

Tero Kilpeläinen

Harjun Oppimiskeskuksen  
kaukolämpöjärjestelmän  
energiatehokkuuden kehittäminen

Opinnäytetyö  
Energiatekniikka

Huhtikuu 2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Tero Kilpeläinen	Insinööri AMK	Huhtikuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Harjun oppimiskeskuksen kaukolämpöjärjestelmän energiatehokkuuden kehittäminen		36 sivua 3 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Harjun oppimiskeskus Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Hannu Sarvelainen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Harjun Oppimiskeskukselle. Harjun on merkittävä ja monialainen koulutuskeskus. Sen ympäristö ja rakennukset ovat kulttuurihistoriallisesti arvokkaita.</p> <p>Tutkimustyön tiedon hankinta tapahtui tutkimuskohteesta saaduista perustiedoista ja alan kirjallisuudesta sekä internetistä. Tiedon lisäksi on käytetty laskelmia ja asiaa selventäviä kuvia ja taulukoita.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin Harjun kaukolämpöverkon nykytilannetta sekä hakkeen tuotannon vaiheita Harjun omasta metsästä polttoaineeksi lämmöntuotantoon maakaasun rinnalle.</p> <p>Lopputuloksena hakkeen tuottaminen tutkimuskohteen omasta metsästä säästää lämmityskustannuksia ja on siten kannattavaa. Mahdolliset investointituet lisäävät kannattavuutta ja vähentävät investointien takaisinmaksuaikaa.</p> <p>Investointien hinnat on saatu bruttohintoina ja tuotantokustannukset on laskettu yleisen hintatiedon perusteella. Energiatukien määrää ei ole laskelmassa otettu huomioon, koska tuet myönnetään tapauskohtaisesti ennen hankinnan aloittamista.</p> <p>Talokohtaiset lämmönjakokeskukset parantavat energiatehokkuutta ja asumismukavuutta.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
Kaukolämmitys, energiakatselmus, putkisto, lämpöhäviö, metsäenergia		

Author (authors)	Degree	Time
Tero Kilpeläinen	Bachelor of Energy Engineering	April 2017
<b>Thesis Title</b> Development of the Energy Efficiency of the District Heating System at Harju Learning Center		36 pages 3 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Harjun Learning Center Ltd.		
<b>Supervisor</b> Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
<p data-bbox="150 696 284 725"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="150 770 1382 837">The thesis was made for Harju Learning Center. Harju is a significant and multidisciplinary learning center, and its surroundings and buildings are of cultural value.</p> <p data-bbox="150 882 1358 949">The data for the study was carried out based on base information provided by the research subject and on literature and from the internet.</p> <p data-bbox="150 994 1393 1128">The state of the district heating network at Harju was investigated in this study, also the stages of woodchip production from Harju's own forest to be used as fuel for the heat production alongside natural gas was investigated. Calculations and explanatory pictures and tables have been used in addition to data.</p> <p data-bbox="150 1173 1390 1308">Investment prices have been obtained at gross prices, and production costs have been calculated on the basis of general price information. Energy subsidies have not been included in the calculations because subsidies are granted on a case-by-case basis before the start of procurement.</p> <p data-bbox="150 1352 1374 1487">The study finds that building level substations improve energy efficiency and comfort and that producing woodchips from Harju's own forest saves heating costs and is therefore profitable. Potential investment aids will increase profitability further and reduce the repayment period for investments.</p>		
<p data-bbox="150 2018 304 2047"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="150 2056 1034 2085">district hearing, energy audit, pipeline, heat loss, forest energy</p>		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
1.1	Työn taustat .....	5
1.2	Työn rajaus .....	5
2	NYKYTILANNE .....	6
2.1	Lämmitys maakaasulla .....	6
2.2	Veden kulutus .....	7
2.3	Maakaasun kustannukset .....	8
2.4	Kaukolämpöverkko .....	9
2.5	Lämmönjakokeskukset .....	10
2.6	Energijakauma .....	11
2.7	Suojellut rakennukset .....	12
3	VERTAILU NYKYTEKNIKALLA TEHTYYN VASTAAVAAN VERKKOON .....	14
3.1	Rakennuksien tiedot lämmöntarpeen arviointiin .....	14
3.2	Lämmöntarpeen arviointi .....	15
3.3	Putkien mitoitus .....	17
3.4	Pumppu .....	18
4	ERILLISET LÄMMÖNJAKOKESKUKSET RAKENNUKSIIN .....	18
4.1	Lämmön kulku rakennuksiin .....	18
4.2	Lämmönhukka .....	19
4.3	Parannusehdotus: lämmönjakokeskus joka rakennukseen .....	20
4.3.1	Parannusehdotuksen kannattavuus .....	20
5	HAKKEEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUS .....	20
5.1	Bioenergia .....	20
5.2	Metsäenergian soveltuvuus Harjun oppimiskeskus Oy:n lämmöntuotannossa ....	21
5.3	Puu polttoaineena .....	22
5.4	Hake lämmönlähteenä .....	23
5.4.1	Kokopuu- tai rankahake .....	24
5.4.2	Metsätähdehake tai -murske .....	24
5.5	Energiapuun korjuuketju .....	25

5.6	Haketus .....	26
5.7	Hakkeen varastointi .....	27
5.8	Lämpökeskuksen mitoitus .....	28
5.9	Investoinnit .....	29
5.10	Investointituet.....	30
6	YHTEENVETO .....	31
	LÄHTEET.....	33

#### LIITTEET

Liite 1. Putkiston tehontarve, putkikoot ja häviöt

Liite 2. Painehäviö/pituus kaukolämpöjohdoissa

Liite 3. Kaukolämpöverkon linjat

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn taustat

Opinnäytetyön tarkoitus on Harjun oppimiskeskuksen kaukolämpöjärjestelmän energiatehokkuuden kehittäminen.

Opinnäytetyö on tehty Harjun oppimiskeskuksen toimeksiannosta. Harjun oppimiskeskus on yksityinen, toisen asteen oppilaitos. Opetusaloja ovat maatala-, hevos- ja puutarhatalous. Siellä voi valmistua luonto-ohjaajaksi, luonnonvaratuottajaksi, maaseutuyrittäjäksi, ratsastuksenohjaajaksi, hevostenhoitajaksi, kengittäjäksi, hevosvarusteiden valmistajaksi, puutarhuriksi, tai suorittaa ylioppilastutkinnon, joka tapahtuu yhteistyössä Virojoen lukion kanssa. Lisäksi siellä on erilaisia lyhytkursseja.

Oppilaita Harjussa on 225 ja henkilökuntaa 50. Oppilaitos omistaa noin 900 ha:n maatilan, joka käsittää metsää noin 650 ha ja peltoa 180 ha. Hevosia oppilaitoksella on 60.

Rakennuksia alueella on yli 70, joista 18 on suojeltu eri asteisilla suojeluluokituksilla. Harjun oppimiskeskus on historiallisesti ja kulttuurisesti merkittävä kohde.

Työssä analysoidaan Harjun kaukolämpöjärjestelmän nykytilannetta.

Kaukolämpöverkon nykytilannetta on työssä verrattu nykytekniikalla tehtyyn verkkoon.

Työssä tarkastellaan mahdollisuutta sijoittaa jokaiseen rakennukseen oma lämmönjakokeskus.

Työssä tarkastellaan hakkeen käyttöönoton kannattavuutta energiatuotannossa.

### 1.2 Työn rajaus

Opinnäytetyössä on tarkasteltu nykyisen kaukolämpöjärjestelmän energiatehokkuutta. Pääverkostosta rakennuksiin liitosten kautta kulkevan lämmönjaon aiheuttamaan lämmönhukan määrän perusteella keinoja, jolla

energiatehokkuutta voitaisiin parantaa, jos lämmönjohto kulkisi pääverkostosta suoraan rakennuksiin.

Harjun oppimiskeskuksen omasta metsästä saatavan puuenergian talteenoton eri vaiheita metsästä hakkeeksi ja lämpöenergiaksi. Työssä on mukana myös mahdollisen energialähteen muutoksen vaatimien investointien tarkastelua.

Rakennusten osalta on otettu esiin vain yleisimpiä tapoja energiatehokkuuden lisäämiseksi, koska oppimiskeskus käsittää yli 70 eri käyttötarkoituksessa olevaa rakennusta, joiden määrästä ja koosta johtuen riittäisi aihetta omaksi tutkimukseksi.

## 2 NYKYTILANNE

### 2.1 Lämmitys maakaasulla

Maakaasu koostuu pääasiassa metaanista (CH<sub>4</sub>) sekä muista hiilivedyistä. Maakaasu on fossiilisista polttoaineista vähiten ympäristöä kuormittava ja sen lämpöarvo on korkea. (Vattenfall 2016.) Maakaasua käytetään teollisuuden polttoaineena, energian- ja sähköntuotannossa, asuntojen lämmitykseen sekä liikenteen polttoaineena. Suomen energiankulutuksesta maakaasun osuus on noin 8 %. Suomessa käytetty maakaasu tuodaan pääasiassa Venäjältä Gasum Oy:n putkiverkostoa pitkin. (Gasum 2017.)

Maakaasu on luonnonkaasua, sen koostumus vaihtelee tuotantolähteestä riippuen. Energiakäytössä keskeisin polttotekninen ominaisuus on sen lämpöarvo. Kaasujen tiheys lasketaan normaalioloissa jakamalla molekyyliainepaino moolin tilavuudella. Maakaasun tiheys on noin puolet, kun sitä verrataan ilman tiheyteen. (Kaasuyhdistys 2014.) Maakaasun yleisiä ominaisuuksia on Kuvassa 1.

Harjun oppimiskeskuksen lämmön tuotannossa käytetään maakaasua. Vuodessa Harju kuluttaa noin 240 000 m<sup>3</sup> maakaasua. Harjulle maakaasu tulee Haminan Energia Oy:n putkia pitkin.

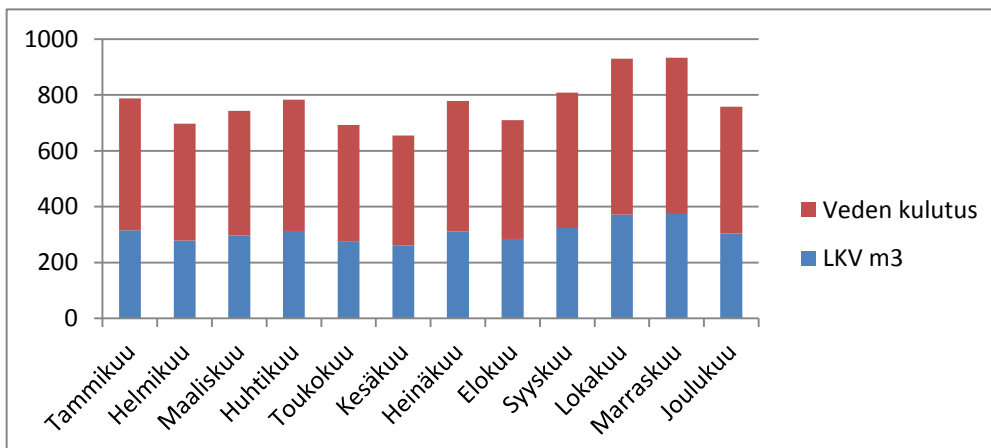
Ominaisuus	Maakaasu
Moolimassa (M)	16,0 kg/kmol
Moolitilavuus (Vm)	22,4 m <sup>3</sup> /kmol
Tiheys	0,72 kg/m <sup>3</sup> 162 °C Normaaliloltilassa, 0 °C, 1,01325 bar
Suhteellinen tiheys	0,56 (ilma = 1)
Sulamispiste	-182 °C
Kiehumispiste	-162 °C
Kriittinen lämpötila	-82 °C
Höyrystymislämpö	549 kJ/kg (lämpötilassa -162 °C)
Tiheys nestemäisenä	421 kg/m <sup>3</sup> (lämpötilassa -162 °C)
Tilavuussuhde	587 (tiheyksien suhde)
Kaasumaisen tuotteen kompressibiliteetti-kerroin	k = 1,0016 – (Pabs /476 bar) esim. 10 bar paineessa k = 0,98
Kastepiste (40 bar paineessa)	Talvella korkeintaan -5 °C Kesällä korkeintaan +0 °C
Ominaislämpö (0 °C)	Cp = 2,15 kJ/kg K Cv = 1,63 kJ/kg K
Moolilämpöjen suhde	Cp /Cv = 1,3
Lämpötilan muuttuminen painetta alennettaessa	$\Delta T/\Delta p = 0,4 \text{ °C/bar}$
Viskositeetti (20 °C)	Dynaaminen 11,0 x 10 <sup>-6</sup> kg/ms kinemaattinen 16,7 x 10 m <sup>2</sup> /s

Kuva 1. Maakaasun yleisiä ominaisuuksia. (VTT 2000.)

## 2.2 Veden kulutus

Suomessa per asukas vettä kuluu 90–270 litraa vuorokaudessa. Keskimäärin kuluu 155 litraa vuorokaudessa. Ympäristöministeriö on asettanut tavoitteeksi 100–120 litraa vuorokaudessa asukasta kohden. Lämpimän käyttöveden osuus energiankulutuksesta on noin viidennes koko energiankulutuksesta. (Motiva 2016b.)

Vettä Harjun oppimiskeskuksessa kuluu moneen erilaiseen käyttökohteeseen. Luokka- ja ruokailutilat sekä asuintilat, sen lisäksi hevosien ja puutarhatoiminnan yhteydessä on suurta kulutusta. Harjun LKV:n osuus on noin 9 % koko energiankulutuksesta. Alla olevassa taulukossa on eritelty vuoden 2016 veden kulutus kuukausitasolla. Lämmin käyttövesi on laskettu 40 % koko veden kulutuksesta Motivan laskentaohjeen mukaan.



Kuvat 2. Veden kulutus Harjun oppimiskeskuksessa vuoden ajalta. (Harjun oppimiskeskus 2014)



Taulukko 1. Veden kulutus Harjun oppimiskeskuksessa vuoden ajalta. (Harjun oppimiskeskus 2014)

Veden kulutus	m3	LKV m3	kWh
Tammikuu	787	315	18362
Helmi	697	279	16262
Maaliskuu	743	297	17336
Huhtikuu	783	313	18269
Toukokuu	692	277	16146
Kesäkuu	654	262	15259
Heinäkuu	778	311	18152
Elokuu	710	284	16558
Syyskuu	808	323	18853
Lokakuu	930	372	21699
Marraskuu	933	373	21769
Joulukuu	758	303	17690
Yhteensä	9273	3709	216355

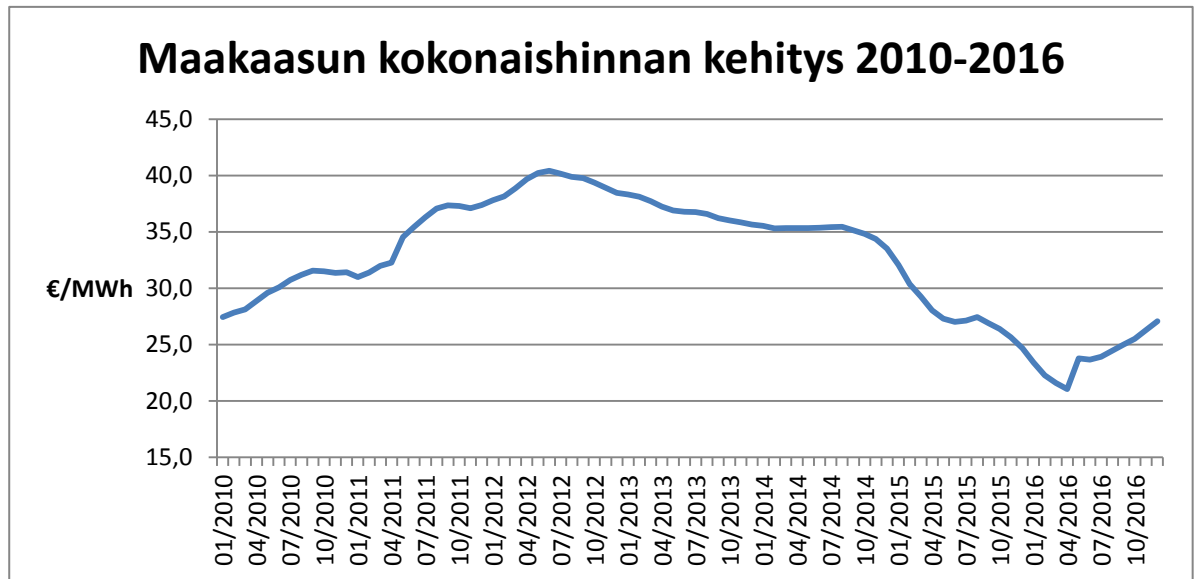
### 2.3 Maakaasun kustannukset

Maakaasun hinta koostuu kiinteästä perus-, teho- ja energiamaksusta.

Seuraavassa taulukossa on esitetty maakaasun kokonaishinnan kehitystä vuosilta 2010–2016. Kaava perustuu energiaviraston hintataulukoon. Tyyppiryhmä on valittu Harjun vuosikulutuksen ja huippukäyttöajan perusteella.

Huipputeho on laskettu kaavalla:

$$\text{Huippukäyttöaika} = \frac{\text{Vuosienergia}}{\text{huipputeho}}$$



Kuva 3. Maakaasun kokonaishinnan kehitys Harjun oppimiskeskuksen kulutuksen perusteella vuosilta 2010-2016 (Energiavirasto 2017.)

Hinnat on laskettu Haminan energian maakaasuhinnaston perusteella.

Kaavassa on kaasun 2 hinnalla Harjun vuosikustannukset.

Taulukko 2. Harjun oppimiskeskuksen maakaasun vuosikustannukset ja hinta. (Haminan energia 2017.)

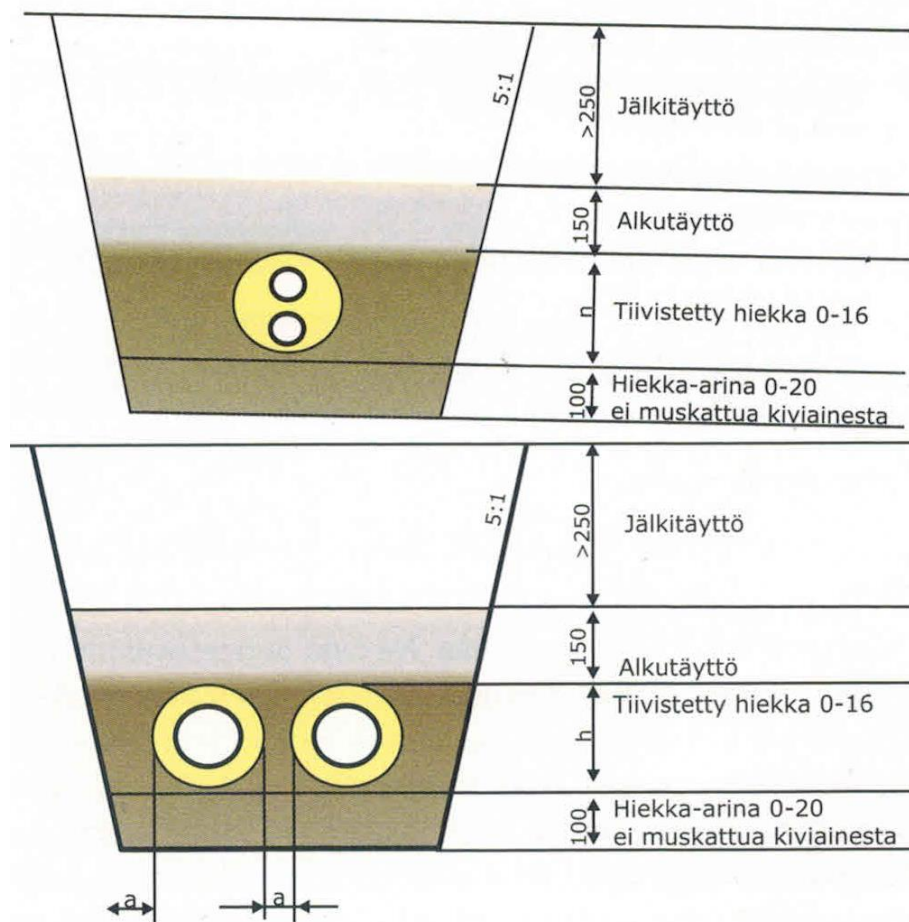
Maakaasun vuosikustannukset					
kiinteä	teho	energia	teho	energia	total
3280,08	18,72	47,08	23400	114195	140875
€/a	€/kW/a	stn/m <sup>3</sup>	€/a	€/a	€/a

## 2.4 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Suomen lämmitysenergiasta tuotettiin noin 46 % vuonna 2012 kaukolämmöllä. Yhteistuotantolaitoksissa ja erillisissä lämmityslaitoksissa tuotetaan kaukolämpöä. Yhteistuotantolaitoksilla sähköntuotannosta syntyvä hukkalämpö käytetään kaukolämmön tuotantoon. Polttoaineena käytetään pääasiassa maakaasua, kivihiiltä ja turvetta. Puun osuus on noussut merkittäväksi vuonna 2013. (Motiva 2017c.)

Tuotettu lämpö siirretään kohteisiin suljetussa kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Kuuma vesi johdetaan lämmönsiirtimeen, jossa se siirtyy rakennuksen piiriin. Lauhdevesi johdetaan takaisin lämpölaitokselle.

Harjussa rakennukset ja lämmin käyttövesi lämmitetään kaukolämmöllä. Lämpöenergian tuotantoon käytetään maakaasua. Harjussa on kaksi kattilaa, 1,25 ja 1 MW, joita voidaan suuren lämmönkulutuksen aikana käyttää yhdessä lämmöntuotantoon.



Kuva 4. Kiinnivaahdettu johto yksiputkisena ja alimmainen kaksiputkisena. (Kaukolämmön käsikirja 2006.)

## 2.5 Lämmönjakokeskukset

Lämmönjakokeskukset erottavat kaukolämpöverkon primääriverkon veden ja kohteiden sekundääriverkon veden. Lämpö siirtyy lämmönvaihtimen läpi primääriverkosta sekundääriverkkoon. Keskus jakaa automaation avulla lämmön käyttöveden lämmitykselle sekä rakennuksen lämmitykseen.

Harjussa on 18 lämmönjakokeskusta. Osa niistä on uusittu tarpeen vaatiessa. Harjussa on lämmönjakokeskuksia, jotka palvelevat kahta tai useampaa rakennusta. Lämmönhukan ja käytöstävällisyyden takia rakennuskohtaisia lämmönjakokeskuksia suositellaan. Luvussa 4. käsitellään asiaa tarkemmin.

## 2.6 Energiajakauma

Lämpöenergiaa Harjussa kuluu rakennusten lämmitykseen, lämpimään käyttöveteen ja kaukolämpöverkosta muodostuviin lämpöhävilöihin.

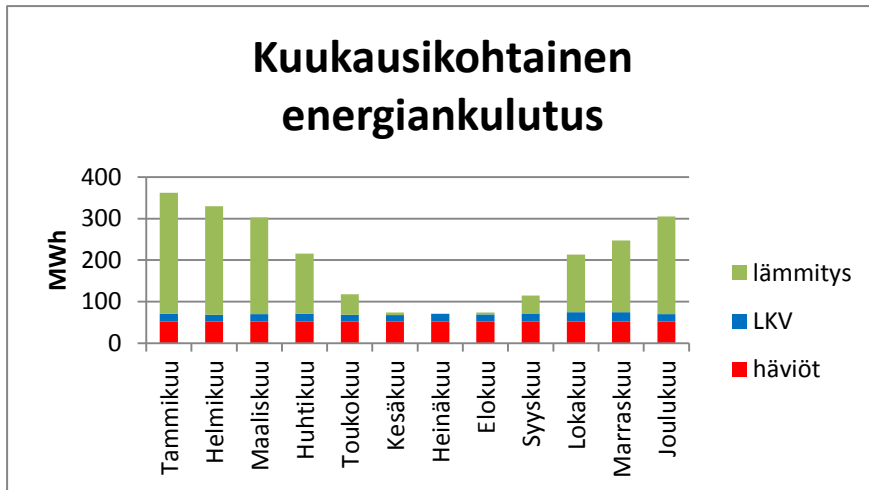
Sääkorjauksen tavoitteena on saada vuotuiset säämuutoksien aiheuttamat heittelyt pois analysointia varten. Täten luvut antavat paremman kuvan keskimääräisen vuoden arvoista.

Toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia normeerataan lämmöntarveluvuilla, jotta niitä voidaan käyttää vertailussa. Vertailu voidaan tehdä eri kunnissa sijaitseviin rakennuksiin tai eri kuukausia sekä vuosia toisiinsa. Tämä perustuu rakennuksen energiankulutuksen likimääräiseen verrannollisuuteen ulko- ja sisälämpötilan erotuksen kanssa. (Ilmatieteenlaitos 2017.)

Taulukko 3. Harjun oppimiskeskuksen energiajakauma vuosina 2011-2014 ja sääkorjattu kulutus. (Harjun oppimiskeskus 2014)

Energiankulutus [kWh]					
	2011	2012	2013	2014	sääkorjattu
Tammikuu	364530	343810	360490	390160	364748
Helmikuu	395740	375280	284180	360870	354018
Maaliskuu	321270	284850	353540	168600	282065
Huhtikuu	223310	221830	241710	200920	221943
Toukokuu	159160	137460	114560	128400	134895
Kesäkuu	81640	95340	55610	97390	82495
Heinäkuu	61460	60220	55460	66860	61000
Elokuu	82570	79290	69060	75620	76635
Syyskuu	120040	112480	116360	120080	117240
Lokakuu	182500	207430	196190	213260	199845
Marraskuu	225760	246190	224407		232119
Joulukuu	257160	364360	274140		298553
Yhteensä	2475140	2528540	2345707	1822160	2425555

Taulukossa esitetään Harjun kuukausittainen energiankulutus vuosina 2011–2014, sekä sääkorjattu kulutus. Harjun kasvihuoneiden käyttö lopetettiin vuonna 2011. Tämä poisti suuren lämpöenergian- ja veden kulutuskohteen. Tämä tarkoittaa myös, että aikaisempia kulutusarvoja ei voida verrata.



Kuva 5. Harjun oppimiskeskuksen lämmitys, KV ja häviöt eriteltynä vuoden ajalta.

Kaaviossa on eritelty kuukausikohtainen energiankulutus: lämmitykseen, lämpimään käyttöveteen ja häviöihin kuluviin osiin. Kaavio perustuu sääkorjattuihin kulutuslukuihin, jotta voidaan havainnoida keskiwertto vuotta. Häviöt muodostuvat etupäässä lämmön johtumisesta kaukolämpöputkesta maaperään.

Lämpimät johdot, eli lämpöjohtoputket ja lämmin käyttövesiputket, eristetään lämpöhäiriöiden estämiseksi. Kaukolämpöputket eristetään, jotta lämpöhäviöt saadaan pienennettyä. Jäähdytysvaaran takia on eristettävä kylmissä tiloissa olevat putket. Kondensation estämiseksi on tarpeellista eristää sisätiloissa olevat lauhdevesijohdot. Eristys auttaa kesäaikana pitämään veden lämpötilaa tasaisena. (Harju 2000.)

## 2.7 Suojellut rakennukset

Harjun oppimiskeskus on historiallisesti ja kulttuurisesti merkittävä ja monipuolinen kokonaisuus.

Taulukko 4. Harjun oppimiskeskuksen rakennuksia rakennus- ja korjausvuosien, pinta-alan, tilavuuden, lämmönjakolaitteiden jako uudet / vanhat ja tiedossa oleva käyttötarkoitus ja suojelukohde. (Harjun oppimiskeskus 2014.)

Rakennus	nro	rakennus vuosi	korjaus vuosi	asuntoja / käyttötarkoitus	suojellut rakennukset
Päärakennus	1	1816	1982	1	x
oppilasasuntola ja ruokala	2	1954	1972	3 kerrosta	x
Agronomientalo	3	1894	1987	4	x
as. rak. Metsäharju	4	1963		3	
Pollela	5	1897	1987	2, luokkarakennus	x
Puskala	6	1889	1980	oppilasasuntola	x
Jussila	7	1889	1980	oppilasasuntola	x
Kalastajantorppa	8	1963		oppilasasuntola	
Vanha luokka	9	1907	1983		x
as. rak. Putkinotko	10	1982	1962	2	x
Konehalli	11	1962	1980		
Puistotyöhalli	12	1968			
as. rak. Karjamaja	15	1889		5	x
as. rak Välitalo	16	1889	1970	3	x
Koulurakennus	17	1979			
as. rak Tikkaharju	19	1979		8 (2 taloa)	
as. rak. Ylätalo	22	1892	1970	3	x
Hevostalli	26	1893	1949		x
Autotalli + paja	35	1893	1952		x
Ratsutalli	66	1984			
Mattila I ja II	75	1988		oppilasasuntola	

Kymenlaakson Maakuntakaavassa on määritelty rakennuskulttuurin ja kulttuurimaisemien suojeluun ja säilymiseen suojelukohteet. Suojelu tapahtuu kunnan laatimassa asema- tai yleiskaavassa ja se perustuu lakiin: *Laki rakennusperinnön suojelemisesta (498/2010)*.

Harjun oppimiskeskuksen rakennuksista merkittävät rakennukset ovat suojelukohteita. Suojeltavat rakennukset – määritelmässä siten, että Harjun koulu-tila on S4-merkinnällä. Se tarkoittaa, että rakennettu alue suojellaan. Suojeltavien rakennusten ohella suojellaan muitakin rakennuksia. Alueella voidaan uudisrakentamista toteuttaa vain museoviraston hyväksymällä tavalla.

(Museovirasto 2017.)

Päärakennus ja luokkarakennus on merkitty suojeluluokituksella S1, mikä tarkoittaa, että rakennus on kokonaan suojeltu (Museovirasto 2017).

Agronomien asuinrakennus, Putkinotko, Välitalo ja Ylätalo on suojeltu suojeluluokituksella S2, mikä tarkoittaa, että rakennus suojellaan osittain.

Jokaisen suojelun kohteena olevan rakennuksen tiedoissa on maininta, miten tai mikä osa rakennuksesta on suojeltu sekä suojelun väline ja prosessin tila. (Museovirasto 2017.)



Kuva 6. Jalmari Peltosen piirtämä oppilas- ja ruokalarakennus 1930-luvulta. Rakennus edustaa sen ajan puhdasta funktionalismia. (Harjun oppimiskeskus 2017.)

Osa Harjun rakennuksista ulottuu varjeltavien rakennusten piiriin. Varjeltavia rakennuksia ei saa purkaa tai oleellisesti muuttaa ilman museovirastolta ja rakennushallitukselta pyydettävää lausuntoa. (Museovirasto 2017.)

### 3 VERTAILU NYKYTEKNIKALLA TEHTYYN VASTAAVAAN VERKKOON

#### 3.1 Rakennuksien tiedot lämmöntarpeen arviointiin

Harjun oppimiskeskuksen alue käsittää mittavan määrän erilaisia ja eri-ikäisiä rakennuksia. Osaan rakennuksista on vaativampaa tehdä rakenteisiin liittyviä energiatehokkuutta parantavia muutoksia, koska ne ovat suojelukohteita. Tätä

asiaa on käsitelty tarkemmin kohdassa 2.7. Jos rakennusten energiatehokkuutta halutaan kehittää, voi niissä toteuttaa tiiviysmittauksia. Ilmavuotojen paikantamiseen voi käyttää lämpökuvausta tai merkkisavumittausta. (Paloniitty 2012.)

Osassa rakennuksia on vanhat ja osassa uudet lämmönjakolaitteet. Laittevalmistajat suosittavat lämmönjakolaitteiden seuraamista ja uusimista tarvittaessa. Iän lisäksi lämmönjakolaitteessa saattaa ilmetä laitevikoja. Kaukolämpövesi on värjätty vihreäksi, jotta mahdollinen vuotokohta paljastuisi. (Fortum 2011.)

Laitteiston luotettavuuden katsotaan oleellisesti heikkenevän noin 20 vuoden iässä, jolloin käyttö- ja ylläpitokustannukset kasvavat (Fortum 2011).

Laitteiden uusiminen parantaa säästöjen lisäksi toimintavarmuutta ja luotettavuutta. Suurinta säästöpotentiaalia tavoiteltaessa nykyaikainen säätilalaitte ja kiertovesipumppu sekä lämmitysverkoston tasapainotus antavat suurimman säästöpotentiaalin. (Fortum 2011.)

### 3.2 Lämmöntarpeen arviointi

Lämmöntarpeen määrittää kaksi tekijää: teho ja energia. Teho käsittää asiakkaan hetkellisen sisäilman ja käyttöveden lämpötilan tarpeen. Energia on tehon ylläpito ajanjaksona kulutustarpeen mukaan.

Asuinkiinteistön energiasta huoneiston lämmitykseen kuluu 40 %, ilmanvaihtoon 35 % ja käyttöveteen 25 %.

Lämpöhäviöitä syntyy:

1. Johtumalla seinien, ikkunoiden, katon ja lattian läpi
2. ilmanvaihdon mukana sekä
3. vuodoissa.

Lämmöllä on kolme siirtymistapaa: johtuminen, konvektio ja säteily.

Johtuminen tarvitsee väliaineen. Kiinteässä aineessa sekä levossa olevassa kaasussa ja nesteessä molekyylien liikkeen ansiosta tapahtuu johtumista. (Mäkelä 1999.)



Konvektiossa lämpö siirtyy liikkuvassa väliaineessa. Eristeessä konvektio tapahtuu ilman liikkeen takia. Tuuli tai korkeusero voi aiheuttaa sen. Kun eriste tehdään materiaalista, joka sisältää huonosti lämpöjohtavaa kaasua, saadaan konvektio pieneksi. (Mäkelä 1999.)

Säteily on sähkömagneettista aaltoliikettä. Säteilyä tapahtuu väliaineesta riippumatta. Säteilyn osuessa kappaleen pintaan osa imeytyy, osa heijastuu ja osa voi läpäistä kappaleen. Kappaleeseen imeytyvän säteilyn, eli lämmön, määrä riippuu sen absorptiokyvystä. (Mäkelä 1999.)

Lämpö siirtyy aina lämpimästä kylmään. Lämpöä siirtyy aina kun kappaleiden välillä on lämpötilaero. (Mäkelä 1999.)

Harjun oppimiskeskuksen rakennuksien lämmöntarpeen arvioinnissa on käytetty  $20 \text{ W/m}^3$ . Tämä on tyypillinen arvo melko pienikokoisissa ja vanhoissa rakennuksissa.

Taulukko 5. Harjun kaukolämpöverkon rakennusten tilavuudet ja tehontarpeet eriteltynä. (Harjun oppimiskeskus 2014.)

Selite	Päätteen tilavuus [m <sup>3</sup> ]	tehontarve [W]
Puutarhan huoltorak	1908	38160
Mattila I ja II	2460	49200
Päärakennus	2342	46840
Vanha luokka	1185	23700
Puskala	446	8920
Jussila	565	11300
Asuntola nro3	1231	24620
Karjamaja	3360	67200
Pollela	882	17640
KouluRak nro17	8200	164000
Tyttölä	2250	45000
Puistotyöhalli	1485	29700
Tikkaharju	1800	36000
Rak nro2	6381	127620
Kalastajatorppa	679	13580
Metsäharju	887	17740
Putkinotko	640	12800
Ylätalo	800	16000
Välitalo	900	18000
Ratsutalli	3782	75640
Hevostalli	2390	47800
Autotalli+paja	495	9900
Konehalli	5178	103560
vanha Maneesi	11388	227760
Konevarasto	2444	48880
Yhteensä	64078	1281560

### 3.3 Putkien mitoitus

Putket mitoitetaan vesivirran perusteella. Vesivirta taas riippuu putkessa siirtyvästä lämpötehosta. Lämmitettävät rakennukset määräävät lämpötehon tarpeen. Tarkoitus on saada veden jäähtyminen niin suureksi kuin mahdollista. Lämpölaitos ei voi tähän vaikuttaa, joten putkidimensioiden mitoitus ja vesivirta vaikuttavat jäähtymiseen.

Veden tilavuus pienenee jäähtymisen ansiosta, painehäviön katsotaan olevan kuitenkin samansuuruinen myös paluuputkessa kuin menoputkessa.

(Koskelainen ym 2006, 155.)

Painehäviömitoitussuhteen mukaan on katujohdoissa 100 Pa/m ja talojohdoissa 200 Pa/m. Putkiosuudet, joiden massavirta on yli 1 m<sup>3</sup>/s , on mitoitettu 100 Pa/m ja alle 1 m<sup>3</sup>/s 200 Pa/m. Painehäviön mitoittamiseen on käytetty painehäviö/pituus kaukolämpöjohdoissa-kaaviota, liite 2. Putkien osuuksien kokonaispainehäviö on saatu kertomalla mitoitettu painehäviö putkiosuuden pituudella.

Seuraavassa taulukossa on laskettu putkiosuuksille massavirrat ja mitoitettu putket. Putkikokojen avulla on selvitetty ja laskettu painehäviö. Liittessä 1 on koko verkoston osalta laskettu samat tiedot. Liite 3 on havainnollistava kartta putkiosuuksista.

Taulukko 6. Putkiosuuksien mitoitus laskenta. Pituus, tilavuus, tehontarve, massavirta, putkikoko, häviö ja häviöteho eriteltyinä o-osuudelta. (Harjun oppimiskeskus 2014.)

Putkiosuus	Pituus [m]	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Tehontarve [W]	Massavirta [m <sup>3</sup> /s]	Putkikoko	Häviö [Pa/m]	Painehäviö [Pa]
o-1	14	63988	1279760	6,09	ns 100	42	588
o-2	67	60703	1214060	5,78	ns 100	38	2546
oa-1	27	2460	49200	0,23	ns 20	225	6075
oa-2	12	1230	24600	0,12	ns 15	230	2760
o-3	36	58243	1164860	5,55	ns 80	140	5040

### 3.4 Pumppu

Nesteiden siirtämiseen käytetään valtaosin keskipakopumppuja. Sen toiminta perustuu keskipakovoimaan. Vesi syötetään keskeltä sisään ja pyörimisliikkeen ansiosta se sinkoutuu pumpusta verkkoon.

Pumpun pitää tuottaa tarvittava paine, jotta vesi saadaan kiertämään verkossa. Tarvittava paine koostuu verkoston putkien painehäviöistä sekä paine-eron minimiarvosta, eli 0,6 Baria. Tällä saadaan kaukolämpövesi kiertämään kulutuskohteen lämmönsiirtimen läpi.

Taulukko 7. Kaukolämpöverkon lasketut painehäviöt eriteltyinä linjoihin.

Suurin painehäviö		
a-linjan lopussa	14843	Pa
b-linjan lopussa	93175	Pa
c-linjan lopussa	50697	Pa
b-linjan lopussa on suurin painehäviö		

## 4 ERILLISET LÄMMÖNJAKOKESKUKSET RAKENNUKSIIN

### 4.1 Lämmön kulku rakennuksiin

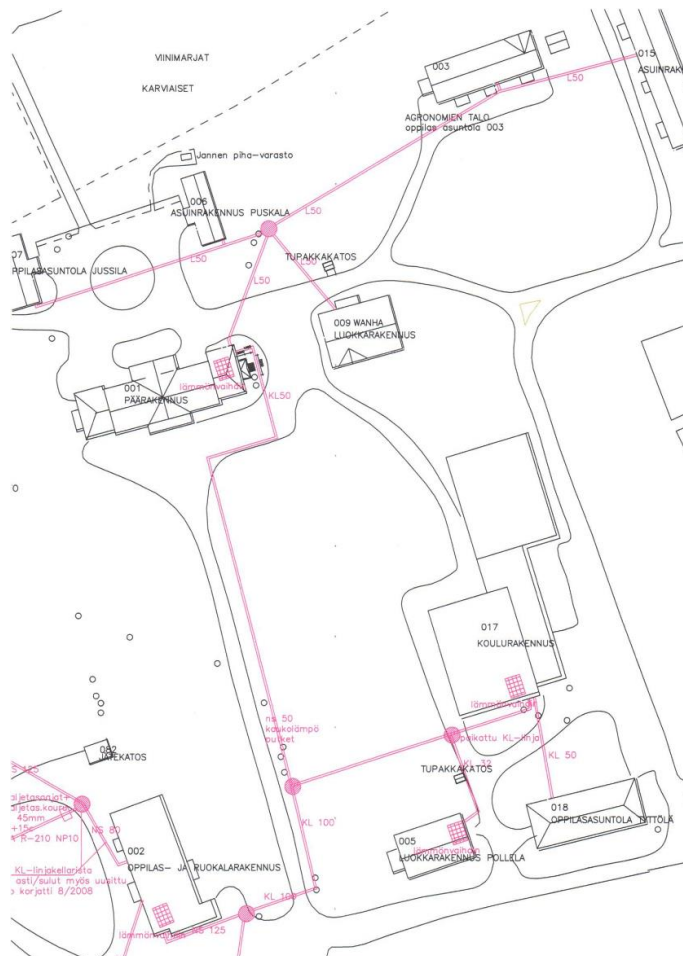
Osa Harjun lämmönjakokeskuksista palvelee useita rakennuksia. Lämmönjakokeskukselta lähtee erillinen putki, joka on liitetty toisen rakennuksen lämmitysjärjestelmään.

Tikkaharjun kaksi asuinrakennusta on yhdessä lämmönjakokeskuksessa.

Oppilasasuntola Tyttölä on yhdistetty koulurakennuksen lämmönjakokeskukseen.

Päärakennuksen lämmönjakokeskus jakaa lämmön: oppilasasuntola Jussilaan, asuinrakennus Puskalaan, vanhaan luokkarakennukseen, Agronomien taloon sekä asuinrakennus karjamajaan.

Asuinrakennus Metsäharju on yhdistetty oppilasasuntola Kalastajatorpan lämmönjakokeskukseen.



Kuva 7. Harjun oppimiskeskuksen lämmönjakoverkosto (kuvassa osa lämmönjakoverkостosta) (Harjun oppimiskeskus 2014)

## 4.2 Lämmönhukka

Pienessä kaukolämpöverkossa, jossa putkikoot ovat keskimäärin DN50, lämpöhäviöt ovat noin 10–20 %. Suurissa verkoissa, keskimäärin putkikoolla DN150, lämpöhäviöt ovat noin 4–10 %. Vaippapinta-alan suhde siirtokykyyn ollessa suuri lämpöhäviö kasvaa.

Lämpö johtuu suoraan verrannollisesti lämpötilaeron mukaan. Hukkalämpöä syntyy lämmön johtuessa johdosta maaperään.

Nykyisin eristeenä käytetään pääasiassa polyuretaania, vanhemmissa putkissa käytettiin usein mineraalivillaa.

### 4.3 Parannusehdotus: lämmönjakokeskus joka rakennukseen

Talokohtaisilla lämmönjakokeskuksilla voidaan mahdollistaa talokohtainen lämmönsiirto, säätö ja säästö. Viive poistuu myös, kun veden ei tarvitse virrata talojen välisien putkien läpi. Tarvittava vesivirta pienenee ja pumppauskustannukset vähenevät. Sekundääriputkiston poistuessa päästään eroon myös korroosiota aiheuttavista tekijöistä. Tämä lisää primääriputkiston ja järjestelmän käyttöikää, koska primääriverkosta saadaan suljettu järjestelmä. (VTT 2016.)

Vanhoissa taloissa on pattereihin lisättävä termostaattiventtiilit, jotta talokohtainen kaukolämmönjakelu ja kierroslukusäätöinen talopumppu toimivat. (VTT 2016.)

Kahdeksaan rakennukseen tarvitaan uudet lämmönjakokeskukset.

#### 4.3.1 Parannusehdotuksen kannattavuus

Tutkimuskeskus VTT ja Nuorkivi Consulting tutkivat talokohtaisten suomalaisten lämmönjakokeskusten soveltuvuutta Kiinan olosuhteissa. Kiinassa on käytössä perinteisesti ryhmäkaukolämpökeskukset. Tutkimuksen tuloksena energiakuluja arvioitiin säästettävän 10–20 %.

Parannusehdotus vaatii investointeja:

- Putkiston jatko
- uudet lämmönjakokeskukset

Putkiston bruttohinta on 36 €/m, jonka lisäksi putkiston asennus ja liitäntäkustannukset.

## 5 HAKKEEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUS

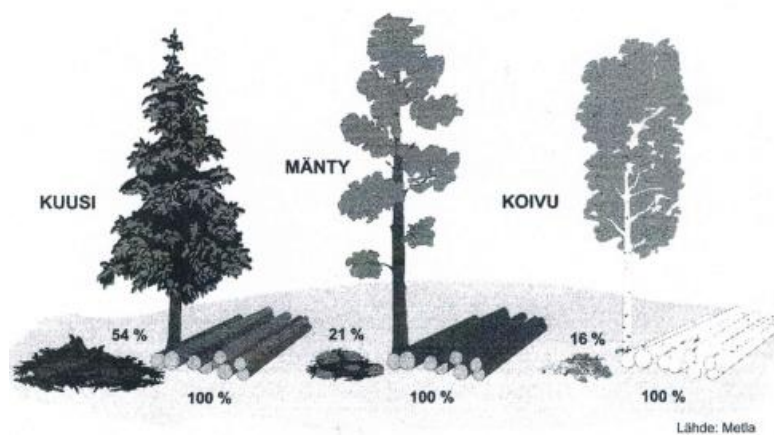
### 5.1 Bioenergia

Kasvit käyttävät auringon energiaa rakentaakseen hiilidioksidista ja vedestä hiilihydraatteja, ja imevät ravintoaineita, josta rakentavat proteiineja, entsyymejä, vitamiineja, kuituja ja vahvoina rakenteita. (Motiva. 2017a.)

Bioenergiaa ovat:

- puuperäiset polttoaineet
- peltobiomassat
- biokaasu
- kierrätys- ja jätepolttoaineiden biohajoava osa

Bioenergianlähteet ovat hiilidioksidineutraaleja, eli niiden palamisesta syntyvät hiilidioksidi päästöt tasautuvat luonnon kasvun kanssa. Bioenergia on verrattavissa aurinko, tuuli ja vesienenergiaan, koska se ei edistä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvua. (Motiva 2017a.)



Kuva 8. Uudiskypsän puuston biomassakertymät (latvusmassa/runkomassa %) (Hakkila 1992.)

## 5.2 Metsäenergian soveltuvuus Harjun oppimiskeskus Oy:n lämmöntuotannossa

Harjun Oppimiskeskus omistaa noin 650 hehtaaria metsää, jonka puista, risuista ja oksista se voi tuottaa bioenergiaa eri muodoissa.

Metsän vuosikasvu on noin 2600 m<sup>3</sup>, josta hakkeen tuotantoon on laskettu käytettäväksi määrä, joka tuottaa 1212 MWh energiaa.

Tuolloin Harjun oman metsän hakkuutähteet voidaan hyödyntää energiakäyttöön.

Noin puolet vuosikasvusta harvennetusta puusta on tarkoitus jalostaa polttopuuksi ja myydä eteenpäin.

Hakkeen poltosta muodostuneen tuhkan Harjun oppimiskeskus voi palauttaa metsään lannoitteeksi. Puun tuhka sisältää typpeä lukuun ottamatta kaikki puun tarvitsemat ravinteet ja sopii siten metsälannoitteeksi. Tuolloin ravinteet

palautuvat takaisin metsään ja edesauttavat metsän kasvua. Lisäksi se nopeuttaa puuston järeytymistä ja arvonkasvua. (Puhakka ym. 2001.)

Harjun oppimiskeskus sijaitsee Virolahden kunnassa. Virolahden kunnan arvoihin kuuluu kestävä kehitys, jossa

*Kaikkea toimintaa arvioitaessa ja kehitettäessä otetaan huomioon kestävä taloudenpidon rinnalla myös ekologisen ja sosiaalisen kestävyuden näkökulmat. Kestävän kehityksen periaatteiden huomioimisessa olennaista on myös historiallisen ja kulttuurisen perinnön vaaliminen että monikulttuurisuuden kunnioittaminen. (Virolahti 2017.)*

Puuaineksen tuottaminen energiantuotantoon Harjun oppimiskeskuksen omasta metsästä toteuttaa kunnan arvoja.

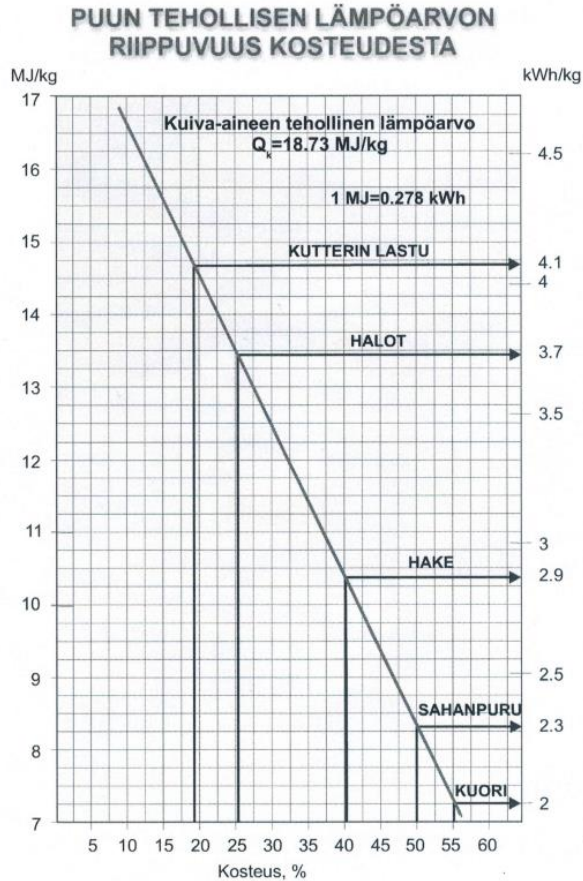
Euroopan unionin RES-direktiivin tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus 20 % energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Suomen tavoite on saada energian loppukulutuksesta 38 % uusiutuvilla energialähteillä. Puuenergia on yksi direktiivin uusiutuvista energialähteistä. (Motiva 2016a.)

### 5.3 Puu polttoaineena

Puun tärkeimmät ominaisuudet ovat lämpöarvo ja kosteus sekä käsittelyyn vaikuttavat tekijät kuten tiheys ja palakoko. Kosteus vaikuttaa teholliseen lämpöarvoon, koska veden höyrystäminen vaatii energiaa. Alhainen kosteus lisää laitoksen energiahyötyä. (Puhakka ym. 2001.)

Hakepalan tavoitepituus on 30–40 mm. Hakkeen syöttöä kattilaan vaikeuttaa sen joukossa oleva hienoaines ja tikut. Kostean kokopuu- ja rankahakkeen irtotiheys on 250–350 kg/i-m<sup>3</sup>. Kutterilastun irtotiheys on 80–120 kg/i-m<sup>3</sup>. (Puhakka ym. 2001.)

Puun palaessa on huomioitava savukaasussa olevan hiilen ja vedyn määrä. Lämpöarvo on korkea kun niitä on runsaasti. Hapen ja typen runsaus merkitsee alempaa lämpöarvoa. Puun poltossa rikki- ja typpipäästöt jäävät alhaiseksi. Puun lahotessa vapautuu vastaava määrä hiilidioksidia kuin puun poltossa. (Puhakka ym. 2001.)



Kuva 9. Puupolttoaineen tehollisen lämpöarvon (MJ/kg tai kWh/kg) vertailu kosteuden perusteella. Kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona on käytetty 18,73 MJ/kg. (VTT 2000.)

#### 5.4 Hake lämmönlähteenä

Energiakäytössä tärkeimmät ominaisuudet ovat kosteus, palakoko, tilavuuspaino, hienoaineksen osuus ja viherainespitoisuus. Kosteus vaikuttaa hakkeen lämpöarvoon ja polttoaineesta saatavaan energiahyötyyn. Osa kuiva-aineen sisältämästä energiasta menee kosteuden höyrytämiseen.

Tavallisesti hakkeen vesipitoisuus on 20–50 %. (Bioenergianeuvonja 2017.)



Ominaisuus	Metsätähde- hake	Kokopuu- hake	Rankahake	Kantohake	Havupuun kuori	Koivun kuori	Pilke
Kosteus, % (hakkeet kaatotuoreena)	50-60	45-55	40-55	30-50	50-65	45-55	20-25
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20	21-23	18,5-19,0
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	6-9	7-10	7-11	8-13	5-9	8-11	13,4-14,5
Intoiheys saapumis- tilassa, kg/l-m <sup>3</sup>	250-400	250-350	250-350	200-300	250-350	300-400	240-320
Energiaheys, MWh/l-m <sup>3</sup>	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-1,0	0,5-0,7	0,6-0,8	1,35-1,6 MWh/l-m <sup>3</sup>
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, %	1-3	1-2	0,5-2	1-3	1-3	1-3	1,2
Hilipitoisuus kuiva-aineessa C, %	48-52	48-52	48-52	48-52	48-52	48-52	48-52
Vetyttöisyys kuiva-aineessa (H), %	6-6,2	5,4-6	5,4-6	5,4-6	5,7-5,9	6,2-6,8	6,0-6,5
Rikkittöisyys kuiva-aineessa (S), %	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Typpittöisyys kuiva-aineessa (N), %	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,5-0,8	0,3-0,5
Ominaisuus	Puutähde- hake	Sahahake	Sahanpuru	Kutterin- lastu	Hiontapöytä	Puupelletti	Vaneri- tähde
Kosteus, p-%	10-50	45-60	45-60	5-15	5-15	8-10	5-15
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg	18,5-20	18,5-20	19-19,2	19-19,2	19-19,2	19,0-19,2	19-19,2
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	6-15	6-10	6-10	16-18	16-18	16,8	16-18
Intoiheys saapumis- tilassa, kg/l-m <sup>3</sup>	150-300	250-350	250-350	80-120	100-150	500-650	200-300
Energiaheys, MWh/l-m <sup>3</sup>	0,7-0,9	0,5-0,8	0,45-0,7	0,45-0,55	0,5-0,65	2,9-3,4	0,9-1,1
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, %	0,4-1	0,5-2	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,8	0,4-0,5	0,4-0,8
Hilipitoisuus kuiva-aineessa C, %	48-52	48-52	48-52	48-52	48-52	48-52	48-52
Vetyttöisyys kuiva-aineessa (H), %	5,4-6,4	5,4-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4
Rikkittöisyys kuiva-aineessa (S), %	< 0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Typpittöisyys kuiva-aineessa (N), %	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5

Kuva 10. Eri puupolttoaineiden ominaisuuksien vertailu. (VTT 2000.)

#### 5.4.1 Kokopuu- tai rankahake

Hake, joka on tehty karsitusta runkopuusta tai puun koko maanpäällisestä biomassasta, eli runkopuu, oksat ja neulaset. Sen lämpöarvo on tyypillisesti 7–11 GJ/t ja kosteus on 40–55 %. (Tilastokeskus 2010.)

#### 5.4.2 Metsätähdehake tai -murske

Hake tai murska, joka on tehty oksista ja latvuksista viheraineineen sekä risutukeista ja kannoista. Sen lämpöarvo on tyypillisesti 6–11 GJ/t ja kosteus on 40–60 %. (Tilastokeskus 2010.)

## 5.5 Energiapuun korjuuketju

Energiakäyttöön tarkoitettua, suoraan metsästä valmistettua, haketta kutsutaan metsähakkeeksi. Se on koneellisesti hakattua puuta, jota voidaan käyttää energiantuotannossa puulämmityskattiloissa tai aluelämpökeskuksissa. (Puulakeus 2010.)

Tutkimuskohteen metsässä on eri-ikäistä puuta.

Korjuuketjun vaiheet

1. metsähakkuut
2. ensiharvennus
3. metsänhoidolliset toimenpiteet
4. metsänraivaus

Energiapuuharvennus voidaan toteuttaa metsurityönä tai koneellisesti.

Koneellinen korjuu on sen tehokkuuden takia suositeltua. Koneellisen korjuun kannattavuudessa on otettava huomioon, että maaston täytyy kannattaa koneita. Lisäksi puuston on oltava tarpeeksi järeää ja kertymän oltava riittävää. (Puulakeus 2010.)

Puun tilavuudesta riippuen koneellinen korjuu ei ole enää kannattavaa, kun tilavuus on liian pieni. (Puulakeus 2010.)

Metsurityötä voi tehdä siirtokaatona, jossa kaatokahvan avulla vapaana oleva käsi siirtää puun suoraan kourakasaan. Ammattitaitoinen metsuri voi tehdä 20 m<sup>3</sup> päivässä, kun hakkuukoneella saadaan 20–40 m<sup>3</sup>. (Puulakeus 2010.)



Kuva 11. Kokopuuhakkeen korjuu siirtelykaatomenetelmällä ja kokopuuhakkeen varastokasa (VTT 2000.)

Kohteessa on tarkoitus toteuttaa niin kutsuttu integrointi korjuu, eli energiapuun korjataan erilleen myyntitarkoitukseen tulevasta puusta. Tämä menetelmä on perinteistä energiapuun ensiharvennusta taloudellisempaa ja soveltuu varsinkin mänty- ja koivuvaltaisiin metsiin. (Puulakeus 2010.)

Korjuun tuomat ympäristövaikutukset on huomioitava. Tutkimus tuloksia energiapuunkorjuusta aiheutuvista pitkäaikaisista vaikutuksista maaperään ei vielä ole. Riskejä ovat: ravinteiden poistuminen, puuston terveysriskit, kuten juurikäpää, ytimennävertäjä sekä varastoinnista aiheutuvat mahdolliset hyönteistuhot. (Puulakeus 2010.)

Riskejä voidaan pienentää energiapuun korjuun ajoittamisella.

Juurikäpätartunnan suurin riski on nila-aikana tai syyskesällä tehdyissä korjuissa. Turvallisin aika energiapuuharvennukseen lehtipuu- ja mäntyvaltaisissa kohteissa on kesä-elokuussa. (Puulakeus 2010.)

Ravinteita voidaan korvata hakkeen poltossa muodostuvalla puutuhkalla.

Puutuhka sopii hyvin metsälannoitteeksi. Puutuhkassa ei ole typpeä, mutta se voidaan lisätä yhdistämällä puutuhkaan urealannoitetta. (Puulakeus 2010.)



Kuva 12. Tienvarsihaketuksen perustuva hakkuutähteiden korjausmenetelmä. Hakkeen kuljetus lämpö- ja voimalaitoksille (VTT 2000.)

## 5.6 Haketus

Haketus menetelmiä ovat: tienvarsihaketus, palstahaketus, terminaalihaketus ja käyttöpaikkahaketus. Menetelmän valinta perustuu tuotantomäärään, haketuspaikkaan sekä hakettavaan materiaaliin.

Tienvarsihaketuksessa puu kuivatetaan metsässä ja varastopaikalla. Varastotilaa on oltava runsaasti. Toimintahäiriö organisaatioketjussa voi aiheuttaa suuria viivästyksiä. Välivaraston suuruus vaikuttaa haketuksen edullisuuteen. Tuottavuus on 40–80 i-m<sup>3</sup>/tehotunti. Haketus suoritetaan käytännössä traktoriin sovitettavalla tai kuorma- i-m<sup>3</sup>/tehotunti auton alustalle rakennetulla hakkurilla. (Puhakka ym. 2001.)

Palstahaketuksessa palstalle hakkuun yhteydessä tehdyt puukasat haketetaan suoraan konttiin. Metsäkuljetus suoritetaan samalla koneella kuin haketuskin. Soveltuu parhaiten hakkuutähteiden haketukseen. Etuna palstahaketuksella on se, että yhdellä laitteella tehdään monet työvaiheet. Ei vaadi varastotilaa hakepuulle. Palstahakkuri soveltuu parhaimmin suurille leimikoille, kun siirtokustannukset ovat pienet. Tuottavuus on 15–20 i-m<sup>3</sup>/tehotunti 200 metrin matkalla. Ei sovi pehmeille, kivisille tai kalteville maastoille. (Puhakka ym. 2001.)

Terminaalihaketuksessa puu, yleensä hakkuutähde, kuljetetaan suoraan palstalta tai välivarastolta terminaaliin. Puu kuivatetaan seuraavan kesän ylitse varastoaumassa. Kuiva puu haketetaan terminaalissa hakkureilla tai murskaimella ja valmis hake kuljetetaan käyttökohteeseen. (Puhakka ym. 2001.)

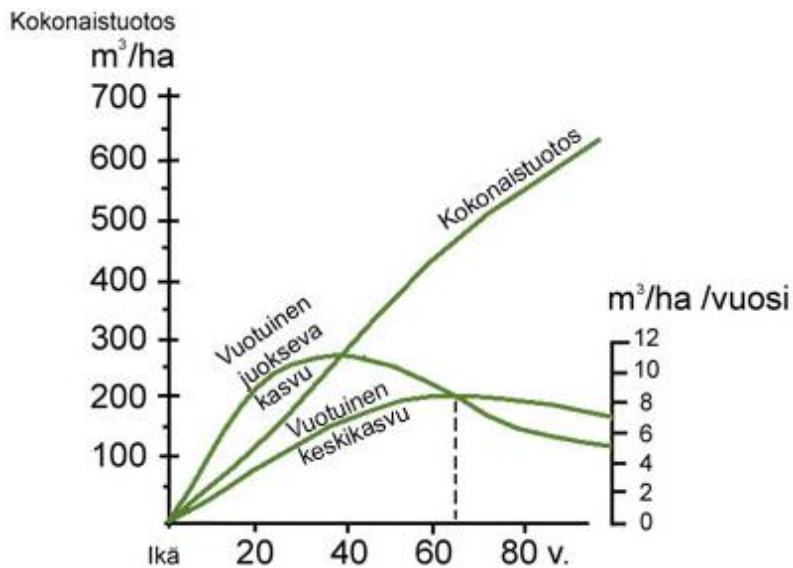
Käyttöpaikkahaketus perustuu kuormaa tiivistäviin kuljetusautoihin tai risutukkimenetelmän käyttöön. Käyttöpaikalla olevalla kiinteällä, erittäin järeällä, hakkurilla tai murskaimella tehdään hake. Soveltuu parhaiten suuria puumääriä käsitteleville kohteille. (Puhakka ym. 2001.)

## 5.7 Hakkeen varastointi

Hyvällä varastoinnilla varmistetaan hakkeen kuivuminen. Varastointipaikan valintaan ja kasan muodostukseen pitää kiinnittää huomiota. Tutkimukset osoittavat, että suurimmat kuivumiseen vaikuttavat tekijät ovat: varastopaikka aluspuineen, kasan peittäminen ja välipuut. (Puhakka ym. 2001.)

## 5.8 Lämpökeskuksen mitoitus

Harjun oppimiskeskuksella on noin 650 hehtaaria metsää. Metsän vuosikasvu on keskimäärin 4 kuutiota hehtaaria kohden vuodessa. Yhdestä kiintokuutiosta puuta saadaan 2,5 irtokuutiota haketta. Yhdellä kuutiolla haketta voidaan tuottaa 1 MWh lämpöenergiaa. Keskimääräinen kosteuspitoisuus on otettu laskuissa huomioon 0,8 kertoimella.

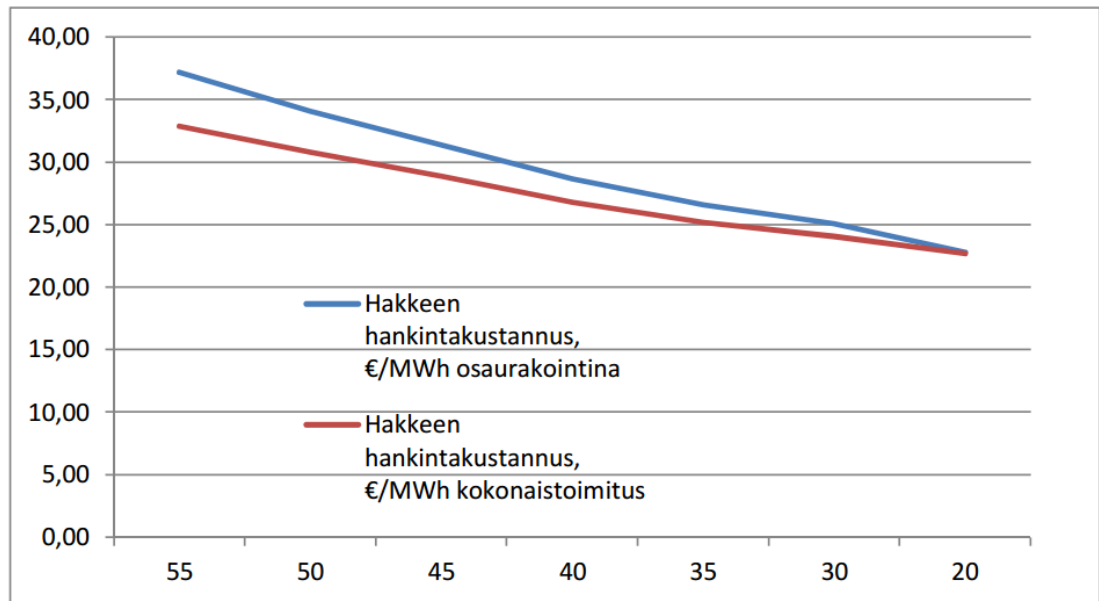


Kuva 13. Metsän vuosikasvun ja kokonaistuotoksen metsän määrä ikään nähden. (Puuproffa 2017.)

Vuosikasvu on noin 2600 m<sup>3</sup>. Haketta tarvitaan noin 606 m<sup>3</sup>, jotta sillä voidaan tuottaa puolet, noin 1212 MWh, energiankulutuksesta. Hakkeen tuotannon kulut:

- Hakkuu 14 €/m<sup>3</sup>
- kuljetus 4,19 €/m<sup>3</sup>
- haketus 5 €/m<sup>3</sup>

Hakkeen tuotannon kokonaiskuluksi tulee noin 35 000 €/a.



Kuva 14. Metsähakkeen hankintakustannukset osaurakointi- ja kokonaistoimitusmalleissa lämpölaitoksella, jonka vuotuinen lämmöntuotanto on 1500 MWh. (VTT 2000.)

## 5.9 Investoinnit

Harjun oppimiskeskuksessa on tarkoitus korvata nykyinen energialähde, maakaasu, osittain Harjun omasta metsästä tuotettavalla hakkeella. Hake tuotetaan pääasiassa hakkuutähteistä. Kokopuu korjataan ja tuotetaan haloiksi myyntiä varten.

Vuosikasvusta noin 1994 m<sup>3</sup> saadaan raakapuun myyntiin. Jalostettuna raakapuusta voidaan tuottaa noin 1196 m<sup>3</sup> sekahalkoa. Myyntihinnalla 43 €/m<sup>3</sup>, josta vähennetään tuotantokustannukset 8 €/m<sup>3</sup>, saadaan tuotoksi 41 860 €/a. (Motti 2016.)

Harjasta tuotettavan hakkeen tuotantokustannuksiin vaikuttavat; hakkuu, metsäkuljetus, haketus, kuljetus ja varastointi. Erityisesti hakkuun kustannuksiin vaikuttaa poistettavan puun järeys ja korjattavan puun määrä. Toiseksi suurin kustannuserä on metsäkuljetus, jossa osa tapahtuu koneellisen korjuun osalta metsässä ja kuljetuksesta lämpökeskukseen. Korjuussa voi käyttää maataloustraktoria varustettuna metsäperävaunulla tai metsätraktoria.

Varastointikustannuksiin vaikuttaa se, pilkotaanko hake kosteana ja kuivataan varastossa, vai annetaanko rankojen kuivua luonnossa suojan alla ja seuraavana vuonna pilkotaan varastoon. Kesän yli varastoinnilla katsotaan kaatotuoreen pienpuun kosteuden laskevan 55 %:sta 35 %:n tasolle.

Haketus voi tapahtua maataloustraktorista voimansa saavalla laikka- tai rumpuhakkurikalustolla. Rumpuhakkuri on laikkahakkuria moniruokaisempi ja sietää epäpuhtauksia paremmin.

Hakkeen tuotanto, metsäenergian korjuu, kuljetus, haketus, varastointi ja hakkeen poltto vaativat huomattavia investointeja.

Taulukko 8. Hakkeen tuotantoon vaadittavat investoinnit eritelty hintoineen.

Hankkijan bruttohinnoin	Hinta [€]
Maataloustraktori, jossa peräkärri, karsiva ja kuoriva koura.	149 000
Hakkuri	61 000
1 MW hakekattila	140 000
Halkomakoneet	1 000
Investoinnit yhteensä	351 000

Maakaasun vuosikulut, kun puolet lämmöntuotannosta on hakkeella, ovat noin 83 780 €. Maakaasun nykyiset vuosikulut ovat noin 140 150 €. Hakkeen vuosikulut ovat noin 35 000 €. Raakapuun myynnistä tuloina voidaan saada 41 860 €.

Taulukko 9. Investointien takaisinmaksuajan laskenta ja sen tekijät eriteltynä.

Takaisinmaksuaika		
Maakaasu kulut, vanha	140150	€/a
Maakaasu kulut, uusi	83780	€/a
Hake kulut	35000	€/a
Raakapuun myynti	41 860	€/a
Investoinnit, pääomakuluilla	358020	€
Säästö	63 230	€/a
Takaisinmaksuaika	5,66	a

Investointien takaisinmaksuajaksi tulee noin 6 vuotta. Osa investointikohteista, kuten traktoria ja peräkärriä, voidaan käyttää myös muussa toiminnassa, joka lyhentää takaisinmaksuaikaa hieman.

## 5.10 Investointituet

Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää energiatukea uusiutuvan energian käyttöä lisääviin ja energiaa säästäviin ja tehostaviin hankkeisiin. Tuki myönnetään

tapauskohtaisesti ja harkinnanvaraisesti. Tukien pääpaino on uuden teknologian käyttöönotossa. (Motiva 2017b.)

Energiansäästöinvestointeja tavanomaiseen tekniikkaan tuetaan, käytettävissä olevien määrärahojen puitteissa, energiatehokkuussopimusjärjestelmään liittyneille yrityksille ja yhteisöille. Tavanomaisen teknologian tukimäärä on enimmillään 20 %, ESCO-palvelulla toteutettuna tuki voi enimmillään olla 25 %. (Motiva 2017b.)

Investointituki on Harjun oppimiskeskukselle taloudellisesti merkittävä rahoitusta parantava asia hakkeen käyttöönoton arvioinnissa. Tukea voi hakea, koska investoinnin takaisinmaksuaika ajoittuu 3-10 vuoden välille, jota aikaa energiatukien hakeminen edellyttää tukikelpoisissa hakemuksissa. Tuki tulee hakea ennen hankkeen aloittamista. Tukihakemukset ohjataan paikallisesta Ely-keskuksesta. Hakuaika on jatkuva.

Puupolttoaineiden tuotantoon tarkoitetun kaluston hankkimiseen ei voi hakea tukea. Kalusto käsittää muun muassa hakkurit, murskaimet, hakekontit ja muu kalusto. (Motiva 2017b.)

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Harjun omasta metsästä tuotettavan hakkeen käyttömahdollisuus maakaasun osittaisena lämmönlähteen korvaajana.

Laskelmat on tehty niin, että hake korvaa puolet nykyisestä energiatarpeesta. Tuolloin vuosikasvusta hakkeen tuottamiseen kuluu 606 m<sup>3</sup> raakapuun määrästä, jolla tuotetaan puolet energiatarpeesta. Loppu, eli 1994 m<sup>3</sup> raakapuuta, josta tuotetaan sekahalkoja myyntiin. Vuosisäästö on 63 230 €.

Hakkeen tuottamisen investointikustannukset Hankkijan bruttohinnoilla on n 351 000 €. Takaisinmaksuaika noin 6 vuotta. Jos investoinnille myönnetään energiatukea pienenee hankintakustannus ja takaisinmaksuaika lyhenee.



Tutkimuksessa tarkasteltiin lämmönjohtoverkoston, jossa lämmönjohto kulkee lämpökeskuksesta suoraan rakennukseen, jossa on oma lämmönjakokeskus. Käsiteltiin miten suora lämmönjohto pienentää lämpöhäviöitä ja takaa rakennuskohtaisen energiaseurannan.

Talokohtaisilla lämmönjakokeskuksilla voidaan mahdollistaa talokohtainen lämmönsiirto, säätö ja säästö. Viive poistuu myös, kun veden ei tarvitse virrata talojen välisien putkien läpi. Pumppauskustannukset vähenevät. Primääriputkiston ja järjestelmän käyttöiät pidentyvät. Lisäksi termostaateilla voi säätää lämpötilaa talokohtaisesti, jolloin energiaa säästyy.

Lopputuloksena hakkeen tuottaminen Harjun omasta metsästä on taloudellista ja talokohtaiset lämmönjakokeskukset säästävät energiaa.

## LÄHTEET

Bioenergianeuvonja 2017. Hake. Saatavilla

<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/laatu/> [viitattu 26.4.17]

Energiavirasto 2017. Maakaasun hintatilastot. Saatavilla

<https://www.energiavirasto.fi/maakaasun-hintatilastot> [viitattu 26.2.17]

Fortum 2011. Kaukolämmön lämmönjakolaitteiden uusinta. Saatavilla

<https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/Kaukolampojen%20uusi%20jakolaitteiden%20uusinta.pdf> [viitattu 6.3.17]

Gasum 2017. Maakaasun käyttö Suomessa. Saatavilla:

<https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/maakaasu/> [viitattu 15.3.17]

Harju, P. 2000. LVI-Tekniikan Perusteet. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Ilmatieteenlaitos 2017. Lämmöntarveluvut. Saatavilla

<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [viitattu 6.3.17]

Kaasuyhdistys 2014. Maakaasu käsikirja. Saatavilla

[http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/maakaasun\\_kasikirja.pdf](http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/maakaasun_kasikirja.pdf) [viitattu 22.2.17]

Kardonar 2017. Bioenergia. Saatavilla <http://www.kardonar.com/fi/bioenergia/>

[viitattu 20.2.17]

Motiva 2016a. Uusiutuvan energian direktiivi. Saatavilla

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/uusiutuvan\\_energian\\_direktiivi\\_\(res-direktiivi\)](https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/uusiutuvan_energian_direktiivi_(res-direktiivi)) [viitattu 15.3.17]

Motiva 2016b. Vedenkulutus. Saatavilla

[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/mihin\\_energiaa\\_kuluu/vedenkulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus)

[viitattu 25.2.17]

Motiva 2017a. Bioenergia. Saatavilla <http://www.motiva.fi/bioenergia> [viitattu

28.2.17]

Motiva 2017b. Investointituet. Saatavilla

[https://www.motiva.fi/etusivu\\_2010/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem](https://www.motiva.fi/etusivu_2010/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem)

- [n tukemat energiakatselmukset/katselmus- ja investointituet/investointituet](#)  
[viitattu 22.2.17]
- Motiva 2017c. Kaukolämpö. Saatavilla <http://www.motiva.fi/kaukolampo>  
[viitattu 22.2.17]
- Motti 2016. Polttopuun hinta. Saatavissa:  
<http://www.motti.fi/index.php?osio=Polttopuut&sivu=Hinnat> [viitattu 8.2.17]
- Museovirasto 2017. Kulttuuriympäristön palveluikkuna Harjun oppimiskeskus.  
Saatavilla [www.kyppi.fi/to.aspx?id=130.200081](http://www.kyppi.fi/to.aspx?id=130.200081) [viitattu 26.4.17]
- Mäkelä, S. toim. 1999. Tekninen eristäminen. Helsinki: Suomen  
Eristysyhdistys Ry ja Opetushallitus.
- Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Tammerprint Oy
- Paloniitty, S., Paloniitty, J. & Haimilahti, J. 2016. Lämpökuvaus  
Rakentamisessa. Vaasa: Oy Fram Ab
- Perttula, J. 2000. Energiatekniikka. 1. painos Porvoo: Jarmo Perttula ja  
Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Puhakka, A., Alakangas, E., Alanen, V-M., Airaksinen, L., Soini, R., Siponen,  
T. & Kainulainen, S. 2001. Hakelämmitysopas. Helsinki, Joensuu: Motiva.  
Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka
- Puulakeus 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Saatavilla  
<http://www.puulakeus.net/docs/109-FsT-laatuhaakeopas.pdf> [viitattu 26.4.17]
- Puuproffa 2017. Metsän kasvu. Saatavilla  
[http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/fi/puun-kasvu/metsan-kasvu](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-kasvu/metsan-kasvu) [viitattu  
1.3.17]
- Tilastokeskus 2010. Polttoaineluokitus 2010. Saatavilla  
[http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_maaritykset\\_2010.html](http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_maaritykset_2010.html) [viitattu 26.2.17]
- TkT Koskelainen, L., DI Saarela, R & TkL Sipilä K. 2006. Kaukolämmön  
käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry Kaukolämpö.

Vainio, M. & Niemi, M.J. LVI- Tekniikka. 1993 Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset

Vattenfall 2016. Tietoa maakaasusta. Saatavilla <https://corporate.vattenfall.fi/tietoa-energiasta/sahkon-ja-lammontuotanto/maakaasu/> [viitattu 15.3.17]

Virolahti 2017. Toiminta-ajatus. Saatavilla <http://www.virolahti.fi/FI/Virolahti-info/Toiminta-ajatus/> [viitattu 22.3.17]

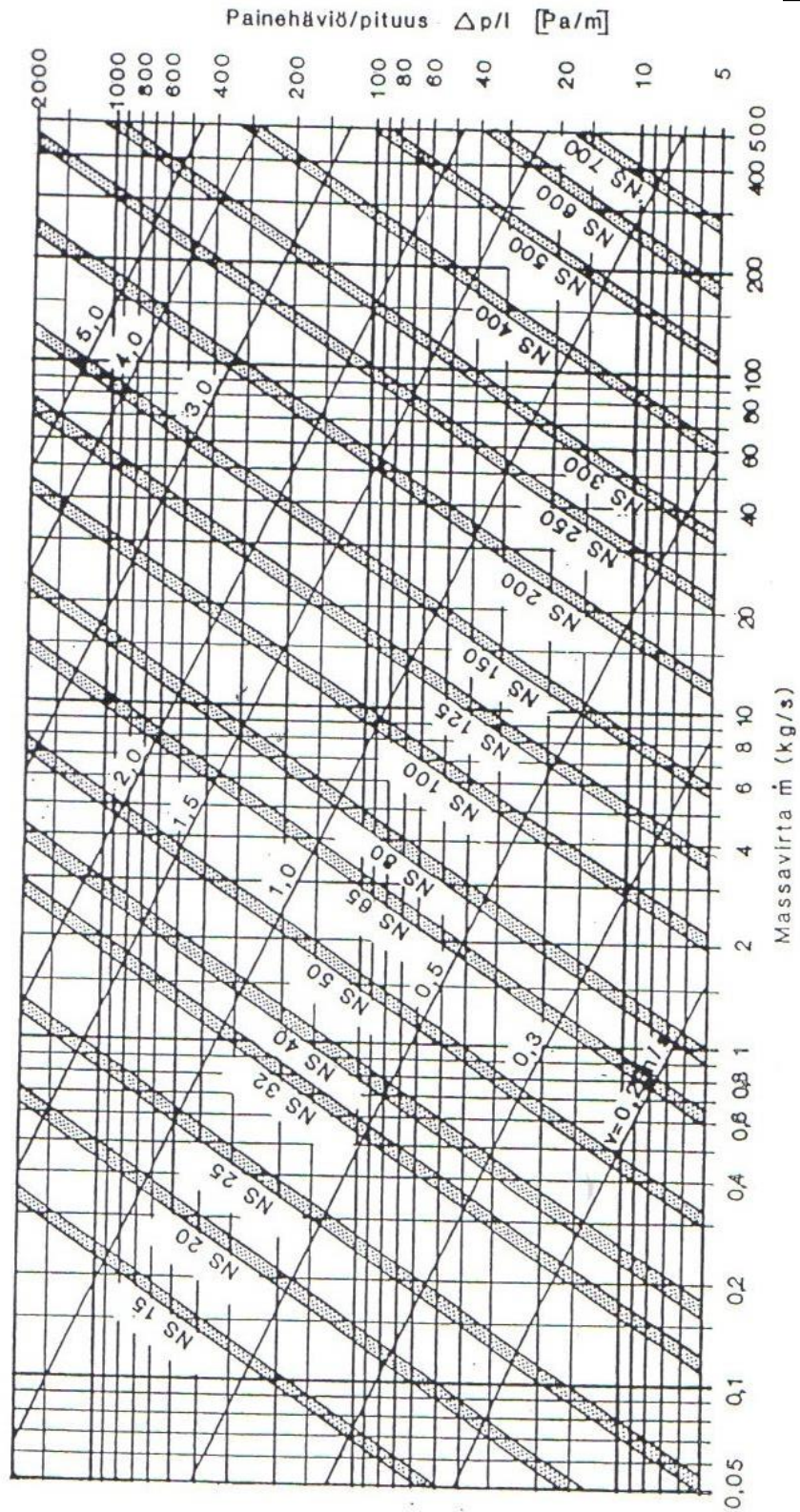
Virtuaalikälyä 2016. Harjun oppimiskeskus. Saatavilla [http://www.virtuaali.info/opetusmaatilat/index.php?tila\\_id=34](http://www.virtuaali.info/opetusmaatilat/index.php?tila_id=34) [viitattu 22.2.17]

VTT 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Saatavilla <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf> [viitattu viitattu 8.2.17]

VTT 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. Saatavilla <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04524-14.pdf> [viitattu 22.2.17]

VTT 2016. Kiinan kaukolämpöön tehokkuutta, säästöjä ja pienempiä päästöjä ottamalla käyttöön talokohtaiset lämmönjakokeskukset. Saatavissa <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/kiinan-kaukol%C3%A4mp%C3%B6n-tehokkuutta> [viitattu 8.2.17]

Putki osuus	Pituus [m]	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Tehontarve [W]	Massavirta [m/s]	Putkiko ko	Häviö [Pa/m]	Painehäviö [Pa]
o-1	14	63988	1279760	6,09	ns 100	42	588
o-2	67	60703	1214060	5,78	ns 100	38	2546
oa-1	27	2460	49200	0,23	ns 20	225	6075
oa-2	12	1230	24600	0,12	ns 15	230	2760
o-3	36	58243	1164860	5,55	ns 80	140	5040
a-1	48	3285	65700	0,31	ns 25	135	6480
aa-1	5	1485	29700	0,14	ns 20	100	500
a-2	145	1800	36000	0,17	ns 20	150	21750
a-3	7	900	18000	0,09	ns 15	160	1120
b-1	22	35964	719280	3,43	ns 65	120	2640
b-2	23	29583	591660	2,82	ns 65	88	2024
ba-1	94	1566	31320	0,15	ns 20	120	11280
ba-2	52	887	17740	0,08	ns 15	130	6760
b-3	41	28017	560340	2,67	ns 65	80	3280
b-3	50	28017	560340	2,67	ns 66	80	4000
bb-1	6	640	12800	0,06	ns 15	75	450
bc-1	52	800	16000	0,08	ns 15	130	6760
b-4	46	26577	531540	2,53	ns 65	70	3220
bd-1	9	900	18000	0,09	ns 15	160	1440
b-5	37	25677	513540	2,45	ns 65	67	2479
be-1	91	6226	124520	0,59	ns 32	115	10465
be-2	11	3782	75640	0,36	ns 25	200	2200
be-3	56	2444	48880	0,23	ns 20	250	14000
b-6	11	19451	389020	1,85	ns 65	43	473
bf-1	13	2390	47800	0,23	ns 20	250	3250
b-7	40	17061	341220	1,62	ns 50	110	4400
b-8	33	16566	331320	1,58	ns 50	110	3630
b-9	331	11388	227760	1,08	ns 50	50	16550
c-1	46	22279	445580	2,12	ns 50	180	8280
ca-1	36	11332	226640	1,08	ns 40	150	5400
ca-3	24	10450	209000	1,00	ns 40	140	3360
ca-4	24	2250	45000	0,21	ns 20	210	5040
ca-2	26	882	17640	0,08	ns 15	130	3380
c-2	127	10947	218940	1,04	ns 40	150	19050
c-3	27	8605	172100	0,82	ns 32	200	5400
cb-1	13	1011	20220	0,10	ns 15	200	2600
cb-2	59	565	11300	0,05	ns 15	45	2655
cc-1	22	1185	23700	0,11	ns 15	225	4950
cd-1	62	6409	128180	0,61	ns 32	120	7440
cd-2	36	5178	103560	0,49	ns 32	79	2844



- o-linja
- a-linja
- b-linja
- c-linja

