat polttoainekustannukset, omakäyttösähkö-, käyttöaine-, tuhkan käsittely- ym. kustannukset.

Pääomakustannukset koostuvat lämpölaitoksilla koneista ja laitteista, rakennusteknisistä töistä, suunnittelusta ja valvonnasta sekä rakennusaikaisista koroista.

Vuotuiset pääomakustannukset lasketaan pääomantarpeesta annuiteettimenetelmällä. Valittu korkokanta ja kuoletusaika vaikuttavat oleellisesti vuotuisten pääomakustannusten suuruuteen. Pääomakustannukset ovat laitoksen kannalta tarkasteltaessa kiinteitä kustannuksia, joiden osuus yksikkökustannuksista pienenee laitoksen käytön tehostuessa.

Laitoksen käytön tehokkuus ilmaistaan huipun käyttöajalla. Huipun käyttöaika on vuosittain tuotetun energian ja laitoksen nimellistehon suhde. Suunnittelussa tyypillisiä huipun käyttöaikoja ovat 2500 h/a pienemmillä ja 3000 h/a suuremmilla lämpölaitoksilla asuntojen lämmityksessä ja 4500 - 5500 h/a peruskuormakäytössä (jolloin osa lämmöstä tuotetaan ns. peruskuormakattiloilla ja on likimain vakio).

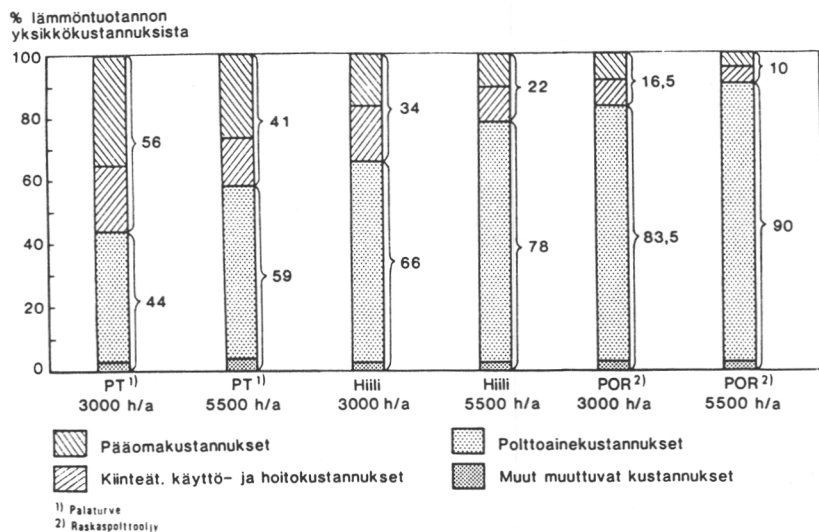
Kiinteät käyttö- ja hoitokustannukset muodostuvat palkka- ja sosiaalikustannuksista sekä huolto- korjaus- ja vakuutuskustannuksista. Kiinteät yksikkökustannukset riippuvat tuotetun hyötyenergian määrästä.

Muuttuvista kustannuksista huomattavan osan muodostavat polttoainekustannukset. Polttoaineen hyötyenergiakustannus saadaan jakamalla polttoaineen energiahinta yksikköä kohden laitoksen vuosihyötysuhteella.

Vuosihyötysuhde on kotimaisia polttoaineita käytävillä laitoilla yleensä pienempi kuin tuontipolttoainelaitoksilla. Vuosihyötysuhteeseen ja polttoaineen hyötyenergiakustannukseen vaikuttavat polttoaineen laatu, lämpölaitoksen teho ja käyttöaste sekä säätöjen tehokkuus. Kiinteitä polttoaineita käyttäville laitoille luetaan polttoainekustannuksiin öljypolttoaineen osuus. Öljyn polttoa tarvitaan lähinnä käynnistysten yhteydessä ja tukipoltossa. Sähkön käyttökustannukset, kuten myös käyttöaine ym. kustannukset ovat vähäiset verrattuna polttoainekustannuksiin.

Kiinteiden ja muuttuvien kustannusten osuutta lämmöntuotannon yksikkökustannuksista 3 MW:n nimellisteholuokassa

eräillä polttoainevaihtoehdoilla on esitetty vuoden 1982 hinnoin 3000 h/a ja 5500 h/a huipun käyttöajoilla kuvassa 2.



Kuva 2. Tuotetun lämmön kustannusrakenne eräissä vaihtoehtoissa

Lähde: Kotimaisten polttoaineiden ...1983.

Lämmöntuotannon yksikkökustannukset saadaan jakamalla vuotuiset kokonaiskustannukset tuotetulla energiamäärällä. Polttopuun enimmäishinnan määrittystä varten lämmöntuotannon yksikkökustannukset lasketaan kaikille vertailuun valituille laitosratkaisuille.

3.3. Laitosten liiketaloudellinen kannattavuus

Lämmöntuotannon yksikkökustannusten tarkastelu on polttoainesten valinnan kannalta keskeisessä asemassa, mutta laitoksen liiketaloudellista kannattavuutta ei ole mahdollista tarkastella pelkästään niiden valossa. Laskentamallissa liiketaloudellisen kannattavuuden selvittämiseksi valittiin luvussa 2.1. selostettu korollisen takaisinmaksuajan menetelmä.

Liiketaloudellisen kannattavuuden kriteeriksi muodostui takaisinmaksuaika, jonka kuluessa lämpölaitoksen on saavutettava kustannussäästöjä. Kustannussäästöillä katetaan polttopuulaitoksen ja vertailulaitoksen välinen erotusinvestointi korkoineen. Polttopuulaitoksen on saavutettava kustannussäästöt yksikkökäyttökustannuksissa, sillä poistokustannukset tulevat otetuiksi huomioon investointikustannusten muodossa. Kun yksikkökäyttökustannusten osatekijät lukuunottamatta polttopuun hintaa tunnetaan, on säästöt kyettävä saavuttamaan polttoainekustannuksissa.

Polttopuulaitoksen tarvitsemat kustannussäästöt, jotta laitos täyttäisi sille asetetun liiketaloudellisen kannattavuuden kriteerin, ratkaistaan korollisen takaisinmaksuajan yhtälöstä (kaava 1, luku 2.1.). Kun oletetaan, että jäännösarvoa ei oteta huomioon tai että se on nolla, saadaan vuosittain tarvittavat kustannussäästöt seuraavasti:

$$(4) \quad S_e = \frac{I_0}{a_{n/i}},$$

jossa S_e = vuosittain vakiona toistuva kustannussäästö, mk

$a_{n/i}$ = jaksollisten maksujen diskonttaustekijä, takaisinmaksuajalla n

I_0 = erotusinvestointi, mk

Tuotettua hyötyenergiayksikköä kohti tarvittavat kustannussäästöt saadaan jakamalla vuotuiset kustannussäästöt laitoksen suunnitellulla huipun käyttöajalla tuotettavalla energiamäärällä:

$$(5) \quad s_e = \frac{S_e}{E}$$

jossa s_e = kustannussäästö
tuotettavaa energiyksikköä kohti,
mk/MWh tai mk/GJ
 S_e = vuosittain vakiona toistuva kustannussäästö, mk
 E = tuotettava hyötyenergia, MWh/a
tai GJ/a

Liiketaloudellisen kriteerin mukaiset lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannukset polttopuulaitokselle saadaan seuraavasti:

$$(6) \quad c_{eh}' = c_{ev}' - s_e ,$$

jossa c_{eh}' = polttopuulaitoksen lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannus, mk/MWh tai mk/GJ
 c_{ev}' = vertailulaitoksen lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannus, mk/MWh tai mk/GJ
 s_e = kustannussäästö tuotettavaa energiyksikköä kohti, mk/MWh tai mk/GJ

Jos vaihtoehdoksi valitun vertailulaitoksen investointikustannukset ovat suuremmat kuin polttopuuvaihtoehdon, kustannussäästöjä ei polttopuuvaihtoehdossa ole tarpeen saavuttaa, vaan polttopuuvaihtoehtoa voidaan päinvastoin kuormittaa lisäkustannuksilla.

Jos polttopuulaitoksen ja vertailulaitoksen investointikustannukset ja muut lämmöntuotannon yksikkökustannuksiin vaikuttavat osatekijät ovat molemmissa vaihtoehdoissa samat, supistuu polttopuun enimmäishinnan laskenta tarkasteluksi, onko polttopuuta korjattavissa käyttöpaikalle samaan hintaan kuin vertailupolttoainetta.

3.4. Polttopuun enimmäishinta

Polttopuun enimmäishinta määriteltiin polttopuun hinnaksi käyttöpaikalla, jolla päästään energiantuotantolaitokselle etukäteen asetetun liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaiseen lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannukseen C_{eh} .

Polttopuun enimmäishinta käyttöpaikalla saadaan lämmöntuotannon yksikkökustannusten laskentakaavasta asettamalla polttopuuvaihtoehdolle lasketut liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen täyttävät yksikkökäyttökustannukset yhtälön toiselle puolelle seuraavasti:

$$(7) \quad k_{ph} = \frac{c_{eh}' - (k_{fh} + k_{vh} + k_{pt}) \cdot (1 + i \cdot t/12)}{\left(\frac{1}{\eta_h} + \eta_h \cdot i \cdot t/12\right) (1 - p_t)}, \text{ jossa}$$

jossa k_{ph} = polttopuun enimmäishinta, mk/MWh
tai mk/GJ

c_{eh}' = polttopuulaitoksen lämmöntuotannon
yksikkökäyttökustannus, mk/MWh
tai mk/GJ

k_{fh} = polttopuulaitoksen kiinteä
yksikkökäyttö- ja hoitokustannus,
mk/MWh tai mk/GJ

k_{vh} = polttopuulaitoksen muu muuttuva
yksikkökustannus, mk/MWh tai
mk/GJ

k_{pt} = polttopuulaitoksen yksikkötukipolt-
toainekustannus, mk/MWh tai mk/GJ

i = laskentakorko

t = aika, jolta korko lasketaan, kk

η_h = polttopuulaitoksen vuosihyötysuhde

p_t = tukipolttoaineen %-osuus poltto-
puulaitoksessa

Investoijan suunnitellessa useampia lämpölaitoksia tai polttopuukattiloita voidaan laskea keskimääräinen polttopuun enimmäishinta painottamalla kunkin suunnitteilla olevan lämpölaitoksen polttopuun enimmäishinta laitoksen tai kattilan energiantuotantoon tarvitsemilla polttopuumäärillä energia-yksikköinä.

3.5. Polttopuun hankintakustannusten muodostuminen

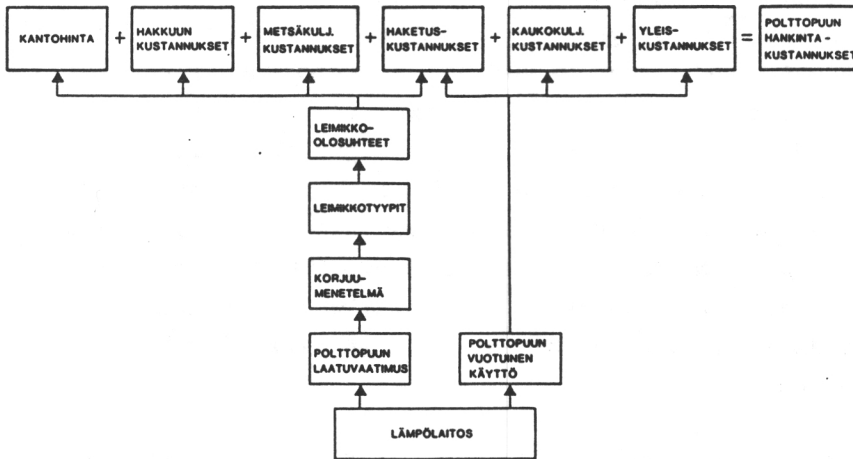
Polttopuun hankintakustannus laskentamallissa rajatussa korjuuketjussa muodostuu polttopuun hakkuun (hakkuutähteen korjuussa keräily), metsäkuljetuksen, haketuksen, kaukokuljetuksen ja hankintaorganisaation yleis- ja korkokustannuksista sekä polttopuusta maksettavasta kantohinnasta.

Laskentamallissa polttopuun korjuuketjut rajattiin koskemaan välivarastohaketusketjuja. Kokopuuna korjattaessa puut kaadetaan siirtelykaatotekniikkaa hyväksikäyttäen, jolloin moottorisaha on varustettava kaatokahvoilla. Korjattaessa polttopuu karsittuna rankana ei siirtelykaatotekniikkaa voida käyttää. Välivarastoketjussa karsitut tai karsimattomat puut kuljetetaan välivarastolle metsätraktorilla. Välivarastolla puut jätetään varastopinoihin, joista ne hakeetaan joko suoraan kaukokuljetusajoneuvoon tai vaihtolavalle. Kaukokuljetus käyttöpaikalle tapahtuu yleensä kiinteällä kuormatilalla varustetulla perävaunuyhdistelmällä tai traktorilla.

Polttopuun korjuun eri työvaiheet ovat toisistaan riippuvaisia. Hakkuu ja erityisesti polttopuun kasaaminen riippuu metsäkuljetusmenetelmästä, metsäkuljetus haketuksesta ja kaukokuljetus on suuresti riippuvainen haketuksesta ja -paikasta.

Käytetyt menetelmät vastaavasti ovat riippuvaisia polttopuulle asetetuista laatuvaatimuksista (ranka, kokopuu, hakkuutähde), korjuukohteenä olevasta leimikkotyypistä (esim. taimiston perkaus, verhopuuston poisto, korjuualojen hakkuutähteen keruu) tai hakkuutavasta (avohakkuu, harvennahakkuu) sekä leimikkokohtaisista olosuhdetekijöistä (maasto, tiheys, puulaji jne.).

Polttopuun hankintakustannuksiin vaikuttavat tekijät on otettu huomioon polttopuun korjuun eri työvaiheille sovit-
tuja maksuja ja maksuehdotuksia laadittaessa. Eri työvai-
heiden yksikkökustannuksiin vaikuttavia keskeisiä tekijöitä
on hahmoteltu kuvassa 3.



Kuva 3. Polttopuun hankintakustannusten muodostuminen

Polttopuulle asetettu laatuvaatimus vaikuttaa erityisesti polttopuun hakkuun kustannuksiin. Hakkuutähdettä korjattaessa hakkuun kustannukset ovat uponneita kustannuksia, joita ei oteta huomioon ja kokopuuta korjattaessa työ helpottuu karsinnan jäädessä pois ja hakkuun kustannukset ovat alhaisemmat kuin karsitun rangan. Haketuksen kustannuksiin laatuvaatimus sen sijaan vaikuttaa päinvastaisesti; rangan haketus on joutuisampaa ja kustannukset ovat alhaisemmat kuin kokopuuta tai hakkuutähdettä hakettaessa.

Lämpölaitoksen polttopuun hankintaorganisaatiolla vuosittain teettämä työmäärä noustessaan alentaa hakkurin ja kaukokuljetusajoneuvon kiinteitä yksikkökustannuksia. Toisaalta työmäärän lisääntyessä joudutaan siirtymään kauempana sijaitseviin tai korjuun kannalta epäedullisempiin leimikko-kohteisiin.

3.6. Leimikoittainen hankintakustannusten arviointi

Polttopuun hankintakustannus leimikoittain pystykaupoissa saadaan laskentamallissa rajatulla korjuuketjulla laskemalla polttopuun hakkuun (keräily), metsäkuljetuksen, haketuksen ja kaukokuljetuksen kustannukset kussakin korjuumenetelmässä sekä arvioitu polttopuusta maksettava kantohinta ja korjuun yleis- ja korkokustannukset yhteen.

Jotta polttopuun leimikoittain laskettua hankintakustannusta voitaisiin verrata lämpölaitoksen arvioituun polttopuun enimmäishintaan, on leimikoittain talteen saatava polttopuumäärä muunnettava energiayksiköiksi. Muuntokertoimina voidaan käyttää esimerkiksi Hakkilan (1978) puutavaralajeittain ja puulajeittain esittämiä polttopuun tehollisia lämpöarvoja. Polttopuun voidaan olettaa saavuttaneen rasissa 40 % kosteus tuorepainosta. Polttopuun hankintakustannukset energiayksikköä kohti lasketaan korjuumenetelmittäin seuraavasti:

$$(8) \quad c_p = (c_h + c_m + p_k) (1 + i \cdot t/12) + c_{ha} + c_a + c_y$$

- , jossa
- c_p = polttopuun hankinnan yksikkökustannus, mk/MWh tai mk/GJ
 - c_h = hakkuun tai keräilyn yksikkökustannus, mk/MWh tai mk/GJ
 - c_m = metsäkuljetuksen yksikkökustannus mk/MWh tai mk/GJ
 - p_k = polttopuun kantohinta, mk/MWh tai mk/GJ
 - i = laskentakorko
 - t = aika, jolle korkoa lasketaan, kk
 - c_{ha} = haketuksen yksikkökustannus, mk/MWh tai mk/GJ
 - c_a = kaukokuljetuksen yksikkökustannus mk/MWh tai mk/GJ
 - c_y = yleiskustannukset, mk/MWh tai mk/GJ

Pienpuuta polttopuuksi korjattaessa hakkuun kustannukset saadaan käyttäen metsä- ja uittoalan työehtosopijapuolten hyväksymää kokopuun ja pienpuurangan hakkuun yksikköpalkkojen ja työmittaushjeiden kokeilusopimusta tai käyttäen laskenta-ajankohtana voimassa olevia maksuja tai maksuehtouksia.

Sopimukseen sisältyvistä maksutaulukoista saadaan hakkuun yksikköpalkka hakkuumenetelmittäin, hakkuutavoittain ja puulajeittain leimikkotietojen perusteella (poistettavien puiden tiheys, rinnankorkeusläpimitta, työvaikeustiedot jne.). Rungon tilavuuden ja puulajeittaisten puun tehollisten lämpöarvojen perusteella arvioidaan hakkuun yksikköpalkka energiayksikköä kohti. Hakkuun yksikköpalkkaan lisätään lakisääteiset ja vapaaehtoiset sosiaalikulannukset.

Kokopuun puumäärä voidaan laskea latvussuhteen osoittamien oksien puumäärien perusteella puulajeittain tai käyttäen esimerkiksi Hakkilan (1984) esittämiä pienpuurungon oksissa olevia lisäbiomassa-arvoja puulajeittain. Talteen saatavan hakkuutähteen määrän arvioinnissa voidaan käyttää esimerkiksi Mäkelän (1977) tai Kuiton (1983) tutkimuksissaan esittämiä keskimääräisiä talteen saatujen hakkuutähteen määrien osuuksia hakatusta kuorellisesta runkopuusta.

Hakkuutähteen keräilystä ei ole käytettävissä yleisiä maksuehdotuksia tai suosituksia. Eräitä yksipuolisia maksuehdotuksia on kuitenkin laadittu aikatutkimusten perusteella (esim. Kuitto 1983). Maksut koskevat ainoastaan avohakkuuolosuhteissa tehtävää hakkuutähteen keräilyä.

Metsäkuljetuksen kustannus leimikoittain saadaan käyttämällä laskenta-aikana voimassa olevia työehtosopimusosapuolten sopimia metsäkuljetusmaksuja. Tällä hetkellä voimassa olevaa kuljetusmaksua voidaan käyttää kokopuiden, osapuiden ja hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannuksia arvioitaessa. Maksut määräytyvät maasto- ja tiheysluokittain sekä puulajeittain eri metsäkuljetusmatkoille.

Laskentamallissa haketuksen kustannusten laskenta perustuu Metsäalan Kuljetuksenantajien antamaan suositukseen varastohaketuksen maksuista. Siinä maksut määräytyvät hakettavan puutavaran järeyden, puutavaralajin ja vuotuisen työmäärän perusteella. Maksuja voidaan soveltaa kokopuiden, osapuiden, hakkuutähteen ja karsitun rangan haketuksen kustannuksia arvioitaessa.

Kaukokuljetuksen kustannukset saadaan voimassa olevien Metsäalan Kuljetuksenantajien ja Suomen Kuorma-autoliitto ry:n sopimien maksujen perusteella.

Metsähakkeen autokuljetusmaksut perustuvat kiinteällä kuor-
matilalla varustetulle täysperävaunuyhdistelmälle laadit-
tuihin kuljetusmaksuperusteisiin.

Maksut määräytyvät kaukokuljetusmatkan, puulajin ja hakkeen
kosteuden mukaan. Kaukokuljetusolosuhteiden poiketessa mak-
suissa määritetyistä perusteista (puutavaran järeys, kuor-
mauspaikkaluokka, vuotuinen kuljetussuorite) maksuja muute-
taan käyttäen kuljetusmaksujen mukaisia lisiä ja/tai vähen-
nyksiä yksikkömaksuihin.

Polttopuun kantohinnan määrittämisessä laskehtamallissa so-
velletaan menettelytapaa, jossa leimikosta korjattavalle ai-
nespuun mitat täyttävälle puulle (jonka osuus on yleensä
pieni) lasketaan tavanomainen kuitupuun kantohinta ja pien-
puulle, hakkuutähteelle ja kokopuun korjuussa talteen saata-
valle lisäraaka-aineosuudelle erikseen arvioitava kuitupuun
kantohintaa alhaisempi kantohinta.

Polttopuun hankintakustannuksiin luetaan lisäksi korjuun or-
ganisoinnista aiheutuvat yleiskustannukset ja korkokustan-
nukset. Yleiskustannusten osuutena voidaan käyttää esimer-
kiksi Hakkilan (1984) esittämää keskimääräistä työnjohdol-
listen kustannusten osuutta kokonaiskustannuksista. Korko-
kustannuksia lasketaan yleensä polttopuun tienvarsikustan-
nuksille (hakkuu, metsäkuljetus ja kantohinta). Laskenta-
mallissa korkokustannusten laskenta on ratkaistu käyttämällä
kerrointa, joka voidaan arvioida kussakin laskentatilan-
teessa erikseen. Polttopuun keskimääräiset hankintakustan-
nukset käyttöpaikalla saadaan painottamalla leimikoittain
laskettu polttopuun hankinnan yksikkökustannus kustakin kor-
jattavaksi suunnitellusta leimikosta arvioidulla polttopuu-
määrällä energiayksikköinä seuraavasti:

$$(9) \quad \bar{c}_p = \frac{\sum_{i=1}^n v_i W_{eff_i} \cdot c_{p_i}}{V}$$

jossa \bar{c}_p = polttopuun keskimääräinen hankintakustannus, mk/MWh tai mk/GJ

v_i = leimikosta i korjattava puumäärä m^3

W_{eff_i} = leimikosta i korjattavan polttopuun tehollinen lämpöarvo, MWh/ m^3 tai GJ/ m^3

c_{p_i} = leimikon i polttopuun hankinnan yksikkökustannus, mk/MWh tai mk/GJ

V = polttopuun vuotuinen korjuumäärä, MWh tai GJ

$$= v_1 W_{eff_1} + v_2 W_{eff_2} + \dots + v_n W_{eff_n}$$

Laskentamallin käyttäjä poimii tarvittavat kustannus- ja hintatiedot laskenta-alueellaan ja laskenta-ajankohtana voimassa olevista maksuista tai maksuehdotuksista, jolloin mallin käyttö on tässä suhteessa joustava ja ajantasainen. Lähtötietojen ollessa puutteellisia on mahdollista arvioida polttopuun korjuun eri työvaiheiden kustannuksille vaihteluväli tai arvioida leimikoittaiset kustannukset soveltaen puutteellisten lähtötietojen osalta eri tutkimuksista saatavia keskimääräisiä leimikkotyyppittäisiä tunnuslukuja. Hankintakustannusten arviointi tarkentuu lähtötietojen tarkentuessa.

3.7. Taloudellisesti saavutettavan polttopuumäärän arviointi

Taloudellisesti saavutettavaksi polttopuuksi ymmärretään tarkastelujakson aikana korjattaviksi suunnitelluista leimikoista talteen saatava polttopuu, jonka keskimääräinen hankintakustannus on alhaisempi tai korkeintaan sama kuin etukäteen arvioitu lämpölaitoksen polttopuun enimmäishinta eli:

$$(10) \quad \bar{c}_p \leq k_{ph} \quad ,$$

jossa \bar{c}_p = polttopuun keskimääräinen
hankintakustannus, mk/MWh tai mk/GJ
 k_{ph} = polttopuun enimmäishinta, mk/MWh tai
mk/GJ

Polttopuu voi tällöin kertyä eri tyyppisistä leimikoista ja olla eri korjuumenetelmin tai kauppataivoin hankittua. Jos hankintakustannukset ovat osassa leimikoista alhaisemmat kuin polttopuun enimmäishinta, voidaan enimmäishinta vastavasti ylittää osassa leimikoita.

Korjattaviksi suunnitellut polttopuuleimikot priorisoidaan nousevan hankintakustannuksen mukaan. Leimikoittain laskettua, kustakin leimikosta talteen saatavalla puumäärällä painotettua keskimääräistä hankintakustannusta verrataan lämpölaitokselle etukäteen arvioituun polttopuun enimmäishintaan ja arvioidaan tällä hinnalla korjattavissa oleva puumäärä. Taloudellisesti saavutettavan polttopuumäärän vastatessa lämpölaitoksen tarkastelujakson aikana tarvitsemaa puumäärää polttopuulaitokselle asetettu liiketaloudellinen kannattavuusvaatimus täyttyy. Edellytyksenä on tällöin, että muut liiketaloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät ovat muuttumattomia.

Kun alueelle suunnitellaan rakennettavaksi uusi polttopuuta käyttävä lämpölaitos tai lämpölaitoksen kapasiteetin käyttöastetta nostetaan, lämmöntuotantoon tarvittavat puumäärät kasvavat. Puumäärien kasvaessa hankinnan yksikkökustannukset aluksi laskevat (pääomakustannusten osuus yksikkökustannuksista pienenee). Toisaalta hankintamäärien kasvaessa joudutaan hankintasädetä laajentamaan ja ottamaan hankinta-kohteiksi hankinnan kannalta vähemmän edullisia korjuukohteita, jolloin hankintakustannukset käyttöpaikalle tuotuna kasvavat.

Herkkyysanalyysin voidaan tarkastella polttopuun enimmäishintaan, polttopuun hankintakustannuksiin ja taloudellisesti saavutettavaan polttopuumäärään vaikuttavien tekijöiden muutoksia peruslaskentatilanteesta. Taloudellisesti saavutettavan polttopuumäärän ollessa riittämätön kattamaan lämpölaitoksen polttopuun tarve voidaan tarkastella myös polttopuun korvaamista puuttuvalta osin vaihtoehtoisella polttoaineella. Korvaavan polttoaineen ja polttopuun määrillä painotettu keskimääräinen polttoaineen hankintakustannus saa olla korkeintaan sama kuin polttopuun enimmäishinta, kun muiden tekijöiden oletetaan olevan peruslaskentatilanteen mukaisia.

Investoijan suunnitellessa alueelle useampia polttopuulaitoksia/kattiloita taloudellisesti saavutettavan polttopuun arviointi investoijan kannalta voidaan tehdä vertaamalla polttopuun keskimääräisiä hankintakustannuksia polttopuulaitosten/ kattiloiden tarvitsemilla puumäärillä painotettuun keskimääräiseen polttopuun enimmäishintaan.

Hankintakaupoin korjattavan polttopuun hankintakustannus muodostuu tienvarsikustannuksesta (korkoineen) sekä markkinahinnoin tehtävistä haketuksen ja kaukokuljetuksen kustannuksista sekä yleiskustannuksista. Hankintakaupoin toimitettavalle polttopulle voidaan arvioida korkein mahdollinen taloudellisesti saavutettava keskimääräinen tienvarsikustannus. Kustannus arvioidaan lähtemällä liikkeelle polttopuun enimmäishinnasta. Se voidaan arvioida kullekin puutavaralajille erikseen vähentämällä keskimääräiset puutavaralajeittaiset (ranka, kokopuu, hakkuutähde) haketus- ja kaukokuljetuskustannukset sekä yleiskustannukset polttopuun enimmäishinnasta.

3.8. Sovellutusesimerkkejä laskentamallin käytöstä

3.8.1. Sovellutusesimerkki kunnallisen 1 MW:n lämpölaitoksen suunnittelutilanteessa

Alueelle on suunnitteilla kunnallinen, nimellisteholtaan 1 MW:n aluelämpölaitos. Aluelämmitys on todettu laskelmin kiinteistökohtaista lämmitysmuotoa edullisemmaksi ja rakentamispäätös lämpölaitoksesta on tehty. Lämmöntuotantoon käytettävän polttoaineen valinta on kuitenkin vielä tekevä.

Polttopuuta käyttävä lämpölaitos koetaan kunnassa edulliseksi vaihtoehdoksi, koska sille on saatavissa valtion investointiavustusta, joka helpottaa hankeen rahoituksen järjestelyä. Lisäksi polttopuun käytön ympäristövaikutukset, työllisyysvaikutus, metsänhoidolliset näkökohdat ja polttoaineen jatkuvan saannin varmuus puoltavat puupolttoaineen valintaa.

Polttopuulaitoksen liiketaloudellinen kannattavuusvaatimus asetettiin niin, että laitoksessa tuotettavan lämmön yksikkökäyttökustannuksissa on saavutettava kustannussäästöjä niin paljon, että polttopuulaitoksen ja vaihtoehtoisen lämpölaitoksen välinen erotusinvestointi palautuu kunnalle 10 vuoden kuluessa, kun korkokantana sovelletaan 10 %:a.

Vaihtoehtoisista 1 MW:n lämpölaitoksista laskelmiin valittiin raskasta polttoöljyä, kevyttä polttoöljyä ja palaturvetta käyttävät laitosvaihtoehdot. Niissä oletetaan tuotettavan lämpöä saman verran kuin polttopuulaitoksessa.

Arvioinnin lähtötilanne

Polttopuun enimmäishinnan arvioinnin lähtötilanteessa suunniteltu lämpölaitoksen huipun käyttöaika on 2200 h/a ja vertailulaitosten investointikustannukset, vertailupolttoaineiden hinnat ja laskelmissa käytetyt vuosihyötysuhteet (Kotimaisten polttoaineiden ...1983) sekä vastaavat lämmöntuotannon yksikkökustannukset ovat seuraavat:

laitos	investointi- kustannus, mk	poltto- aineen hinta mk/GJ	vuosihyöty- suhde	lämmöntuotan- non yksikkö- kustannus mk/GJ
palaturve	805 000	16.00	0.69	45.00
raskas polt- toöljy	410 000	26.95	0.77	47.30
kevyt polt- toöljy	355 000	45.25	0.80	67.20

Suunnitteilla olevan polttopuulaitoksen lähtötiedot esimerkissä ovat seuraavat:

Hankintakustannukset yhteensä,	1 000 000 mk
joista valtion avustusta	188 000 mk
Investointikustannukset (avustukset vähennettyinä)	812 000 mk
Vuotuiset kiinteät käyttö- ja hoitokustannukset	31 300 mk
Muut muuttuvat kustannukset	0,61 mk/GJ
Vuosihyötysuhde	0,69

Polttopuulaitoksen tekniset ratkaisut on suunniteltu toteutettaviksi niin, että laitoksessa voidaan polttaa sekä ranka- että kokopuuhaketta, mutta ei hakkuutähdehaketta.

Suunnitteilla olevan polttopuulaitoksen investointikustannukset (joista on vähennetty valtion avustusten osuus) ovat suuremmat kuin vertailulaitosten investointikustannukset.

Polttopuun enimmäishinnan laskentaan valikoitui vertailulaitoksista lämmöntuotannon yksikkökustannuksiltaan edullisin eli palaturvelaitos. Polttopuulaitokselle asetetun liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaiset kustannussäästöt saadaan takaisinmaksuajan laskentakaavasta (kaava 4 ja 5, luku 3.2.2.) ja ovat esimerkiksi:

$$s_e = 0.14 \text{ mk/GJ}$$

Polttopuulaitoksen korkeimmat mahdolliset yksikkökäyttökustannukset saadaan vähentämällä tarvittavat kustannussäästöt palaturvelaitoksen yksikkökäyttökustannuksista. Kun laskentaesimerkissä oletetaan yksinkertaistaen, että tukipolttoa ei tarvita tai sen osuus polttoainekustannuksista on niin pieni, että sitä ei oteta huomioon, vastaavaksi polttopuun enimmäishinnaksi saadaan:

$$k_{ph} = 16.30 \text{ mk/GJ}$$

Kun polttopuusta maksetaan käyttöpaikalle tuotuna korkeintaan polttopuun enimmäishinta, saavutetaan lämmöntuotannon yksikkökäyttökustannuksissa säästöjä vertailuvaihtoehtoon nähden niin paljon, että vaihtoehtojen välinen erotusinvestointi palautuu kunnalle 10 vuoden ajassa 10 %:n korkoineen.

Laskentamallin toisen vaiheen avulla tarkastellaan polttopuun hankintakustannuksia käyttöpaikalle tuotuna. Polttopuun hankinta rajoittuu pystykaupoin ja välivarastohaketusketjuun perustuvaan korjuutilanteeseen. Koska lämpölaitoksen tekniset ratkaisut eivät mahdollista hakkuutähteen polttoa, rajoittuvat mahdolliset korjuukohteet lähinnä verho puuston poistoihin ja pienpuuston harvennus- ja avohakkuuleimikkoihin.

Arvioinnilla selvitetään tarkastelujakson (esimerkissä 1 vuosi) aikana korjattaviksi suunniteltujen leimikoitten hankintakustannuksia sekä rankana että kokopuuna korjattuina suunniteluajankohtana voimassa olevia maksuja soveltaen.

Vuoden aikana korjattavaksi suunniteltujen leimikoitten keskeisiä olosuhdetietoja on esitetty taulukossa 1.

leimikko- tyyppi	rungon koko, dm ³	puulaji- suhteet % mä ku le	poistet- tavien puiden lkm,r	runko- puu- poistu- ma m ³ /ha	leimi- kon pinta- ala,ha	jäävä puus- to,r	metsä- kulj. matka, m	maasto- luokka
ensiharvennus	22.5	0 65 35	1600	36	7.72	800	350	2
harvennus	43.0	90 10 0	465	20	34.1	1400	300	1
avohakkuu	23.3	5 25 70	3570	83	3.0	-	250	1

Taulukko 1. Eräitä hankintakustannuksiin vaikuttavia esimerkki-leimikoiden olosuhdetietoja

Rungon keskimääräisen koon, poistettavien puiden lukumäärän ja leimikoitten pinta-alojen perusteella arvioidut polttopuukertymät leimikkotyypeittäin ja korjuumenetelmittäin ovat seuraavat:

	rankana, m ³	kokopuuna, m ³
ensiharvennus	280	400
harvennus	680	940
pienpuuston avohakkuu	250	330
yhteensä	1210 m ³	1670 m ³

Esimerkkileimikoitten hankintakustannuksiksi leimikkotyyppeittäin ja korjuumenetelmittäin vuodenvaihteen 1982/1983 hintatasossa saatiin seuraavat hankinnan yksikkökustannukset arvioitua talteen saatavaa energiayksikköä kohti:

	rankana, mk/GJ	kokopuuna, mk/GJ
ensiharvennus	24.10 - 28.50	19.80 - 20.70
harvennus	18.40 - 20.50	15.85 - 16.05
pienpuuston avohakkuu	16.05 - 18.85	14.40 - 15.30

Korjuumenetelmittäin voidaan polttopuuleimikot priorisoida nousevan hankintakustannuksen mukaan ja verrata polttopuun hankintakustannuksia ja leimikoista talteen saatavia polttopuumääriä lämpölaitokselle arvioituun polttopuun enimmäishintaan.

Tarkasteltaessa polttopuun korjuuta rankamenetelmällä voidaan todeta, että polttopuun hankintakustannukset ylittävät polttopuun enimmäishinnan (16.30 mk/GJ) kaikissa leimikkotyypeissä eikä polttopuun käyttö rankana korjattuna täyttäisi polttopuun taloudellisen saavutettavuuden määritelmää.

Esimerkissä polttopuun hankintakustannukset kokopuumenetelmällä korjattuina harvennus- ja pienpuuston avohakkuuleimikoista ovat alhaisemmat kuin polttopuun enimmäishinta. Niistä kertyvä polttopuumäärä (n. 1270 m³) ei kuitenkaan riitä täyttämään lämpölaitoksen vuotuista puuntarvetta (n. 1400 m³). Polttopuuta joudutaan hankkimaan lisäksi n. 130 m³ ensiharvennusleimikoista, joiden hankintakustannus on kor-

keampi kuin polttopuun enimmäishinta. Polttopuun leimikoit-
tain talteen saatavalla puumäärällä painotettu lämpölai-
toksen tarvitseman polttopuun keskimääräinen hankintakus-
tannus täyttää esimerkin laskentatilanteessa kuitenkin ta-
loudellisesti saavutettavan polttopuun määritelmän eli:

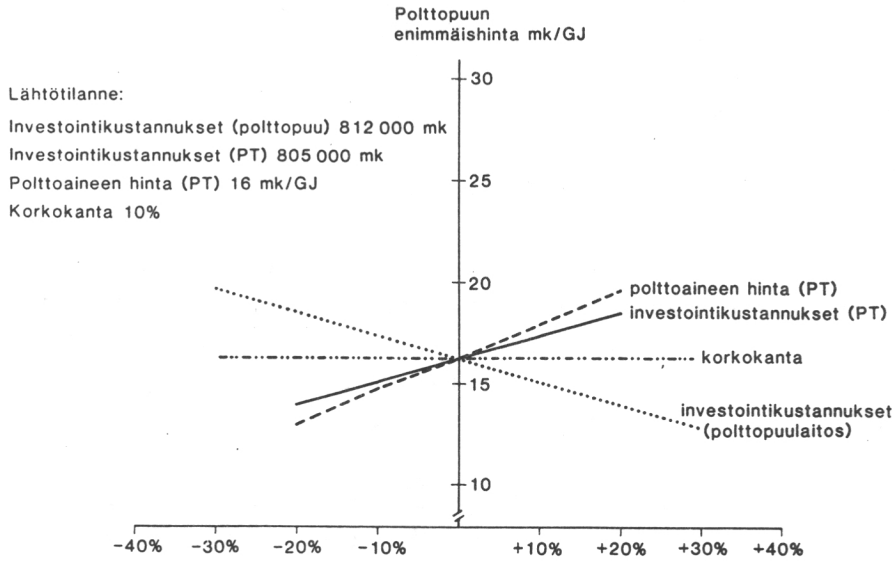
15.90 mk/GJ - 16.30 mk/GJ - 16.30 mk/GJ

Polttopuulaitokselle etukäteen asetettu liiketaloudellinen
kannattavuusvaatimus suunnittelun perustilanteessa täyttyy
vaikkakin polttopuuta joudutaan osittain korjaamaan leimik-
kokohteista, joiden hankintakustannukset ylittävät poltto-
puun enimmäishinnan.

Hankintakaupoin toimitettavasta polttopuusta lämpölaitos voi
maksaa tienvarressa rankana keskimäärin 7.75 mk/GJ ja koko-
puuna 7.50 mk/GJ. Tienvarsikustannukset saatiin vähentä-
mällä polttopuun enimmäishinnasta Hakkilan (1984) esittämät
vuoden 1982 keskimääräiset haketus-, kaukokuljetus- ja työn-
johdolliset kustannukset.

Esimerkin peruslaskentatilanteessa ei kuitenkaan ole otettu
huomioon, että palaturvelaitos todennäköisesti myös saisi
valtion investointiavustusta. Palaturvetta käyttävän lai-
toksen saadessa investointiavustusta lämpölaitosten inves-
tointikustannusten erotus ja polttopuulaitoksen tarvitsemat
kustannussäästöt kasvavat. Jos oletetaan, että myös palatur-
velaitos saisi investointiavustusta noin 20 % investointi-
kustannuksista, vastaava polttopuun enimmäishinta olisi
14.00 mk/GJ eikä polttopuuta tällä hinnalla olisi hankitta-
vissa korjattaviksi suunnitelluista leimikoista.

Polttopuun enimmäishintaan ja taloudellisesti saavutettaviin
puumääriin vaikuttavien palaturvelaitoksen investointikus-
tannusten ja muiden tekijöiden muutosta peruslaskentatilan-
teesta tarkastellaan herkkyyksanalyysin. Kuvassa 4 on esi-
tetty eräiden eniten vaikuttavien tekijöiden vaikutusta
polttopuun enimmäishintaan.



Kuva 4. Polttopuun enimmäishinnan herkkyytstarkastelu 1 MW:n lämpölaitoksessa kuvassa esitettyssä laskennan lähtötilanteessa

Laskentaesimerkissä vertailupolttoaineen hinnan, polttopuulaitoksen vuosihyötysuhteen, vertailulaitoksen investointikustannusten ja polttopuulaitoksen investointikustannusten muutokset vaikuttavat eniten polttopuun enimmäishintaan. Sen sijaan muiden tekijöiden, kuten esimerkiksi laskelmissa sovelletun korkokannan ja takaisinmaksuajan vaikutus on vähäinen.

Esimerkkiin valittu lämpölaitos oli vuonna 1982 käyttänyt pääasiallisena polttoaineenaan kokopuuhaketta. Osin polttoaineena oli käytetty myös kuorta. Kokopuun hankintakustannus käyttöpaikalle tuotuna oli vuonna 1982 kyseisessä lämpölaitoksessa noin 17.50 mk/GJ. Hakkeen hinnassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon työvoimaministeriön polttopuun korjuuseen myöntämiä avustuksia.

Sovellutusesimerkin kuvitteellisessa suunnittelutilanteessa asetettu liiketaloudellinen kannattavuusvaatimus ei olisi tällä polttopuun hankintakustannuksella täyttynyt ja polttopuulaitos olisi liiketaloudellisten kriteerien pysyessä samoina ja ottamatta huomioon muita lämpölaitoksen kannattavuuteen vaikuttaneita tekijöitä todettava tarkkailutilanteessa toimineen kannattamattomasti.

3.8.2. Sovellutusesimerkki 3 MW:n aluelämpölaitoksen suunnittelutilanteesta

Esimerkissä on kyseessä 3 MW:n aluelämpölaitoksen suunnittelutilanne, jossa polttopuulaitoksen liiketaloudellinen kannattavuusvaatimus asetettiin niin, että polttopuulaitokseen sijoitettu erotusinvestointi palautuu investoijalle, kun takaisinmaksuaika on 15 vuotta ja korkokanta 10 %. Vaihtoehtoina tulevat kyseeseen palaturve- ja raskaspolttoöljylaitokset. Molemmissa vaihtoehdoissa oletetaan tuotettavan lämpöä saman verran kuin polttopuulaitoksessa.

Polttopuun enimmäishinnan arvioinnin lähtötilanne:

Lämpölaitoksen suunniteltu huipun käyttöaika on 2700 h/a. Käyttöaikaa on tarkoitus nostaa kuitenkin myöhemmin 2900 tuntiin vuodessa. Lämpölaitoksen polttopuun tarpeeksi on arvioitu aluksi n. 5200 m³/a ja verkon saavutettua lopullisen laajuutensa n. 5500 m³/a.

Esimerkin vertailulaitosten investointikustannukset (palaturvelaitoksen investointikustannuksista vähennetty valtion avustus), vertailupolttoaineiden hinnat ja laskelmissa käytetyt vuosihyötysuhteet sekä lämmöntuotannon yksikkökustannukset ovat seuraavat:

laitos	investointikustannus mk	polttoaineen hinta mk/GJ	vuosihyötysuhde	lämmöntuot.	
				yks. kust.mk/GJ	
				E=29200 GJ/a	E=31300 GJ/a
palaturve	4 011 000	16.00	0.73	57.10	54.90
raskas polttoöljy	835 000	26.95	0.80	42.40	41.90

Polttopuun enimmäishinnan laskentaan valikoituu vertailuvaihtoehtoista lämmöntuotannon yksikkökustannuksiltaan edullisin lämpölaitos eli raskaspolttoöljylaitos.

Hakelaitoksen lähtötiedot ovat seuraavat:

Investointikustannukset	2 701 000 mk
Kiinteät käyttö- hoito- kustannukset	267 000 mk
Muut muuttuvat kustannukset	1.39 mk/GJ
Hyötysuhde	0.73

Polttopuulaitoksen liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukaisiksi kustannussäästöiksi saadaan suunniteluilla huipun käyttöajoilla:

$$2700 \text{ h/a } s_e = 8.40 \text{ mk/GJ}$$

$$2900 \text{ h/a } s_e = 7.80 \text{ mk/GJ}$$

ja vastaaviksi polttopuun enimmäishinnoiksi:

$$2700 \text{ h/a } k_{ph} = 12.60 \text{ mk/GJ}$$

$$2900 \text{ h/a } k_{ph} = 13.35 \text{ mk/GJ}$$

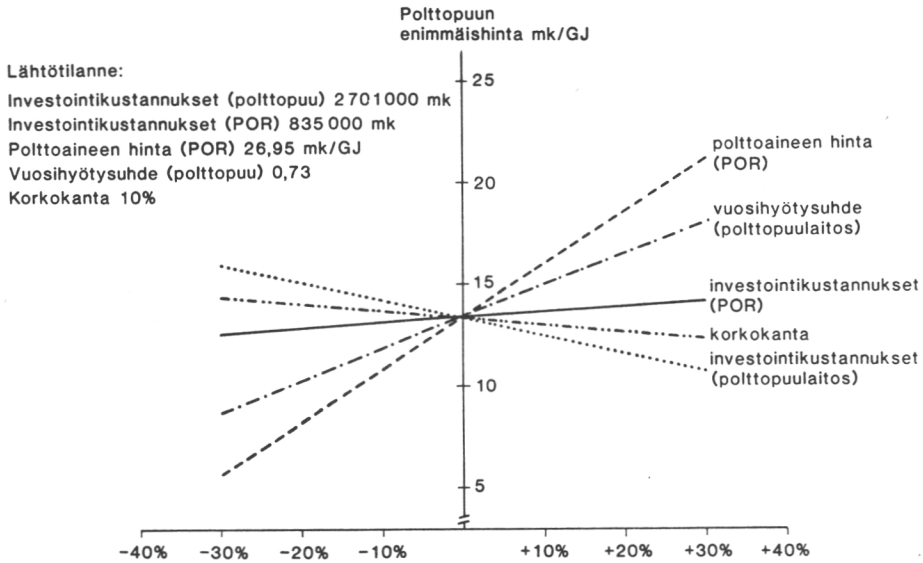
Lämpölaitoksen tarvitsema polttopuu on suunniteltu korjattavan lähinnä verhopuuston poistoista ja pienpuuston avohakkuista. Esimerkissä polttopuun hankintakustannuksiksi arvioitiin korjuumenetelmittäin ja leimikkotyypeittäin seuraavat hankintakustannukset:

	rankana mk/GJ	kokopuuna mk/GJ
verhopuuston poisto	21.30 - 24.20	19.20 - 19.70
pienpuuston avohakkuu	25.10 - 29.50	21.40 - 22.35

Verrattaessa polttopuun hankintakustannuksia polttopuun enimmäishintaan voidaan esimerkin laskentatilanteessa todeta, että polttopuun hankintakustannukset ylittävät poltto-

puun enimmäishinnan eikä polttopuuta ole lämpölaitokselle korjattavissa kustannuksin, jotka täyttäsivät lämpölaitokselle asetetun liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen, vaikka huipun käyttöaikaa nostettaisiinkin 2700 tunnista/a 2900 tuntiin/a.

Polttopuun enimmäishintaan ja taloudellisesti saavutettavaan puumääriin oleellisesti vaikuttavien tekijöiden muutosten vaikutusta tarkastellaan esimerkin 3.8.1. tavoin herkkyyssanalyysin kuvassa 5.



Kuva 5. Polttopuun enimmäishinnan herkkyystarkastelu 3 MW:n lämpölaitoksessa kuvassa esitettyssä laskennan lähtötilanteessa

Muutosten reaalisten toteutumismahdollisuuksien arvioiden perusteella voidaan lämpölaitoksen suunnittelutilannetta muuttaa ja selvittää polttopuulaitoksen toteuttamismahdollisuudet muuttuneessa laskentatilanteessa tai luopua polttopuulaitoshankkeesta.

Lämpölaitoksessa käytettiin vuonna 1982 kokopuu- ja rankahaketta, jonka hankintakustannus käyttöpaikalle tuotuna oli noin 18.80 mk/GJ. Samoin kuin esimerkissä 3.8.1. lämpölaitoksen toiminta olisi liiketaloudellisten kriteerien ollessa esimerkin suunnittelutilanteen mukaisia ja ottamatta huomioon muita lämpölaitoksen kannattavuuteen vaikuttaneita tekijöitä todettava toimineen tarkkailutilanteessa kannattamattomasti.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Polttopuulaitoksen kokonaisvaltainen kannattavuuden ja polttopuun saatavuuden tarkastelu on ollut vähäistä. Kotimaisia polttoaineita käyttävien lämpölaitosten liike- ja kansantaloudellista kannattavuutta laitosten tarkkailutilanteessa on tutkinut esimerkiksi Toropainen (1984a ja 1984b) ja Hakkila (1984) on selvittänyt metsähakkeen hankintaa polttoaineeksi. Lämpölaitosten liiketaloudelliseen kannattavuuteen ja polttopuun hankintakustannuksiin perustuvasta polttopuumäärien arviointimenetelmästä etukäteislaskentatilanteessa ei kuitenkaan ole aikaisemmin ollut käytettävissä julkaistua tutkimusta.

Polttopuun kilpailukykyisyyttä polttoaineena on arvioitu myös Ekono Oy:n tekemissä kotimaisten polttoaineiden kilpailukykyisyysslaskelmissa (esim. 1984). Arviot perustuvat lämmöntuotannon yksikkökustannuslaskelmiin. Niissä arvioidaan polttopuulle korkein mahdollinen hinta, jolla päästään samoihin lämmöntuotannon yksikkökustannuksiin kuin raskaalla polttoöljyllä tai kivihiilellä. Laskelmissa ei kuitenkaan ole otettu huomioon lämpölaitosten investointikustannusten erotusta ja yksikkökustannuslaskelmat eivät ole varsinaisia liiketaloudellisia laskelmia. Yksin niiden avulla ei ole mahdollista tarkastella investointien kannattavuutta.

Kehitettyä laskentamallia voidaan käyttää polttopuulaitosta suunniteltaessa päätöksenteon apuvälineenä. Sen avulla voidaan selvittää lämpölaitoksen polttoainevalintaa tehtäessä laitokselle asetetun liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen, lämpölaitoksen teknologisten edellytysten ja polttopuun hankinnan välinen riippuvuus seuraavissa suhteissa:

- Kuinka lämpölaitokselle asetettu liiketaloudellinen kannattavuus riippuu vertailupolttoaineiden energiahinnoista, laitokseen valittujen teknisten ratkaisujen hankintakustannuksista, eri polttoaineilla saavutettavista vuosihyö-

tysuhteista, laskelmissa sovelletusta korkokannasta ja muista lämmöntuotannon kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä.

- Lämpölaitoksen teknisten ratkaisujen polttopuulle asettamien laatuvaatimusten vaikutusta korjattavan leimikkotyyppin ja korjuumenetelmän valintaan ja polttopuun hankintakustannuksiin.
- Polttopuun korjuun taloudellisten rajoitteiden riippuvuutta polttopuun korjuukohteiden jakaumasta ja keskimääräisistä hankintakustannuksista.

Toisaalta on otettava huomioon seuraavia mallin soveltamista rajoittavia seikkoja:

- Lämpölaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat muutkin kuin liiketaloudellisiin laskelmiin sisällytettävät tekijät.
- Laskentamallin soveltamiskelpoisuus riippuu lämpölaitoksen suunnittelutilanteesta. Mallin avulla voidaan selvittää polttopuun käytön mahdollinen yläraja, eikä mallilla pyritä löytämään polttopuun käytön optimimäärää.
- Polttopuun hankintakustannusten arviointi edellyttää korjattaviksi suunniteltujen leimikoitten olosuhdetietojen tuntemusta. Lämpölaitoksen suunnittelutilanteessa metsiköittäisiä tietoja ei useinkaan ole käytettävissä ja hankintakustannusten arvioinnissa on tyydyttävä leimikkotyypeittäisiin keskimääräistietoihin.

Liiketaloudellisen kannattavuuden selvittämismenetelmän valinta riippuu laskentatilanteesta. Lämpölaitosinvestoinneista suuri osa on kunnallisia. Kun otetaan huomioon kunnallisen suunnittelun yleiset tavoitteet ja kunnallisen liikelaitoksen toimintaperiaatteet, jolloin lämpöä tuotetaan mahdollisimman edullisesti voittoa kuitenkin tavoittelematta, on korollisen takaisinmaksuajan menetelmä perusteltu. Vaihtoehtoinen tai rinnakkainen menetelmä olisi annuiteetti-menetelmä. Laskentamallin ensimmäisen vaiheen tehtävänä oli osoittaa, millä korkeimmalla mahdollisella polttopuun hinnalla polttopuvaihtoehto täyttää sille asetetun liiketalou-

dellisen minimikannattavuusvaatimuksen. Sen avulla ei ole tarkoitus selvittää mikä mahdollisista investointivaihtoehdoista olisi kannattavin mahdollinen.

Mallissa sovellettu korollisen takaisinmaksuajan menetelmä sisältää eri investointivaihtoehtojen aiheuttamat maksuvirrat markkinahintoihin arvostettuina. Laskelmiin ei kuitenkaan voida sisällyttää kaikkea päätöksenteon kannalta oleellista informaatiota. Investoinnin suunnittelussa otetaan huomioon muitakin kuin liiketaloudellisiin laskelmiin sisältyviä tekijöitä.

Muut päätösvaihtoehdon toiminnalliset eriarvoisuudet, kuten vaihtoehdoista odotettavissa olevat hyödyt tai kustannukset voidaan sisällyttää laskelmiin, jos ne ovat rahamääräisesti arvostettavissa. Ne voidaan ottaa huomioon lisäämällä tai vähentämällä hyödyt tai kustannukset investointivaihtoehdosta odotettavissa oleviin säästöihin. Toinen vaihtoehto olisi asettaa liiketaloudellisen kannattavuusvaatimuksen mukainen takaisinmaksuaika pitemmäksi tai lyhyemmäksi.

Laskentamallin ensimmäisen vaiheen avulla osoitetaan polttopuun käytön yläraja lämpölaitoksessa. Esitutkimuksena tehdyn mallin avulla ei ole kuitenkaan mahdollista ratkaista polttopuun käytön optimimäärää. Ongelma tulisi jatkotutkimuksissa nähdä yrityksen teoriaan perustuvana lämpölaitoksen energiakustannusten minimointina tai voiton maksimointina.

Laskentamallin toisen vaiheen tehtäväksi asetettiin polttopuun hankintakustannuksiin vaikuttavien tekijöiden selvittäminen, jotta polttopuuleimikot voitaisiin priorisoida hankintakustannusten mukaan. Mallin avulla voidaan tarkastella lämpölaitoksen suunnittelussa tehtävien ratkaisujen vaikutusta polttopuun korjuun eri työvaiheiden kustannuksiin. Sen avulla voidaan osoittaa hankintakustannusten riippuvuus suunniteltavan lämpölaitoksen teknisistä ratkaisuista, vuosittain tarvittavista puumääristä, käytetyistä korjuumenetelmistä ja leimikkokohtaisista olosuhteista.

Hankintakustannusten arviointi edellyttää leimikoittaisten olosuhdetekijöiden tarkkaa tuntemusta. Koska oletettiin, että kaikkia eri työvaiheiden maksujen ja taksojen määrittämiseen tarvittavia tietoja ei etukäteisarvioinnissa ole saatavissa, atk-perusteinen malli rakennettiin niin, että puutteellisia leimikkotietoja voi täydentää eri tutkimuksista saatavin keskimääräistiedoin ja eri työvaiheille voidaan arvioida kustannusten vaihteluväli. Polttopuun hankintakustannusten arvio tarkentuu leimikoittaisten olosuhdetietojen tarkentuessa ja vastaa annettujen lähtötietojen tasoa. Etukäteisarvioinnissa joudutaan useimmiten tyytymään polttopuuksi korjattujen leimikoitten keskimääräisiin olosuhdetietoihin ja hankintakustannusten arviointi vaikeutuu.

Kun tarkastellaan sovellutusesimerkeissä arvioituja polttopuun leimikoittaisia hankintakustannuksia sekä rankana että kokopuuna korjattuina, voidaan todeta tässä arvioitujen hankintakustannusten (s.42,46) vastaavan keskimääräisiä metsähakkeen todellisia kustannuksia vuonna 1982. Esimerkiksi Hakkilan (1984) mukaan karsituista rangoista tehdyn hakkeen kustannus 1982 oli keskimäärin noin 22.00-25.00 mk/GJ ja kokopuuhakkeen noin 19.00-22.00 mk/GJ. Esimerkeissä voitiin kuitenkin havaita leimikkotyypeittäisiä eroja polttopuun hankintakustannuksissa ja leimikot voitiin priorisoida hankintakustannusten mukaan.

Hankintakustannusten laskenta rajattiin koskemaan välivarastohaketusta, joka on yleisin tällä hetkellä käytössä oleva haketusmenetelmä. Laskentaperiaatetta on kuitenkin mahdollista soveltaa myös muissa haketusketjuissa. Soveltaminen edellyttää luonnollisesti korjuuketjujen eri työvaiheiden tuntemusta ja työvaiheille sovellettavissa olevien maksujen käyttämistä.

Hankintakustannusten arviointi perustuu eri työvaiheiden kustannuksiin markkinahintaisella työvoimalla ja koneilla tehtynä. Hankintakaupoin toimitettavalle polttopuulle arvioidaan korkein mahdollinen tienvarsikustannus vähentämällä

polttopuun enimmäishinnasta haketus- kaukokuljetus- ja yleiskustannukset. Keskimääräisen tienvarsikustannuksen perusteella voi polttopuun myyjä rationaalisesti toimiessaan eri laskentatilanteissa soveltaa esimerkiksi minimikalkyyli-tapaa polttopuun hankintaa hinnoitellessaan. Samaa menet-telyä kuin tienvarsikustannusten arvioinnissa voidaan so-veltaa myös polttopuun kantohinnan määrittämiseen, jolloin markkinahinnoin tehtävien työvaiheiden kustannukset vähenne-tään polttopuun enimmäishinnasta. Menettelyä voitaisiin so-veltaa myös siten, että asetetaan aluksi kantohinta nolllaksi ja kalkyloidaan sitten kantohinta-arvio, jolloin menetelmä muistuttaisi jäännöseräperiaatetta (vrt. Palo 1978).

Mallin avulla voidaan osoittaa lämpölaitoksen suunnittelussa teknisten ratkaisujen vaikutus taloudellisesti saavutetta-viin polttopuumääriin. Mallin avulla voidaan myös arvioida energiatilanteessa tapahtuvien muutosten vaikutuksia talou-dellisesti saavutettaviin polttopuumääriin ja muutosten vai-kutuksia polttopuun korjuukohteisiin ja polttopuun hankinta-kustannuksiin.

LÄHTEET

- Edullisuusvertailun menetelmäopas. Posti- ja lennätinhallitus, 1980.
- Ehdotus yksipuoliseksi haketusmaksuksi 1982. Metsäalan Kuljetuksenantajat. Moniste.
- Energiainvestointituen vaikutus yrityksen päätöksentekoon. 1983. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja B:25.
- Energiainvestointien rahoitustuen kehittäminen. 1982. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja C:13.
- Energiapoliittinen ohjelma 1979. Hyväksytty valtioneuvostossa 15.3.1979.
- Energiapoliittinen ohjelma 1983. Hyväksytty valtioneuvostossa 24.2.1983.
- HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttohakkeeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342.
- " 1984. Metsähakkeen hankinta lämpölaitosten polttoaineksi. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto ja SITRA. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti nro. 33.
- IMMONEN, K. & SEPPÄLÄ, R. 1984. Polttopuun ja palaturpeen alueittainen tuotanto, jakelu ja käyttö. SITRA. Sarja B Nro 76.
- JAATINEN, E. 1980. Puun tehokas käyttö energiapolitiikan näkökulmasta. Esitelmä Taloustieteellisen Seuran vuosikokouksessa 20.3.1980. Taloustieteellisen Seuran Vuosikirja 1979/1980.

- Kaukolämpötietoa päättäjille. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja D:39.
- KINNUNEN, A. & KIUKAANNIEMI, E. 1981. Kotimaisen polttoaineen aluelämpökeskushanke ja sen esteet. Oulun läänin teollisuustoimikunta. Julkaisu nro 30.
- Kokopuiden lähikuljetusmaksu 1.9.1982 alkaen. MKA/KL. Moniste.
- Kotimaisten polttoaineiden kilpailukyky 1982. I Taajamat ja kiinteistöt. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. 1983. Sarja B:22.
- Kotimaisten polttoaineiden tuotanto ja käyttöpotentiaali. 1983. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja D:23.
- KUITTO, P-J. 1983. Hakkuutähteiden korjuu monitoimikonehakuun jälkeen. Metsäteho. Moniste.
- LÖNNBERG, B. & VESIKALLIO, H. 1980. Puiden koko biomassan hyödyntämismahdollisuudet Suomessa vuoteen 1990. Moniste.
- MÄKELÄ, M. 1977. Leimikoittainen metsätähdemäärä. The amounts of logging residues and stump and root at certain work sites. Folia For. 316.
- PALO, M. 1978. Kantohintateoriat. Esitelmä kansantaloustieteen päivillä 17.2. 1979. Taloustieteellisen Seuran Vuosikirja 1978.
- Pieniläpimittaisen kokopuun ja pienpuurangan hakkuun yksikköpalkat ja työmittausohje kokeilukäyttöön 1.10.1982-28.2.1983. Palkkausalue 4. Metsä- ja uittoalan TES-sopijapuolet.

Puun hintasuositukset 1.7.1982 - 30.6.1983. Maan eteläpuolisko. MTK/TPY.

Puutavaran autokuljetuksen perusmaksut. 1.1.1983 - 31.12.1983. MKA/KAL. Lahti.

Puuvaraselvitys 1976. Suomen raakapuu-, teollisuusjättepuu- ja metsätähdetase vuoteen 1980 sekä metsäteollisuuden raaka-ainenäköymät vuoteen 2000. Pääraportti. Suomen metsäteollisuuden Keskusliitto. Moniste.

RIISTAMA, V. & JYRKKIÖ, E. 1978. Operatiivinen laskenta-toimi. Ekonomiasarja 5. painos. Weilin & Göös.

TOROPAINEN, M. 1982. Kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymisen kannattavuus ja julkinen rahoitustuki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 54.

" 1984a. Valtion avustukset kuntien aluelämpöinvestoinneissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 131.

" 1984b. Aluelämpölaitosten polttoainevalintojen kannattavuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 162.

VALTANEN, H. 1981. Teollisuuden hankinnan yhteydessä sekä prosessissa syntyvät polttopuureservit. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto ja SITRA. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti nro 5.

ÄIJÄLÄ, M & SAHRMAN, K. 1982. Metsäenergian käyttö ja jalostus. Jätteen käyttömahdollisuudet polttoaineena. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 65.

Metsäntutkimuslaitos
Kansantaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunta

The Finnish Forest Research Institute
Section of Social Economics of Forestry

Kornetintie 8
SF-00380 Helsinki Tel.90-556276

Tutkijat
Research workers

Matti Palo (professori - professor)

Metsätaseet - Timber drain and
potential cut

Metsäsektori kansantaloudessa ja
metsäpolitiikka - Forest sector in
the national economy and forest
policy

Harri Hänninen (vt.erikois-
tutkija - acting Research
Specialist)
Heimo Karppinen
Gerardo Mery
Seppo Repo
Pasi Valli

Jari Kuuluvainen
Viljo Ovaskainen
Jorma Salo
Ashley Selby (vt.erikoistutkija -
acting Research Specialist)
Heidi Vanhanen

Puun kilpailukyky energian-
tuotannossa - Competitiveness
of wood in energy production

Metsäsektorin työvoima - Labour
force in the forest sector

Tapio Hankala
Leena Petäjistö
Mikko Toropainen (Joensuun
tutkimusasema - Joensuu
Research Station)

Pertti Elovirta
Ritva Ihalainen
Sirpa Onttinen

Metsien moninaiskäyttö -
Multiple use of forests

Timo Helle (Rovaniemen
tutkimusasema -
Rovaniemi Research Station)
Tuija Sievänen
Heikki Pajuoja

Muu henkilöstö
Arja Honkanen (tutkimussihteeri - secretary)
Anna Kaisa Korhonen (tutkimusmestari)
Eila Iltanen (kanslisti)
Petteri Pihlajamäki (ohjelmoiija)

Kansantaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla aikaisemmin ilmestyneitä Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjan julkaisuja:

Previous publications from the Section of Social Economics of Forestry in the Research Reports Series of the Finnish Forest Research Institute

- 112 Jari Kuuluvainen, Heikki A. Loikkanen ja Jorma Salo. Yksityismetsänomistajien puuntarjontakäyttäytymisestä. 100 s. 1983.
- 123 V-P Järveläinen ja Heimo Karppinen. Hakkuumahdollisuuksien hyväksikäyttö yksityismetsälöillä (II). Satakunnan ja Pirkka-Hämeen piirimetsälautakuntien aluetta koskevia ennakkotietoja. 57 s. 1983.
- 131 Mikko Toropainen. Valtion avustukset kuntien aluelämpöinvestoinneissa. 79 s. 1984. Joensuun tutkimusasema.
- 141 J. Ashley Selby and Mikko Tervo (Eds.). Symposium on forest products and roundwood markets. 202 s. 1984.
- 146 J. Ashley Selby. Entrepreneurs in rural areas: A humanistic approach to the study of small sawmills in North Karelia, Finland. 123 s. 1984.
- 147 Vesa Kanninen and Jari Kuuluvainen. On price adjustment in the sawlog and sawnwood export markets of the Finnish sawmill industry. 32 s. 1984.
- 162 Mikko Toropainen. Aluelämpölaitosten polttoainevalintojen kannattavuus. 117 s. 1984. Joensuun tutkimusasema.
- 170 Matti Palo, Lauri Heikinheimo ja Seppo Repo (toim.). N.A. Osara - metsäekonomisti ja metsäjohtaja. 180 s. 1984.
- 172 Heimo Karppinen. Hakkuumahdollisuuksien hyväksikäyttö yksityismetsälöillä (III). Keski-Suomen, Etelä-Pohjanmaan ja Vaasan piirimetsälautakuntien aluetta koskevia ennakkotietoja. 64 s. 1985.
- 185 Jari Kuuluvainen. Short term demand for and supply of sawlogs in Finland. 132 s. 1985.
- 187 Heikki Pajuoja. Metsäverotus, kiertoaika ja puuntarjonta - teoreettinen katsaus. 21 s. 1985.
- 197 Heikki Pajuoja. Metsätyön tauottamistutkimuksen ennakkotulokset. 21 s. 1985.
- 213 Heikki Pajuoja. Metsätyön tauottaminen ja työturvallisuus. 65 s. 1986.