



KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Jaakko Lavonen

SUOJU-VIITANAN METSÄKOULUN LÄMPÖLAITOKSEN ENERGIA- JA KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015

	<p><b>OPINNÄYTETYÖ</b>  <b>Toukokuu 2015</b>  <b>Ympäristöteknologiann koulutusohjelma</b></p> <p>Sirkkalantie 12 A  80101 JOENSUU  +358 50 311 9144</p>
<p>Tekijä  Lavonen Jaakko</p>	
<p>Suoju-Viitanan metsäkoulun lämpölaitoksen energia- ja kustannustehokkuuden parantaminen</p> <p>Karelia-ammattikorkeakoulu/ ENPI CBC-hanke</p>	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin Karjalan tasavallan Prääsän piirissä, Tsalnan kylässä sijaitsevan Suoju-Viitanan metsäkoulun lämmitysjärjestelmän nykyinen energia- ja kustannustehokkuus sekä laskettiin vaihtoehtoisten halko- ja hakelämmitysjärjestelmien energiankulutus ja arvioidut investointi- ja vuosittaiset kustannukset. Nykyinen lämmitysjärjestelmä tulee pian käyttökänsä loppuun. Tutkimuksessa lähdettiin tilanteesta, jossa tarvittava raaka-aine oli jo kuljetettu Suoju-Viitanan metsäkoulun pihalle, ja laskelmissa keskityttiin vain lämmitysjärjestelmiin.</p> <p>Paikallisten olosuhteiden selvittämiseksi käytiin ensiksi itse paikalla keväällä 2014 haastattelemassa metsäkoulun rehtoria ja paikallista metsäkoneenkuljettajaa. Tämän jälkeen tutustuttiin internetistä saatavissa olevaan lähdeaineistoon, selvitettiin datan perusteella paikalliset ilmasto-olosuhteet ja laskettiin valittujen eri vaihtoehtojen kustannukset. Lisäksi haastateltiin puhelimitse polttoaineen kulutukseen ja Venäjän metsätalouden käytäntöihin liittyvistä kysymyksistä asiantuntijoita.</p> <p>Nykyisessä järjestelmässä lämmitykseen kuluva kokonaisenergia on 928 MWh, jolloin energianhinnaksi tulee 1 948 RUB/MWh. Vertailtaessa eri vaihtoehtoja suositeltavinta tutkimustulosten perusteella on seuraavaksi hankkia kohteeseen alapalokattila ja jatkaa pilkkeen käyttöä lämmitysratkaisuna. Kokonaisenergian kulutus tässä ratkaisussa olisi 604 MWh. Tekemällä polttopuu alapalokattilaan miestyövoimin lämmitysenergian hinnaksi saadaan 2 157 RUB/MWh.</p>	
<p>Kieli  suomi</p>	<p>Sivuja 53  Liitteet 1  Liitesivumäärä 5</p>
<p>Asiasanat  puuenergia, lämmitys, energiatehokkuus, Venäjä, kustannukset</p>	

 <b>Karelia</b> UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	<b>THESIS</b> <b>May 2015</b> <b>Degree Programme in Environmental Technology</b> Sirkkalantie 12 A 2 FI 80100 JOENSUU FINLAND Tel. +358 50 311 9144
Author Lavonen Jaakko	
Improving Energy Efficiency and Cost Efficiency of Heating System of Suoju-Viitana Forest School  Karelia University of Applied Sciences	
Abstract  The purpose of the thesis was to make a new proposal for Suoju- Viitana Forest school heating system. The school is located in Chalna Village in Republic of Karelia.  First current energy consumption and heating costs were studied, secondly, the energy consumption of alternative chipped firewood and wood chip heating system was calculated, and capital investment and annual costs were estimated. The current heating system will soon be in the end of its life. When starting the study, the necessary raw material had already been transported to the school yard and the calculations focused just on the heating systems.  To investigate local conditions a visit was made in the spring 2014 and the headmaster of forest school and a local forest machine driver was interviewed. After this the source material available on the Internet was studied, local climatic conditions were cleared out, and the costs of various selected options were calculated. In addition, various experts were interviewed by mobile phone on issues of fuel consumption and the Russian forestry practices.  On the current system heating the annual energy consumption was 929 MWh, and the energy price was 1 948 RUB/MWh. When comparing the various options for the preferred option on the basis of research results, it is considerable to use a bottom fired boiler and continue to use chopped firewood for heating fuel. Total energy consumption in this solution would be 604 MWh in a year. By making firewood by human force heating energy cost price would be 2 138 RUB/MWh.	
Language Finnish	Pages 53 Appendices 1 Pages of Appendices 6
Key words wood energy, heating, energy efficiency, Russia, costs	

Sisällys	
1 Johdanto .....	4
2 Tutkimuksen keskeiset käsitteet, tietoperusta ja tutkimusalue .....	5
2.1 Keskeiset käsitteet.....	5
2.2 Aikaisemmat tutkimukset .....	6
2.3 Energia-ala Venäjällä.....	7
2.4 Venäjän energiastrategia .....	9
2.4.1 Energiastrategian kolme vaihetta .....	11
2.4.2 Alueellinen energiapolitiikka .....	11
2.4.3 Lämmöntuotanto .....	12
2.4.4 Uusiutuvat ja paikalliset energiaresurssit .....	12
2.5 Bioenergiaohjelmat Karjalan tasavallassa .....	13
2.6 Metsätalous Petroskoin ympäristössä .....	14
2.7 Suoju-Viitanan metsäkoulu .....	15
2.8 Ilmasto-olosuhteet .....	16
2.9. Puuenergian käyttömuodot.....	18
2.9.1 Pilkkeen käyttö lämmitysratkaisuna .....	18
2.9.2 Hakkeen käyttö lämmitysratkaisuna.....	19
2.9.3 Hakkeen varastointi.....	19
2.9.4 Hakkuutähteet .....	20
2.10 Kattilatekniikat .....	21
2.10.1 Yleistä kattilatekniikoista ja Venäjän kaukolämpöjärjestelmistä. ....	21
2.10.2 Yläpalokattila.....	22
2.10.3 Alapalokattila.....	23
2.10.4 Käänteispalokattila .....	24
2.11 Kosteuden vaikutus puun polttoon ja säilytykseen.....	25
3 Tutkimuksen tarkoitus, tavoitteet ja aiheen rajaus.....	26
3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet.....	26
3.2 Aiheen rajaus.....	26
4 Aineisto ja menetelmät .....	28
4.1 Tutkimusmenetelmä ja aineiston hankinta.....	28
4.2 Aineiston käsittely ja analyysi .....	28
5 Tulokset ja tulkinta .....	29
5.1 Suoju-Viitanan koulun nykyinen järjestelmä .....	29
5.1.1 Mitoitusulkolämpötilalla laskettu huipputehontarve .....	30
5.1.2 Pysyvyykäyrästä laskettu huipputehontarve.....	31
5.1.3 Nykyisen järjestelmän kustannukset .....	32
5.2 Kosteuden ja kattilan hyötysuhteen vaikutus Tšalnan kohteessa.....	34
5.3 Vaihtoehtojen vertailu .....	36
5.3.1 Nykyisen järjestelmän päivittäminen, yläpalokattila .....	36
5.3.2 Nykyisen järjestelmän päivittäminen, alapalokattila .....	37
5.3.3 Yläpalokattila ja klappikone .....	39
5.3.4 Alapalokattila ja klappikone .....	40
5.3.5 Puun myymimen .....	41
5.3.6 Hakekattila ja hakkuri .....	42
6 Päätäntö.....	46
6.1 Tarkastelu.....	46
6.2 Virhearviointi ja tutkimuksen luotettavuus.....	46
6.3 Jatkotutkimusaiheet.....	47

6.4 Toimenpidesuositukset.....	48
Lähteet.....	50

## Liitteet

- Liite 1. Keskimääräinen lämmityskausi. Vuosien 2009-2013 astepäiväluvut suurimmasta pienimpään ja päivittäiset keskiarvot.

## Kuvat

- Kuva 1. Suoju - Viitanan metsäkoulun päärakennus  
 Kuva 2. Suoju- Viitanan metsäkoulun kiinteistön pohjapiirros  
 Kuva 3. Yläpalokattila (Aalto-arina.)  
 Kuva 4. Alapalokattila (Aalto-arina)  
 Kuva 5. Käänteispalokattila (Aalto-arina)  
 Kuva 6. Suoju - Viitanan koulun lämpölaitos  
 Kuva 7. Lämpölaitoksen kattilat

## Kuviot

- Kuvio 1. Tšalnan Pysyvyyskäyrä  
 Kuvio 2. Pysyvyyskäyrä alopalokattilalla  
 Kuvio 3. Hakelämmityksen pysyvyyskäyrä  
 Kuvio 4. Vertailuvaihtojen kustannukset

## Taulukot

- Taulukko 1. Venäjän energiavarat.  
 Taulukko 2. Petroskoin keskimääräiset päivittäiset lämmitystarveluvut ajanjaksolla 2009 - 2013  
 Taulukko 3. Petroskoin kuukausittaiset lämmitystarveluvut ajanjaksolta 2009 - 2013  
 Taulukko 4. Vuosien 2009 - 2013 viiden kylmimmän päivän lämmitystarvelukujen keskiarvot  
 Taulukko 5. Moottorisahan öljyn ja polttoaineen kulutus ja kustannukset.  
 Taulukko 6. Nykyisen järjestelmän vuosikustannukset.  
 Taulukko 7. Haavan poltto-ominaisuuksia ja Suoju-Viitanan koulun lämpölaitoksessa tarvittavan puun määrä eri kosteusprosentilla. Kattilan hyötysuhde 55 %.  
 Taulukko 8. Energiankulutus eri hyötysuhteilla.  
 Taulukko 9. KVR 800 kattilan hankintakustannukset  
 Taulukko 10. KVR 800 - kattilalla, sekä moottorisahalla sahatun energian vuosittaiset tuotantokustannukset. Puun kosteus 30 %.  
 Taulukko 11. Trajan T150 kattilan hankintakustannukset.  
 Taulukko 12. Trajan T150 - kattilalla, sekä moottorisahalla sahatun energian vuosittaiset tuotantokustannukset. Puun kosteus 30 %.  
 Taulukko 13. Klapi-koneella ja yläpalokattilalla tuotetun energian tuotannon vuosikustannukset.  
 Taulukko 14. Alapalokattilalla ja klapi-koneella tuotetun energian vuosikustannukset.

Taulukko15. Puun myynnistä saatava voitto verrattuna 0-myyntiin eri myyntimäärillä ja kuutiohinnoilla.

Taulukko 16. Froling T4- hakekattilan hankintakustannukset.

Taulukko 17. Hake-energian vuosikustannukset. Huomioitavaa, että varaston tai varastojen rakennuskustannukset eivät sisälly laskelmaan. Puun kosteus 30%.

Taulukko 18. Yhteenvetotaulukko.

Taulukko 19. Tuotetun energian loppuhinta puun myynnillä. 50 p-m<sup>3</sup> myytyä puuta.

#### Lyhenteet

brl	barreli
i-m <sup>3</sup>	irtokuutiometri
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
m <sup>2</sup>	neliömetri
m <sup>3</sup>	kuutio
MWh	Megawattitunti
p-m <sup>3</sup>	pinokuutiometri
RUB	rupla
t	tonni
v	vuosi

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Karelia ENPI CBC -hankkeelle. Karelia ENPI CBC -hanke on Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun, Pohjois-Karjalan ja Karjalan tasavallan välinen yhteistyöhanke, jonka tavoitteena on rajat ylittävän yhteistyön avulla lisätä hyvinvointia ohjelma-alueella. Karelia-ammattikorkeakoulu on mukana Novel cross-border solutions for intensification of forestry and increasing energy wood use -alahankkeessa. Hankkeen yleisenä tavoitteena on vahvistaa rajat ylittävää yhteistyötä uusia metsä- ja bionenergiaratkaisuja varten. (Pohjois-Pohjanmaan liitto.) Hankkeessa tuotetaan mm. ohjeistuksia metsänhoitoon, puuenergian tuotantoon ja keruuseen liittyen, GIS-pohjainen työkalu puuenergian tuotantoon ja kuljetuksien suunnitteluun sekä 600 metriä metsätietä koulutuskäyttöön. (Metla.)

Opinnäytetyön aiheena on Suoju-Viitanan metsäkoulun lämpölaitoksen energia- ja kustannustehokkuuden parantaminen Tšalnan kylässä (esiintyy jatkossa myös nimellä Tšalnan kohde). Tšalnan kohde sopii hyväksi esimerkiksi pienen kokoluokan lämpöverkostosta.

Opinnäytetyön tutkimusotteena on määrällinen tutkimus ja sen tutkimusmenetelmänä toimintamallianalyysi. Opinnäytetyö valmistuu toukokuussa 2015. Työn ohjaajana toimii Karelia-ammattikorkeakoulun puolesta Markus Hirvonen ja ENPI-hankkeen kautta Asko Puhakka. Työn tarkastajana toimii Ari Talkkari.

## 2 Tutkimuksen keskeiset käsitteet, tietoperusta ja tutkimusalue

### 2.1 Keskeiset käsitteet

**Arina:** Kattilan, lieden, tulipesän tai muun vastaavan säleikkö- tai ristikkomainen pohja. Tulipesän osana erottaa toisistaan tuhkalaatikon ja tulipesän. (Bioenergianeuvoja.)

**Bioenergia:** Bioenergia on puhdasta ja ympäristöystävällistä uusiutuvaa energiaa, jota saadaan erilaisista biomassoista: esimerkiksi puusta, peltokasveista ja bioperäisistä jätteistä. Bioenergia on hiilidioksidineutraalia eli se ei lisää hiilidioksidipäästöjä. (Motiva a.)

**CHP (Combined Heat and Power):** Yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa (Bioenergianeuvoja).

**Energiapuu:** Puutavara, joka on heikompiarvoista ja pienempää läpimitaltaan kuten esimerkiksi ainespuu. Energiapuuksi sopivat myös hakkuutähteet ja kannot. (Bioenergianeuvoja.)

**Hake:** Mekaanisesti pieniksi paloiksi pilkottua puuta, joka mahdollistaa puunpolton täydellisen automatisoinnin niihin suunnitelluissa polttimissa. (Bioenergianeuvoja.)

**Hakkuri:** Kone, jolla puu pilkotaan hakkeen muotoon. Erilaisia hakkureita ovat rumpuhakkuri, laikkahakkuri ja ruuvihakkuri. (Bioenergianeuvoja.)

**Kuutiometri:** Tilavuutta kuvaava SI-järjestelmän mittayksikkö, joka voi metsätaloudessa käytettäessä olla tarkennettuna kiintokuutiometri, pinokuutiometri tai irtokuutiometri (Bioenergianeuvoja).



**Laikkahakkuri:** Yleisin pienhakkuri tyyppi, joka soveltuu parhaiten koko- ja ran-  
kapuulle. Hakkurin terärakenne on herkkä kiville ja maa-ainekselle. (Bioenergi-  
aneuvoja.)

**Lämminvesivaraaja:** Vesisäiliö, jota käytetään tuotetun energian varastona  
usein puulämmityksen yhteydessä. Antaa mahdollisuuden käyttää kattilaa mak-  
simi teholla, vaikkei verkosto vaatisi vastaavaa energiamäärää. (Bioenergiane-  
uvoja.)

**Lämpöhäviö:** Lämpöenergiaa, jota ei saada taltioitua tai jota haaskataan ener-  
giaa käytettäessä ja valmistettaessa. Esimerkiksi huonosti eristetyissä taloissa,  
varaajissa ja putkistoissa on suuri lämpöhäviö. (Bioenergianeuvoja.)

**Lämpökattila:** Kattila, jolla lämmitetään vettä tai jotain muuta väliainetta, jolla  
lämmitetään rakennuksia. Polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi hiiltä tai  
puuta. (Bioenergianeuvoja.)

**Palokerros:** Tulipesän sisällä oleva alue, jossa palaminen tapahtuu.

**Polttopuu:** Helposti poltettavaksi pilkottu puu. Käytetään myös nimiä klapi, pilke  
ja halko. (Bioenergianeuvoja.)

**Puuenergia:** Puun eri osista hyötykäyttöön poltettu energia (Bioenergia-  
neuvoja).

**Savukaasu:** Polttoprosessissa syntyviä kaasuja.

**Tulipesä:** Kattilan sisällä oleva tila, jossa palaminen tapahtuu.

## 2.2 Aikaisemmat tutkimukset

Suoraan vastaavaa Suomessa tehtyä tutkimusta venäläisestä lämmöntuo-  
tantolaitoksen kustannusten ja enrgiatehokkuuden parantamisesta ei ole tullut

etsinnöistä huolimatta vastaan, mutta kaksi venäläisestä kaukolämpötekniikasta on tehty; Kiril Eliseevin vuonna 2011 tekemä District Heating systems in Russia and Finland 2011 -opinnäytetyö sekä Veli-Matti Mäkelän vuonna 2008 tekemä Bases for the recommendations for new norms in Russian district heating -opinnäytetyö Mikkelin ammattikorkeakoulussa. Hieman vastaavanlainen suomalaisesta pienestä aluelämpökeskuksesta tehty opinnäytetyö kuitenkin löytyy. Joel Skröcki on tehnyt vuonna 2013 Metropolia-ammattikorkeakoulussa Öljylämmitteisen aluelämpökeskuksen korvaaminen pelletti-, hake- tai maalämpölaitoksella -nimisen opinnäytetyön. Kosteuden vaikutuksesta energiapuun kannattavuuteen on hyvän työn on tehnyt Tuomas Hakonen vuonna 2012 Suomen maataloustieteen päiville. Metsäntutkimuslaitos puolestaan on tehnyt katsauksen Karjalan tasavallan energiapuupotentiaaliin ja metsäenergian asemaan samana vuonna.

### **2.3 Energia-ala Venäjällä**

Venäjän energiantuotanto vuodesta 2000 vuoteen 2008 nousi 26 % (Ministry of Energy 2009, 13). Venäjän energian tuotanto nojaa vahvasti maan laajoihin uusiutumattomiin energiavaroihin. Venäjällä on 23 % maailman luonnonkaasuvaroista, 18 % hiilivaroista ja 4,5 % hyödynnettävissä olevista öljyvaroista. Lisäksi Venäjän alueella on 8,6 % maailman uraanivaroista ja 21 % metsävaroista (taulukko 1.). Tämä on osasyynä siihen, että Venäjä on vasta viime aikoina nostanut esille bioenergiavarojen käytön. Toisena syynä on Venäjänkin öljyvareiden ehtyminen, sillä esimerkiksi 2000-luvun alussa Venäjällä arvioitiin olevan 10 % maailman öljyresursseista. Laskeneeseen lukuun tosin vaikuttaa uusien öljyvarantojen löydöt. Venäjän arktisilta merialueilta löytyi hiljattain uusi iso öljyesiintymä. (Ministry of Energy 2003; Ministry of Energy 2009, 21; WEC 2013; Talouselämä 2014; World Bank.)

Taulukko 1. Venäjän energiavarat (WEC 2013; Vorotnikov 2014; World Bank; World Nuclear Association 2014.)

Resurssi	Venäjä	Maailma	Venäjän sijoitus
Maakaasu	47 750 mrd. m <sup>3</sup>	209 742 mrd. m <sup>3</sup>	1
Hiili	157 010 milj.t	891 530 milj. t	2
Öljy	60 000 milj.brl	1 339 617 milj.brl	7
Metsävarat	8 092 100 km <sup>2</sup>	39 430 117 km <sup>2</sup>	1
Uraani	830 000 t <sub>1</sub> 505 900 t <sub>2</sub>	5 902 500 t <sub>2</sub>	3

1= Arvioidut uraanivarat

2= Tiedetyt uraanivarat

Venäjän energian tuotannosta vuonna 2012 sähköksi tuotettiin 14 % ja lämmöksi 86 %. Kulutuksesta isoimmat osuudet ovat teollisuudella (31 %), asumisella (24 %) ja liikenteellä (21 %). (IEA.)

Lämmittämiseen kuluva energia kaasusta tuotettua energiaa on 68 %. Seuraavaksi suurimmat osuudet on hiilivoimalla (20 %) ja öljyllä (5,4 %). Biopolttoaineita lämmitykseen kulutetusta energiasta on vain 1,8 %, joista suurin osa tuotetaan jätteillä. Trendinä on kaasun osuuden nousu lämmitysenergiankuluksessa. (IEA.) Lämmöntuotannosta noin 35 % on CHP-tuotantoa (Eliseev 2011, 9).

Energiantuotanto on yksi päästöjen lähteistä. Ilmansaasteista se aiheuttaa 50%, vesistöihin kulkeutuvista päästöistä yli 20 % ja 70 % Venäjän kasvihuonekaasupäästöistä. (Ministry of Energy. 2009, 35.)

Maan uusiutuvien energiamuotojen vuosittaisen tuotantopotentiaalin on arvioitu olevan 4,5 miljardia hiiliekvivalenttitonnia. Tämä koostuu pääasiassa aurinko- ja tuulienergiapotentiaalista ja ylittää neljä kertaa maan tämänhetkisen energiankulutuksen. (Ministry of Energy. 2009, 110.)

## **2.4 Venäjän energiastrategia**

Tässä työssä esiintyvä lyhennelmä on vuoden 2009 versio Venäjän energiastrategiasta. Tällä hetkellä Venäjällä on kehitteillä uusi energiastrategia, joka on visioitu vuoteen 2035. Vuoden 2009 version on todettu olleen liian optimistinen. (Mastepanov 2014.) Lyhennelmässä on painotettu uusiutuvia energiavaroja koskevia kohtia.

Mikäli Venäjä haluaa taata kotimaisen energian kysynnän, Venäjän elinolojen pitäisi vastata kehittyneiden maiden elintasoja. Maan talouden rakenteiden on muutettava tukemaan vähemmän energiaa kuluttavia aloja. Maan täytyisi muuttua raaka-aineiden viejästä innovatiiviseksi kestävän energiatalouden vaatimusten mukaisten, korkealle jalostettujen energiamuotojen kehittäjäksi. Maan täytyy parantaa energiatehokkuutta ja vähentää energiavaltaisuutta Kanadan ja pohjoismaiden tasolle. (Ministry of Energy 2009, 14.)

Venäjän energiastrategiaan kuuluu vakaiden suhteiden ylläpitäminen nykyisiin ja uusiin energia-asiakkaisiin. Erityisesti korkea kilpailukyky öljy- ja kaasumarkkinoilla tulevaisuudessa on Venäjän intresseissä. Euroopan ja itsenäistyneiden kansojen yhteisöön kuuluvien maiden energiapäästöt tulevat energiastrategiassa pysymään energian myynnin päämarkkinoina. Aasian markkinoiden osuutta Venäjä pyrkii kasvattamaan öljyn myynnistä nykyisestä kuudesta prosentista 25 %:iin ja maakaasun myynnistä 20:een prosenttiin. Maa-

kaasun viennin parantamiseksi rakennetaan uusia maakaasuputkia. Vaikka Venäjä ei aiemmin ole esiintynyt maailman uusiutuvien energioiden markkinoilla, maa rupeaa kehittämään kyseistä energiasektoria. Venäjä tukeutuu uusiutuvien energiamuotojen tuotannon kehittämisessä maan korkeaan uusiutuvien energiavarojen käyttöpotentiaaliin sekä tieteellisiin ja teknisiin kehitykseen uusiutuvien energiamuotojen alalla. (Ministry of Energy. 2009, 21-22.)

Venäjä osallistuu aktiivisesti kansainvälisten tahojen kanssa yhteistyöhön energia-alalla. Ongelmia energia-alan kehittymiselle on energian hinnan aleneminen nykyisen talouskriisin vuoksi, Venäjän viennin riippuvuus kauttakulusta ja energiasektorin käyttäminen poliittisena aseena sekä Venäläisten yhtiöiden alhainen osallistuminen ulkomaisille markkinoille. (Ministry of Energy. 2009, 23.) Kotimaisten markkinoiden pahimmat ongelmat ovat infrakstuurin puuttuminen, alueelliset ja teknologiset monopolit yhdessä vilpillisen kilpailun kanssa sekä ratkaisemattomat ongelmat lämmöntuotannon uudistamisessa (Ministry of Energy 2009, 38). Venäjän energian saannin turvaamiseksi on energiasektori vakautettava sekä polttoaine ja energiahuollon säätökyky kehitettävä vastaamaan kotimaista kysyntää laadukkaasti ja edullisesti (Ministry of Energy, 2009, 29).

Ympäristövaatimusten täyttämistä valvotaan tiukemmin ja venäjän ympäristölakeja yhdenmukaistetaan kansainvälisten lakien kanssa (Ministry of Energy 2009, 36). Energian säästämisen hyödyntämätön potentiaali organisaatioisin ja teknisin keinoin on arvioitu olevan 40 % kotitalouksien energiankulutuksesta (Ministry of Energy, 2009, 31).

Strategian päälinjat ovat energiaturvallisuus, taloudellinen energiatehokkuus, energiasektorin kustannustehokkuus ja ympäristöystävällinen energiasektori (Ministry of Energy. 2009, 24).

### **2.4.1 Energiastrategian kolme vaihetta**

Ensimmäinen vaihe on nykyisestä talouskriisistä selviäminen. Pyritään kehittämään kestävä talous sekä turvaamaan Venäjän energian saanti. Tehdään yhteistyötä aktiivisesti kumppanimaiden kanssa selviytymisen nopeuttamiseksi. (Ministry of Energy. 2009, 25 - 26.)

Toisessa vaiheessa siirrytään uudistavaan kehittämiseen ja rakennetaan parempi infraruktuuri energian siirtoon. Lisätään energiatehokkuutta polttoaineentuotannossa ja energiankäytössä sekä modernisoidaan tuotanto. Säännellään energiavarojen käyttöä ja taataan instituutiomuutoksilla uudistusten toteuttaminen. Lisäksi aloitetaan uudet energiaprojektit Itä-Venäjällä. Kolmannessa vaiheessa siirrytään asteittaisesti perinteisiä energiamuotoja ja uusia ei hiilipe räisiä energiamuotoja käyttävään talouteen. (Ministry of Energy. 2009, 26 - 27.)

### **2.4.2 Alueellinen energiapolitiikka**

Venäjän eri alueilla on korkeat erot energiaomavaraisuudessa ja energiankulutuksen rakenteessa. Venäjä pyrkii järkevään energiantuotannon kulujen jakamiseen kaivosalueiden ja liittovaltioiden keskusten kesken.

Alueilla on puute energiansäästöohjelmista ja strategioista sekä paikallisilla energiavaroilla on paikallisesti ja alueellisesti pieni rooli. Energianhuollon pullonkaulat alueiden välillä pitäisi poistaa. (Ministry of Energy 2009, 41.)

Viranomaisten yhteistyötä täytyy parantaa energiatehokkuuden parantamiseksi sekä energian saannin ja energiaturvallisuuden vakauttamiseksi. Sääntelyä pitää lisätä energiasektorilla. Valtio tukee alueiden sisäisten ja välisten infran kehittämistä. Alueellisten energiasektorien kehittäminen yhtenäistetään ja ristikkäiset tuet poistetaan. Lisäksi alueellisilla ohjelmilla pyritään toteuttamaan energiansäästön, kustannustehokkuuden ja paikallisten energiavarojen kehittäminen hajauttamalla ja monipuolistamalla energiantuotantoa sekä tukemalla yksittäisiä

lämmitysjärjestelmiä. Kehitetään ja lisätään kotimaisen tietotekniikan käyttöä. (Ministry of Energy. 2009, 41 - 43.)

### **2.4.3 Lämmöntuotanto**

Lämmöntuotannon ongelmia Venäjällä ovat isot verkostohäviöt, puutteet toimintavarmuudessa sekä yhtenäisen valtiollisen politiikan puute. Venäjän lämmöntuotanto alalla on tilausta intensiivisille sijoituksille luotettavan lämmöntuotannon tuottamiseksi ja samanaikaisesti lämmönhinnan kasvun rajoittamiseksi. (Ministry of Energy 2009, 106.)

Venäjän lämmöntuotantostrategian tavoitteiden saavuttamiseksi yhteistuotantoa kehitetään ja lisätään sekä turvaudutaan keskuslämmitykseen. Pienessä kokoluokassa korvataan diesel voimaloita uusiutuvia energiamuotoja käyttävillä yksiköillä. Samalla vähennetään kattilalämmityksen osuutta, valjastetaan maa- lämmönkäyttöpotentiaalia ja kaasun käyttöä lämmöntuotantoratkaisuna vähennetään 6 - 8 %:ia vuoteen 2030 mennessä. Vastaavasti hiilen käytön osuutta lisätään saman verran. Verkostohäviöitä pyritään pienentämään 19%:sta 8 - 10 %:iin. (Ministry of Energy 2009, 107 - 109.)

### **2.4.4 Uusiutuvat ja paikalliset energioresurssit**

Venäjän energiastrategiaan kuuluu olennaisena osana lisätä uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Venäjän uusiutuvan energian strategian päätavoitteina on ihmistoiminnasta luontoon aiheutuvan kuorman vähentäminen, ilmastonmuutoksen vastustaminen ja samalla kasvavan energiatarpeen tyydyttäminen. Fossiilisten polttoaineiden kasvavan käytön vähentäminen ja kyseisten energia- varojen loppumisen hidastaminen. Väestön terveyden ja elämänlaadun säilyttäminen vähentämällä ympäristön pilaantumista ja terveyshaittoja. (Ministry of Energy 2009, 110.)

Näihin pyritään nostamalla uusiutuvien energiamuotojen osuutta sähköntuotannosta nykyisestä 0,5 %:sta neljällä prosentilla. Tämä lukema ei sisällä vesivoimaa. Yhteensä tavoite tuotantokapasiteetti vuodelle 2030 on 25 GW. Tavoitteena on, että 80 - 100 miljardia kWh energiaa tuotettaisiin uusiutuvista energiamuodoista. ( Ministry of Energy 2009, 111.)

Energiantuotantoa monipuolistetaan esimerkiksi lisäämällä turpeen käyttöä energiantuotannossa nykyisestä 1 %:sta 8 - 10 %:iin turvetuotantoalueilla. Alueilla joilla turvetta on paljon saatavilla, se täyttää jopa koko kuntien, kotitalouksien ja maatalouden energiantarpeen. (Ministry of Energy. 2009, 112 - 113.)

## **2.5 Bioenergiaohjelmat Karjalan tasavallassa**

Karjalan tasavalta sijaitsee Luoteis- Venäjällä Suomen rajan tuntumassa Laatokan yläpuolella. Karjalan tasavallan hallintopaikkana on Petroskoi ja sen pinta-ala on 180,5 km<sup>2</sup>. Karjalan tasavallassa asukkaita vuonna 2009 oli 687 500, joista yli kolme neljäsosaa asui kaupungeissa. Alue on jaettu kahteen kaupunkipiiriin ja 16 kuntapiiriin. (Karjalan tasavalta 2014.) Tasavallan alueesta yli 49 % on metsää. Metlan tutkimuksen mukaan alueen energiapuupotentiaali olisi hakkuutähteet mukaan luettuna jopa 8 miljoonaa kuutiota. Vuoden 2006 aikaisen puunjalostusteollisuuden tuotantoon perustuva energipuupotentiaali olisi kuitenkin 2,3 miljoonaa kuutiota. Tärkeimmät energianlähteet alueella ovat kivihiili, masutti (maaöljyn tislausjäte) ja maakaasu. Puupolttoaineiden osuus tällä hetkellä alueen lämpöenergian tuotannosta on 11 %. Pelletin ja hakkeen käyttö lämmitysratkaisuna on vähäistä, vaikka alue on Venäjän kärkialueita hakkeen ja pelletin tuotannossa. (Karppinen 2012, 3.) Yleisempiä lämmitysenergian lähteitä Karjalan tasavallassa ovat maakaasu, öljy ja kivihiili (Infobio 2011).

Karjalan tasavallassa aloitettiin vuonna 2010 energiataloudellisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi vuoteen 2020 jatkuva alueellinen ohjelma. Kyseisessä ohjelmassa tunnustetaan uusiutuvien energiamuotojen käytön riittämättömyys Karjalan tasavallassa. Ohjelmassa odotetaan uusiutuvien energianlähteiden e-



nergiantuotannon nousevan 200 MWh:lla vuoteen 2020 mennessä. Prosentuaalisesti korotus on 6,6 prosenttia tasavallan energiantuotannosta. Parantaakseen energiataloutta, pitäisi kaukolämpöverkkojen kuntoa parantaa sekä lämmöneristystä parantaa. (Karjalan tasavalta 2010.)

Vuoden 2015 loppuun mennessä toteutetaan investointiprojekti, jossa muutetaan 14 asutuskeskuksen ja kaupungin keskuslämmitysjärjestelmiä biopolttoaineille sopivaksi. Samalla lämmitysjärjestelmiä ja kattiloita automatisoidaan. Biopolttoaineiden lisäksi myös maakaasun käyttöä lämmitysratkaisuna pyritään lisäämään öljyn kustannuksella. (Karjalan tasavalta 2010.) Karjalan tasavallassa on menossa myös useita hankkeita, joissa pyritään hyödyntämään turvetta energianlähteenä. Prääsän piirissä vuonna 2011 toteutetuissa puuhake- ja turvehankkeissa on saavutettu yhteensä 1 750 öljytonnin säästöt. (Infobio 2014.)

## **2.6 Metsätalous Petroskoin ympäristössä**

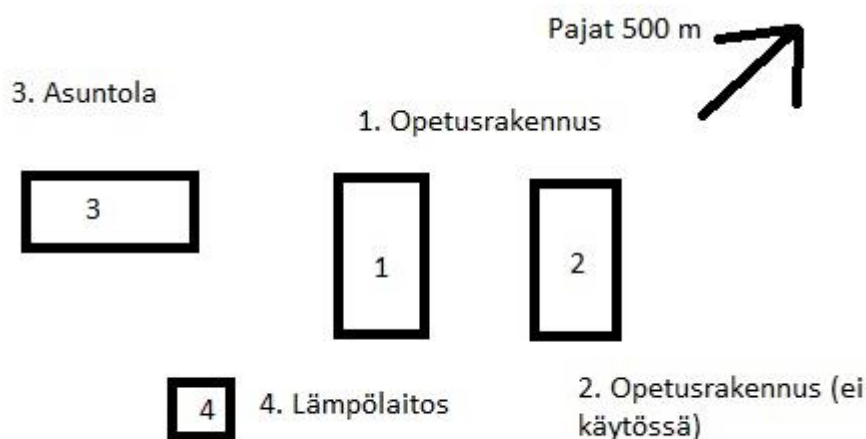
Itä- ja Laatokan Karjalassa yleisin puulaji lämmityksessä on haapa, koska se ei mene kaupaksi ja sitä on paljon. Suurin osa alueella hakattavasta koivusta, männystä ja kuusesta rahdataan Suomeen. Paikallisia kuitupuuta käyttäviä tehtaita on Kontupohjassa, jossa on paperitehdas, ja Petroskoissa, jossa on levypuutehdas. Näistä ensin mainittu käyttää vain kuusta ja toinen kuusta ja mäntyä. Metsätalous on iso työllistäjä alueella, eikä alalla ole työttömyyttä. (Smirnov 2014.)

## 2.7 Suoju-Viitanan metsäkoulu



Kuva 1. Suoju-Viitanan metsäkoulun päärakennus.

Tšalnan kylä sijaitsee Präsän kuntapiirissä 20 kilometriä Petroskoista luoteeseen. Tšalna on tyypillinen itäkarjalainen kylä, jossa on koulu, pari päivä-kotia ja 8 pienkerrostaloa. Tšalnassa sijaitsee myös Suoju-Viitanan metsäkoulu, joka perustettu vuonna 1951. Koulussa oli lukukaudella 2013 - 2014 280 oppilasta 8 eri ammattilinjalla. Koulu työllistää kaksi vakituista opettajaa ja lisäksi luennoimassa käy vierailevia opettajia mm. Petroskoin yliopistosta. Koulun toiminta rahoitetaan kokonaan puun myynnillä ja lukukausimaksuilla. Koululla on omat harjoituskentät, joista se ottaa puuta omaan käyttöön ja myy ylijäämän. Koululla on kaksi opetusrakennusta, joista toinen ei ole tällä hetkellä käytössä, asuntola ja lämpölaitos. Lisäksi koululla on 500 metrin päässä kaksi pajaa, joilla on erillinen lämmitysratkaisu. Lämpölaitokselta asuntolaan ja käytössä olevaan opetus rakennukseen on matkaa 30 m. (kuva 2; Georgevitsh 2014.)



Kuva 2. Suoju- Viitanan metsäkoulun kiinteistön pohjapiirros

## 2.8 Ilmasto-olosuhteet

Alueen ilmasto-olosuhteet ovat lähes vastaavat kuin Joensuussa. Ilmasto on meri- ja mannerilmaston sekamuoto pitkine talvineen, mutta poikkeuksellisen kovia pakkasia ei ole. Helmikuun keskivertolämpötila on  $-9 - 13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja heinäkuun puolestaan  $+14 - 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vuodessa sataa keskimäärin 500 mm. (Karjalan tasavalta 2014).

Lämmitystarvelukeman selvittämiseen käytettiin Weather Undergroundin ja Degree Daysin tietokantoja. Degree Daysta löytyi tietoa Petroskoista vain Marraskuusta 2012 lähtien. Alkuperäisestä aineistosta karsittiin keväällä lämpötilakeskiarvoltaan  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$  ylittävät päivät, jolloin lämmitystarve loppuu ja syksyiltä  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ylittävät päivät, jolloin lämmitystarve alkaa. Sisäilman lämpötilana käytettiin  $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$  astetta. Loput tiedot hankittiin WeatherUndergroundista, mistä löytyy Petroskoista päivää kohti maksimissaan kahdeksan havaintoa, joista laskettiin keskiarvot.

Lämmitystarvelukeman selvittämiseksi tarkasteltiin 5 vuoden ajanjaksoa 2009 - 2013, joista saatiin keskiarvot. Keskimääräiseksi vuosittaiseksi lämpömääräksi saatiin päivittäisten keskiarvojen mukaan 4 837 (taulukko 2.) ja kuu-

kausittaisten 4 824 (taulukko 3.). Ero johtuu karkauspäivästä ja pyörityksistä. Joensuun pitkäaikainen vuosien 1981 - 2010 lämmitystarveluku on 4 984 ja ajanjaksolta 2009 - 2013 keskiarvo on 4 866 (Ilmatieteenlaitos 2014).

Taulukko 2. Petroskoin keskimääräiset päivittäiset lämmitystarveluvut ajanjaksolla 2009 - 2013 (DegreeDays.net; WeatherUnderground )

kk→ pv↓	T	H	M	H	T	K	H	E	S	L	M	J
1	25	28	21	17	12	2	0	0	5	11	15	23
2	27	25	22	17	9	0	0	0	3	12	13	22
3	30	25	23	16	10	3	2	0	4	11	14	22
4	29	25	25	16	10	4	2	0	5	9	15	23
5	30	29	23	15	8	4	2	0	5	8	16	25
6	25	31	24	15	6	4	2	0	4	10	17	22
7	28	30	25	18	8	3	0	0	5	10	18	22
8	26	29	24	19	6	3	0	0	2	9	16	21
9	27	27	23	17	7	2	0	0	3	11	18	22
10	25	28	23	16	2	0	0	1	4	11	17	23
11	24	27	21	15	4	0	0	1	4	13	17	22
12	24	30	23	14	4	1	0	1	4	13	17	21
13	21	31	24	15	7	3	0	0	2	14	17	25
14	22	30	22	13	7	3	0	0	3	15	17	26
15	24	28	24	14	5	0	0	0	4	16	18	29
16	27	30	25	13	2	0	0	0	1	14	18	27
17	29	31	23	11	2	0	0	0	4	14	16	26
18	30	31	22	14	3	2	0	0	5	13	18	26
19	29	30	22	13	0	0	0	2	5	14	17	27
20	29	30	22	14	2	0	0	4	5	14	18	26
21	31	28	21	14	3	0	0	2	5	15	20	26
22	29	26	23	14	2	0	0	2	6	16	20	28
23	27	31	21	11	7	0	0	1	6	17	18	29
24	31	25	25	13	3	0	0	3	8	15	16	29
25	28	24	25	12	0	0	0	1	10	14	18	29
26	29	23	22	7	0	0	0	2	10	15	19	27
27	29	23	21	6	0	0	0	3	9	15	20	25
28	30	20	20	7	1	0	0	1	8	15	21	24
29	30	25	19	8	0	0	0	2	11	14	23	25
30	31	-	19	12	2	0	0	3	11	15	24	24
31	30	-	19	-	2	-	0	4	-	15	-	24
yht	856	800	696	406	134	34	8	33	161	408	531	770

Taulukko 3. Petroskoin kuukausittaiset lämmitystarveluvut ajanjaksolta 2009 - 2013 (DegreeDays.net; WeatherUnderground )

kk→ vuosi↓	T	H	M	H	T	K	H	E	S	L	M	J	yht
2009	778	691	652	468	127	71	35	25	128	460	525	818	4 778
2010	1019	816	691	403	116	43	0	68	179	420	619	994	5 368
2011	869	883	648	373	182	15	0	12	142	369	503	540	4 536
2012	774	895	662	353	163	23	0	64	141	413	521	905	4 914
2013	817	623	846	438	94	14	0	10	212	383	489	595	4 521
keski- arvo	851	782	700	407	136	33	9	36	160	409	531	770	4 824

Ajanjakson suurin vuosittainen lukema oli 5 368 (2010) ja pienin 4 521 (2013). Suurin yksittäisen päivän lämmitystarvelukema oli 47 (-30 C, liite 1.). (DegreeDays.net. WeatherUnderground.)

## 2.9. Puuenergian käyttömuodot

Puuenergiaa käytetään pilkkeenä, hakkeena, pellettinä ja brikettinä, mutta tässä työssä keskitytään tarkemmin vain pilkkeen ja hakkeen käyttöön lämmitysratkaisuina.

### 2.9.1 Pilkkeen käyttö lämmitysratkaisuna

Polttopuiden pituudet Venäläisen standardin GOST-3243-888 mukaan ovat 25 cm, 33 cm, 50 cm, 75 cm ja 1 m, leveys yli 3cm sekä poikkeama pituudessa korkeintaa +/-2 cm. Poikkeamana tästä on asiakkaan toiveesta tehdyissä lyhyemmissä polttopuissa. Niiden poikkeama voi olla +-5 - 10 cm. Lisäksi standardissa lajitellaan puut kolmeen ryhmään puulajin ja lämpöarvon mukaan. Koivu kuuluu ykkösryhmään, mänty kakkoseen ja kuusi ja haapa kolmoseen. (Complexdoc 2011, Karppisen 2012 mukaan,11).

Onnistuneen polton edellytykset ovat 15 - 25 %:in kosteus ja saman kokoiset palat. Varastoinnissa on estettävä maakosteuden ja sateen pääsy puihin. Pilke täytyy saada kuivaan tilaan vähintään päivä ennen käyttöä. Saman kokoiset palat mahdollistavat tasaisen palamisen. Sytytyspuiden olisi hyvä olla pienempiä. (Metsäkeskus Pirkanmaa.)

### **2.9.2 Hakkeen käyttö lämmitysratkaisuna**

Haketta tehdään koneellisesti hakettamalla yleensä metsäteollisuudelle kelpaamattomasta puusta. Poltettavan hakkeen kosteusprosentti vaihtelee välillä 20 - 50 % Kosteuden lisäksi hakkeen lämpöarvoon vaikuttaa tiheys, johon taas vaikuttaa palakoko. Kuutiollinen kosteudeltaan 40 %:n metsähaketta sisältää energiaa noin 0,85 MWh. (Skröcki 2013, 17.)

Venäjällä hake luokitellaan laadun ja alkuperän mukaan, mutta venäläinen hakkeen terminologinen luokittelu ei ole aivan niin yksityiskohtaista kuin Suomessa. KodeksKarelian mukaan Venäjällä valmistettu hake on lähinnä runkohaketta. (KodeksKarelia 2006, Karppisen 2012 mukaan, 12.)

Erilaiset lämmityskattilat vaativat laadultaan erilaisia hakkeita. Pienet kattilat vaativat palakooltaan pientä, tasalaatuista ja kuivaa haketta, jossa on mahdollisimman vähän viherainesta. Suuremmat kattilat taas eivät ole niin vaativia, vaan niihin menee laadultaan epätasaisempaa sekä kosteampaakin haketta. Kuitenkin mitä kuivempaa hake on, sitä paremman lopputuloksen se tuottaa. (Karppinen 2012, 13.)

### **2.9.3 Hakkeen varastointi**

Hakkeen raaka-aineen varastointi on tärkein hakkeen kuivumiseen vaikuttava tekijä. Eniten vaikuttaa varastokasan paikka ja toiseksi eniten kasan peittäminen. Varastopaikan olisi hyvä olla kuivapohjainen, muusta ympäristöstä korkeammalla paikalla, tuulisella aukealla ja eteläauringossa. Lisäksi varastopaikka

olisi hyvä raivata pienpuusta, jotta epäpuhtauksia ei joutuisi hakkuriin, sekä paikan valinnassa olisi hyvä huomioida kaluston vaatima tila. (Lepistö 2010,19 - 20.)

Kasan pitäisi olla maasta irti, jotta ilma pääsisi kuivattamaan raaka-ainetta. Kasan alle pitäisi rakentaa tukkipuista tai järeistä myyntiin kelpaamattomista puista monikerroksinen ristikko. Ristikon varastoitavien puiden suuntaiset aluspuut tulisi kasata 3 - 5 metrin välein ja poikittaiset puut vähintään kolmeen jonoon. Aluspuut tulisi kasata niin, ettei ne katkeaisi rasituksesta ja varasto romahtaisi. Kasan etuseinän tulisi kallistua eteenpäin, jotta pinnalla olevat puut suojaisivat alempia puita kastumiselta. Ylempien puiden tulisi olla 0,5 – 1 m pitemmällä kuin alempien ja lipan paksuus olisi hyvä olla puolen metrin luokkaa. Täten olisi hyvä pinota pidemmät puut kasan ylimmäisiksi. Hyvä varastokasa on korkea ja ilmava. (Lepistö 2010, 20 - 22.)

Mikäli mahdollista kasa tulisi peittää, mutta peitemateriaalina kannattaa välttää muovipeitteitä, mikäli kasaa käsitellään talvella, sillä muovi voi jäätyneenä rikkoutua. (Lepistö 2010, 22 - 23.)

#### **2.9.4 Hakkuutähteet**

Puulajista riippuen oksien ja latvusten osuus on 8 - 23 % rungon massasta. Venäjällä hakkuutähteet jää usein hyödyntämättä ja sen sijaan 11 % hakkuutähteistä käytetään virallisen ohjeen mukaisesti leimikossa metsäkoneen ajouran pohjina (Väyrynen 17.12.2014; Pikkarainen 15.1.2015; Korobov ja Ruslov 1991; sekä Filipchuk 2003, Gerasimovin ja Karjalaisen 2009 mukaan, 9.) Suurimpana syynä hakkuutähteiden hyödyntämättä jättämiseen on kuljetus- ja jatkokäsittelykustannukset. Venäjällä ei myöskään ole jalostuskapasiteettiä riittävästi, eikä olemassa olevia markkinoita. (Rakitova 2011, Karppisen 2012 mukaan, 9.) Lisäksi 5 - 7 % hakattujen runkojen massasta vaurioituu yleensä korjuun tai kuljetuksen yhteydessä, ja sen voi lisätä hakkuutähteisiin (Korobov & Ruslov 1991, Gerasimovin ja Karjalaisen 2009, 9 mukaan).

## 2.10 Kattilatekniikat

### 2.10.1 Yleistä kattilatekniikoista ja Venäjän kaukolämpöjärjestelmistä.

Vanhojen rakennusten lämmönjakokeskus eroaa Venäjällä suomalaisesta lämmönjakokeskuksesta. Venäjällä kaukolämpöverkoissa käytetään, kuten Tsalnan kohteessakin, suoraa kytkentää, eli kattilassa lämmitetty vesi kiertää myös patteriverkon läpi. Mikäli järjestelmällä lämmitetään myös käyttövesi, niin se otetaan suoraan kaukolämpövedestä. Lämpimän käyttöveden ja pattereiden lämpötilaa säädetään patteriverkosta palaavan jäähtyneen veden avulla. Tällöin erillisiä kiertovesipumppuja tai lämmönsiirtimiä ei tarvita. (Georgevitsh 2014; Sarvelainen, H. Saxell, M. Sinkko, A. Suikkanen, M. Tulin, E. 2014, 17.)

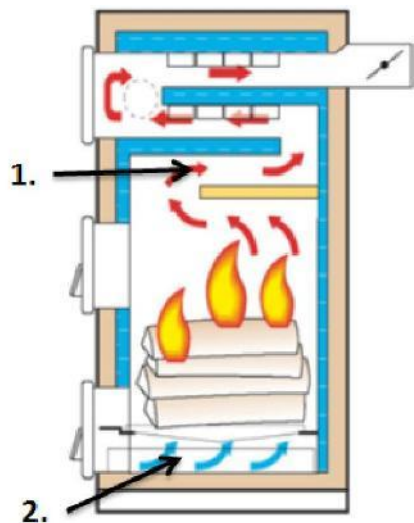
Venäjän nykyiset kaukolämpöjärjestelmät ovat vanhoja, jopa 1950-luvulta ja standardit ovat 1970-luvulta. Kaupungeissa on monia kuluttajia, jotka eivät halua liittyä keskuslämmitysverkkoon, koska se ei täytä kuluttajien tarpeita, ei ole energia tehokas ja on nykyisillä parametreilla vaarallinen. (Eliseev 2011, 9-10.)

Puulämmityksessä käytettävät kattilat jaetaan yleensä alapalo-, yläpalo- ja käänteispalokattiloihin. Näiden lisäksi on olemassa erikoiskattiloita ja edellä olevien välimuotoja, kuten stokeri- ja kaksoispesäkattiloita.

Stokerikattilassa on hakkeelle ja/tai pelletille kehitetty stokeripoltin, joka sisältää erillisen varastosäiliön, ruuvisiirtimen ja polttimen. Polttoaine palaa siinä samalla tavalla kuin yläpalokattilassa, mutta palamisen ongelmia vältellään tasaisella polttoaineensyötöllä. (Työtehoseura ry, Motivan b mukaan.)



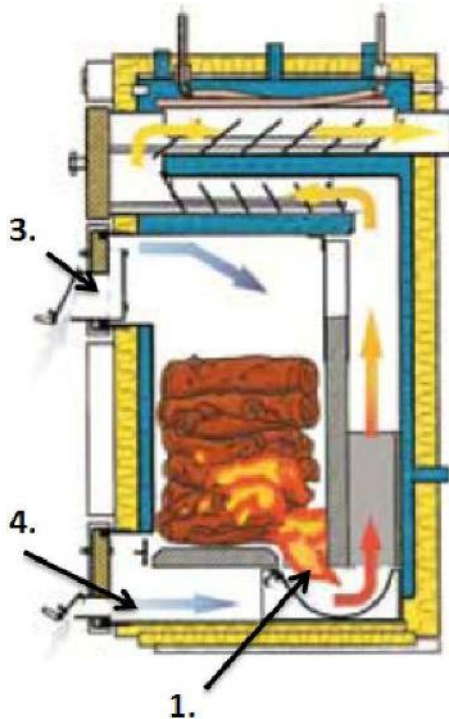
### 2.10.2 Yläpalokattila



Kuva 3. Yläpalokattila (Aalto-arina.)

Yläpalokattilassa koko polttilaan ladattu polttoainereservi on samaan aikaan tulesa, mikä johtaa lyhyempään paloikaan. Yläpalokattilan täyttöluukku on tulipesän tasolla, jolloin aina polttoainetta ladattaessa kylmä ilma pääsee jäähtymään tulipesää, mikä huonontaa palamisen hyötysuhdetta. Samoin hyötysuhdetta huonontaa se, että itse polttoaine on kylmää ja se ei syty heti, koska se ei esilämpene. Polttilaa ei saa kuitenkaan ladata täyteen polttoainetta, sillä polttoaineen yläpuolelle pitää jäädä tilaa palamisprosessille. Jollei prosessille ole tarpeeksi tilaa, palamiskaasut pääsevät palamattomina ulos kattilasta. Yläpalokattilan lämmitysteho on alussa paras ja vähenee polttoaineen palaessa loppuun. Yläpalokattilassa ilma virtaa arinan läpi alhaalta ylöspäin. (Wahlroos 1980, 116 - 118.)

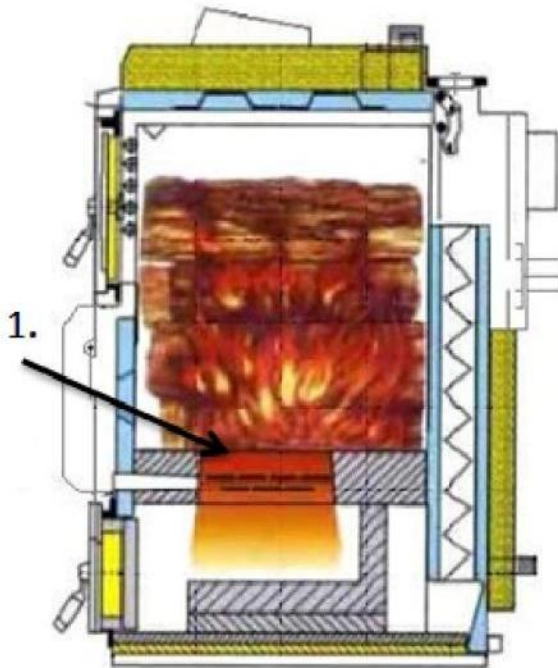
### 2.10.3 Alapalokattila



Kuva 4. Alapalokattila (Aalto-arina)

Alapalokattilat ovat hyötysuhteiltaan korkeita, ja niissä on iso varastopesä. Niiden varastopesä täytetään päältä ja palaminen tapahtuu varastopesän alaosassa arinan päällä. Varastopesän ympärillä on vesivaippa. Primääri-ilma syötetään varastopesän alaosaan. Alapalokattilassa iso hyöty on, että palavan polttoaineen päällä oleva polttoaine esilämpenee ennen palokerrokseen joutumista. Kattilaan polttoainetta lisättäessä on varottava savukaasujen pääsyä ulos. Näin voi tapahtua erityisesti, kun luukun avaa liian nopeasti tai kun polttoaine on karkeaa. Polttoaineen ollessa karkeaa, pitää lisätä vetoa, jotta savukaasut eivät pääse ulos. Muuten alapalokattilassa on pienet savukaasupäästöt. Yksi alapalokattilan hyödyistä on ylhäältä tippuneiden pienten pa-hiukkasten loppuun palaminen. Alapalokattilassa sekundääri-ilma syötetään varsinaisen palamisprosessin jälkeiseen lieskatilaan, joka viimeistelee savukaasujen loppuun palamisen. (Wahlroos 1980, 114 - 116; Lehtikangas 2009; Arimax puulämmitys 2011.)

### 2.10.4 Käänteispalokattila



Kuva 5. Käänteispalokattila (Aalto-arina)

Käänteispalokattila täytetään myös päältä, kuten alapalokattilassa ja puu palaa varastopesän alapäässä, kuitenkin niin että liekit menevät arinan läpi kokonaan tai osittain. Tämän takia arina joutuu koville. Käänteispalokattilassa palamisilma kulkeutuu huokoisen polttoainekerroksen läpi. Polttoaine ei kuitenkaan esilämpene niinkuin alapalokattilassa. Mikäli tulee syöttöhäiriö, eli puut menevät ristikkäin, tuli siirtyy ylemmäksi ja arina lämpenee liikaa. Tämä saattaa johtaa arinan puhki palamiseen. Käänteispalokattilassa sekundääri-ilma puhalletaan arinan alapuolelle, jossa se sekoittuu palavaan kaasuun ja varmistaa polttoaineen täydellisen loppuun palamisen. Käänteispalokattilassa polttoaineen läpi on saata-va iso ilmavirta, jotta palaminen tapahtuu kunnolla. Käänteispalokattilassa käytetään usein savukaasuimuria vedon parantamiseksi. Käänteispalokattila on kuitenkin helppo käyttää, vaikka se on tekniikaltaan monimuotoisin. Tekniikan monimuotoisuuden takia se on kattilatyypeistä kallein. (Wahlroos 1980,118-119; Arimax.)

## 2.11 Kosteuden vaikutus puun polttoon ja säilytykseen

Kosteus on puupolttoaineiden laatuominaisuuksista vaikuttavin ja se vaikuttaa monella tavalla esimerkiksi kuljetuskustannuksiin. Talviaikaan kaatotuoreessa havupuussa on vettä lähes 400 kg ja kuiva-ainetta 500 kg kiintokuutiometriä kohden. Veden haihduttamiseen kuluu poltossa energiaa 0,7 kWh/kg, mikä merkitsee sitä, että jos talvikaatoisen havupuun kosteus pudotetaan 55 %:sta 40:een, niin tehollinen lämpöarvo nousee 8 % ja alkuperäinen vesimäärä puoliintuu.

Puun kosteudella on negatiivinen vaikutus myös polton hyötysuhteelle, sillä mikäli kosteus on korkea, palaminen on epätäydellistä ja puun lämpöarvoa ei voi kokonaan hyödyntää. Epätäydellinen palaminen lisää myös hiilimonoksidi-, hiilivety- ja hiukkaspäästöjä. Korkea kosteusprosentti lisää myös puun homehtumisen mahdollisuutta erityisesti, mikäli puun sekaan on joutunut muuta viherainesta tai mikäli varastointi tapahtuu hakemuodossa. Kemiaalliset ja biokemiaalliset reaktiot rauhoittuvat vasta alle 25 % kosteudessa. Lisäksi talvella kostea hake saattaa jäättyä kuormassa, josta seuraa ongelmia syöttölinjoilla ja purkupaikoilla. (Hakkila 2004, 68.)

### **3 Tutkimuksen tarkoitus, tavoitteet ja aiheen rajaus**

#### **3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet**

Tutkimuksessa kartoitetaan ensin nykyistä kuvaa Suoju-Viitanan metsäkoulun energian tuotantotekniikasta ja energiankulutuksessa jonka jälkeen vertaillaan hakkeen ja pilkkeen käyttöä energianlähteenä ja eri kattilaratkaisuja Tšalnan kohteessa.

Tarkasteltavat tuotantoketjut ovat nykyisen miestyövoimin toteutetun järjestelmän päivittäminen yläpalokattilalla, toinen vaihtoehto on nykyisen järjestelmän päivittäminen alapalokattilalla. Kolmannessa ja neljännessä vaihtoehdossa tehdään puut klapikoneella ensimmäisen ja toisen vaihtoehdon kattiloille. Tässä välissä tarkastellaan klapikoneella tehtyjen polttopuiden myymistä. Viimeisenä vaihtoehtona tarkastellaan hakkeen käyttöä kohteessa. Investointiaikana työssä on käytetty 5 vuotta, huoltokustannuksina 4%:ia ja takaisinmaksu korkona 5%:ia. Todellisuudessa investointiaika venyy huomattavasti pidemmäksi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tehdä ehdotus Suoju-Viitanan metsäkoulun lämmitysratkaisujen energiatehokkuuden ja kustannustehokkuuden parantamiseksi. Samalla tutkimus voi toimia tiedonlähteenä vastaavanlaisille kohteille Karjalan tasavallan alueella.

Opiskelijan näkökulmasta tutkimus syventää hänen tietouttaan erilaisista kattilatekniikoista ja eri puuenergia muodoista. Samalla tulee tutuksi Venäjän Karjalan tasavallan alueen puuenergian käyttö.

#### **3.2 Aiheen rajaus**

Tutkimus lähtee tilanteesta, jossa energiapuu on jo koulun pihalla kuuden metrin pituisina runkoina, koska Venäjällä yritykset eivät ole halukkaita haketta-

maan puita metsässä ja kuljetukset maksaa maksimissaan 150 ruplaa kuutiolta riippumatta etäisyydestä. Samoin puun hinta on rajoitettu 700 ruplaan kuutiolta. (Georgevitsh haastattelu 2014.) Lisäksi tutkimuksesta on rajattu ulos CHP-tuotanto. Pellettiä ei käsitellä työssä vaihtoehtona. Tutkimuksessa ei käsitellä verkostohäviöitä, koska tarkemmat tiedot verkostohäviöistä ovat käytettävissä olevan ajan ja Venäjän tuoman haasteellisuuden vuoksi hankalia saada tietoon.

## **4 Aineisto ja menetelmät**

### **4.1 Tutkimusmenetelmä ja aineiston hankinta**

Opinnäytetyössä käytetään tutkimusmenetelminä vertailua ja valmisaineistoa. Aineisto kerättiin pääsääntöisesti käyttämällä sähköisiä lähteitä sekä haastatteluita. Opinnäytetyön lähdeaineisto on laaja ja pääasiassa sähköinen. Venäjän ja Karjalan tasavallan energia-alan tilan ja ohjelmien osalta tärkeimmät lähteet ovat olleet Venäjän energiastrategia ja Karjalan tasavallan energiaohjelma. Metsätalouden tilasta ja Tšalnan koulun osalta toimivat tärkeimpinä lähteinä petroskoilaisen metsäkoneenkuljettaja Vitaly Smirnovin ja Suoju-Viitanan koulun johtaja Vladimir Georgevitshin haastattelut. Ilmasto-olosuhteiden osalta Degree Daysin ja Weather Undergroundin sivuilta löytyvä data.

Kattilatekniikoiden osalta tärkein lähde on ollut Lasse Wahlroosin Kotimaiset polttoaineet ja keskuslämmityskattilat. Hakkeen ja pilkkeen käytössä lämmitysratkaisuna tärkeimpinä lähteinä on toiminut Metsätutkimuskeskuksen Katsaus energiapuuotentiaaliin, Metsäkeskuksen laatuhakkeen tuotanto-opas sekä Joel Skrökin opinnäytetyö. Opinnäytetyötä varten on lisäksi haastateltu puhelimitse Stora Enson pelletintuotanto- ja myyntijohtaja Mauno Väyrystä, myyntijohtaja Jaakko Pikkaraista sekä Valtran tuotekouluttaja Pekka Isosäviä.

### **4.2 Aineiston käsittely ja analyysi**

Aineistosta poimitaan pieneen lämpökeskukseen ja eri puuenergiamuotojen vertailuun sopiva aineisto. Näiden tietojen perusteella pyritään vertailemaan eri vaihtoehtoja ja ehdottamaan niistä Suoju-Viitanan kohteeseen sopivaa ratkaisua.

## 5 Tulokset ja tulkinta

### 5.1 Suoju-Viitanan koulun nykyinen järjestelmä



Kuva 6. Suoju-Viitanan koulun lämpölaitos.

Koulun lämpölaitos on perustettu 1971 ja siellä on kaksi 1 MW:n kattilaa, joita lämmitetään puulla. Megawatin huipputeho on määritelty luultavammin hiilelle. Toista opetusrakennusta ei ole kytketty lämpöverkkoon. Lämmitysverkossa on suora kytkentä. Lämpölaitosta hoitaa kolme lämmittäjää ja yksi sahuri.



Nykyisten kattiloiden hyötysuhde on todella pieni, arvion mukaan jopa alle 50 % (Hirvonen 2014), mutta opinnäytetyössä on hyötysuhteena käytetty 55 %. Suoju-Viitanan nykyinen kokonaisenergiankulutus (puun kosteus 30 %, kattilan hyötysuhde 55 %) on 928 MWh. Tilojen lämmityksen energiankulutus on 511 MWh.



Kuva 7. Lämpölaitoksen nykyiset kattilat

### 5.1.1 Mitoitusulkolämpötilalla laskettu huipputehontarve

Huipputehontarve on saatu seuraavalla kaavalla:

$$\Phi = \frac{Q_{\text{lammitys,tilat}}}{24 \times S / 17^{\circ}\text{C} - t_u} \quad (1.)$$

Jossa:

$\Phi$  = lämmityksen mitoitus-teho eli huipputeho, W

$Q_{\text{lammitys,tilat}}$  = rakennuksen lämmitykseen kuluva energia tarkasteluaikana, MWh

H = huipunkäyttöaika, t

S = lämmitystarveluku S17 tarkasteluaikana, °C, 4 823

$t_u$  = paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C, tässä käytetty Joensuun mitoitusulkolämpötilaa - 32 °C.

Huipunkäyttöajaksi saatiin 2 362 tuntia ja nykyisten kattiloiden huipputehoksi saatiin 216 kW.

### 5.1.2 Pysyvyyskäyrästä laskettu huipputehontarve

Keskimääräisten päivittäisten lämpötilakeskiarvojen mukaan lasketut arvot, eivät tuo esille huippupakkasjaksoja, vaikka joka vuosi tulee yli -25 °C asteen pakkasjaksoja. Näiden pakkasjaksojen esille tuomiseksi ja paremmin lämmityskautta kuvaavan pysyvyyskäyrän tekemiseksi, päivittäiset keskiarvot pitää laittaa vuosittaiseen suuruusjärjestykseen suurimmasta pienempään ja laskea päivittäiset keskiarvot näin. Näin saadun laskelmien mukaan vuoden viiden kylmimmän päivän lämmitystarveluvu näkyvät taulukossa 4. Koko aineisto on liitteessä 1.

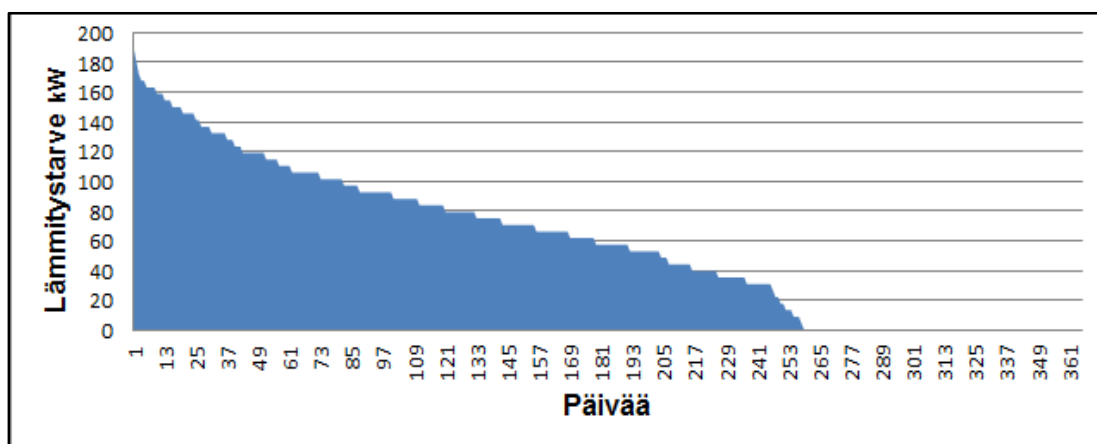
Taulukko 4. Vuosien 2009 - 2013 viiden kylmimmän päivän lämmitystarvelukujen keskiarvot

Vuosi→ Päivä↓	2009	2010	2011	2012	2013	Lämmitystarvelukujen keskiarvo
1	41	42	42	47	42	43
2	39	42	41	45	36	41
3	37	41	39	43	35	39
4	35	41	39	42	35	38
5	35	40	39	42	35	38

Vuosittaiseksi lämmitystarveluvuksi saadaan 4 817.

Pysyvyyskäyrä saadaan muodostettua jakamalla tilojen lämmitykseen kuluva vuosittainen energiamäärä saadulla vuosittaisella lämmitystarveluvulla ja kertomalla se päivittäin lämmitystarvelukujen keskiarvoilla. Näin saadaan lämmitys-

kauden profiili.m Pysyvyyskäyrästä laskemalla huipputehontarpeeksi saadaan 190 kW. Tätä käytetään tässä työssä mitoitushuipputehona.



Kuvio 1. Tšalnan Pysyvyyskäyrä

### 5.1.3 Nykyisen järjestelmän kustannukset

Koulun nykyisessä järjestelmässä pihalle tuodut 6 metriset tukit pilkotaan moottorisahalla metrin mittaisiksi polttopuiksi. Taulukosta 5 selviää moottori-sahan polttoaineen ja öljyn keskimääräinen kulutus, sekä markkinahinta.

Taulukko 5. Moottorisahan öljyn ja polttoaineen kulutus ja kustannukset (Halilovic, V. Gurda, S. Sokolovic, D. Music, J. Bajric, M. Ganic, E. 2012, 40; CDU TEK 2015: ProPartner 2015.)

Moottorisaha, polttoaineen kulutus	0.087 l/k-m <sup>3</sup> = 0.14616 l/p-m <sup>3</sup>
Moottorisaha, öljyn kulutus	0.018 l/k-m <sup>3</sup> = 0.0302 l/p-m <sup>3</sup>
2- tahti öljyn hinta	300 r/l
95 oktaanisen polttoaineen hinta	34.75 r/l

Moottorisahan polttoaineen seossuhteena käytetään 96 % 95-oktaanista bensiiniä ja 4 % moottoriöljyä.

Palkkaa kolme lämmittäjää saavat 8 000 ruplaa kuukaudessa mieheen ja sahuri 14 000 ruplaa kuukaudessa., eli kokonaispalkkakustannukset ovat 38 000 ruplaa kuukau-  
dessa. Puut ovat koulun omista metsistä, ja ne tuodaan maan tavan mukaisesti kuorma-autolla kuuden metrin tukkeina koulun pihalle, jossa ne sahataan metrin haloiksi. Puuta koulun lämmittämiseen tarvitaan 754 p-m<sup>3</sup>. (Georgevitsh 2014).

Kokonaisvuosikustannukset nykyisessä järjestelmässä ovat 995 000 RUB. Energian hintaa määriteltäessä kokonaisvuosikustannukset jaetaan tilojen lämmitysenergiankulutuksella, joka on 511 MWh/v. Näin energianhinnaksi saadaan 1 947 RUB vuodessa.

Taulukko 6. Nykyisen järjestelmän vuosikustannukset

Raaka-aine	754 p-m <sup>3</sup>	641 000 RUB
Moottorisahan öljyn kulutus	27 l	8 160 RUB
Moottorisahan bensa- kulutus 95 okt. (96 %)	106 l	3 680 RUB
Palkat	9 kk	342 000 RUB
Kokonaisvuosikustan- nukset yhteensä		995 000 RUB
Kattilalla kulutetun ener- gian hinta	929 MWh	1 099 RUB/MWh
Kattilalla tuotetun ener- gian hinta	511 MWh	1 947 RUB/MWh
Kattilan hyötysuhteesta johtuvan hukkaenergian määrä		418 MWh vuodessa

## 5.2 Kosteuden ja kattilan hyötysuhteen vaikutus Tšalnan kohteessa

Koska Tšalnan kohteessa käytetään pääasiassa haapaa polttoaineena tässä opinnäytetyössä käytetään laskuissa haavan lämpöarvoa, joka on 20 % kosteilla haavalla 4 kWh/kg eli 14,4 MJ/kg (Alakangas 2000, 73). Alla olevalla kaavalla on laskettu haavalle eri lämpöarvot eri kosteuksille.

$$Q_{net,d} \times \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02443 \times M_{ar} = Q_{net,ar} \quad (2.)$$

$Q_{net,ar}$  = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)

$Q_{net,d}$  = tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)

$M_{ar}$  = kosteus saapumistilassa [p- %]

0,02433 (MJ/kg) on veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä (+25 °C)

(Hakonen 2012.)

Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo eri kosteuksilla on saatu johtamalla kaava seuraavaan muotoon.

$$\frac{100Q_{net,ar} + 2,443M_{ar}}{100 - M_{ar}} = Q_{net,d} \quad (3.)$$

Tulokset löytyvät taulukosta 7.

Taulukko 7. Haavan poltto-ominaisuuksia ja Suoju-Viitanan koulun lämpölaitoksessa tarvittavan puun määrä eri kosteusprosentilla. Kattilan hyötysuhde 55 % (Alakangas 2000; Halkoliiteri.)

Kosteus (%)	Puun määrä (p-m <sup>3</sup> )	Lämpöarvo (MJ/kg)	Tiheys (kg/p-m <sup>3</sup> )	Energiasisältö (kWh/p-m <sup>3</sup> )	Lämpöarvo (kWh/kg)
0	648	18,6	277,5	1 434	5,17
15	678	15,5	319,1	1 370	4,29
20	698	14,4	333	1 330	4
25	722	13,3	346,9	1 286	3,71
30	754	12,3	360,8	1 232	3,41
35	794	11,2	374,6	1 170	3,12
40	845	10,2	388,5	1 099	2,83
45	910	9	402,4	1 021	2,54
50	994	8,1	416,3	935	2,25
55	1 106	7	430,1	840	1,95
60	1 260	6	444	737	1,66

Nykyisessä tilanteessa Tšalnan kohteen lämpölaitoksessa poltettavan puun kosteus tuskin alittaa 30 %, todennäköisesti kosteus on isompikin, sillä paksua puutavaraa säilytetään ulkona taivasalla, jossa se ei pääse kuivumaan hyvin. (Puhakka 2014).

Taulukosta 8 näkyy kattilan hyötysuhteen vaikutus energiankulutukseen.

Taulukko 8. Energiankulutus eri hyötysuhteilla

Kattilan hyötysuhde	Energian kulutus (MWh)	Kattilan hyötysuhde	Energian kulutus (MWh)
55 %	929	80 %	639
60 %	851	85 %	601
65 %	786	90 %	568
70 %	729	95 %	538
75 %	681	100 %	511

### 5.3 Vaihtoehtojen vertailu

#### 5.3.1 Nykyisen järjestelmän päivittäminen, yläpalokattila

Kuten sivulla 39 olevasta taulukosta 7 näkee, pelkällä puutavaran kunnollisella kuivatuksella 20 prosentin kosteuteen saataisiin puun käytöstä 56 p - m<sup>3</sup> pois. Puun varastoinnissa paikallisissa olosuhteissa on kuitenkin ongelmansa paikallisissa toimintatavoissa. (Etelätalo.) 72 %:n hyötysuhteella olevalle kattilalle kokonaisenergiankulutukseksi saadaan kohteessa 710 MWh/v. Kohteeseen kannattaa kuitenkin hankkia isompi kattila kuin tarvittava huipputehontarve, sillä silloin saadaan puskuria ja kattilaa ei huipputehon tarpeenkaan aikana tarvitse jatkuvasti olla täyttämässä. KVR-800 hiili/pilke-kattila, joka tuottaa pilkkeellä lämmittäessä 400 kW maksaa Venäjällä asennuksineen ja kuljetuksineen 1 521 000 ruplaa. (taulukko 9.) Kattilan vesisäiliöön mahtuu 750 litraa vettä jolloin tilanteessa, jossa kaikki säiliössä oleva puu on kokonaan palanut, kattilan lämpökapasiteetiksi kaavalla 4 saadaan 21,8 kWh (Baltkotlomash). Tällöin vesi on 95-asteista ja sen jäähtyminen 70 asteeseen kestää 3,3 minuuttia.

$$Q = Pt = cm\Delta T \quad (4.)$$

Q = kokonaisenergia, J

P= huipputeho, kW

t = aika, s, tässä tapauksessa kaavasta tulee tunteja, h

c = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,19 kJ

m = veden massa, 750 kg (1kg =1 l )

$\Delta T$ = lämpötilaero, °C

Taulukko 9. KVR 800- kattilan hankintakustannukset (Baltkotlomash; Della)

Kattila	KVR 800	759 000 RUB
Automaatio+ asennus		752 000 RUB
Kuljetus	Pietarista (400 km)	10 000 RUB
Yhteensä		1 521 000 RUB

Puuta tarvitaan 576 pinokuutiota tässä vaihtoehdossa. Moottorisahalla puut yläpalokattilalle tehdessä kokonaisvuosikustannukset ovat 1 308 000 RUB ja energianhinta 2 630 RUB/MWh. (taulukko 11.)

Taulukko 10. KVR 800 - kattilalla, sekä moottorisahalla sahatun energian vuosittaiset tuotantokustannukset. Puun kosteus 30 %

Raaka-aine (kattilan hyötysuhde 72 %)	576 p-m <sup>3</sup>	490 000 RUB
Moottorisahan öljyn kulutus	21 litraa	6 240 RUB
Moottorisahan bensen kulutus 96 %-95 okt	81 litraa	2 810 RUB
Palkat	9kk	342 000 RUB
Kattilan vuosikustannukset	5 v, korko 5 %, huoltokustannukset 4 %	467 000 RUB
Vuosittaiset kustannukset yhteensä		1 308 000 RUB
Kattilalla kulutetun energian hinta	710 MWh	1 893 RUB/MWh
Kattilalla tuotetun energian hinta	511 MWh	2 630 RUB/MWh
Hukkaenergian määrä		199 MWh vuodessa

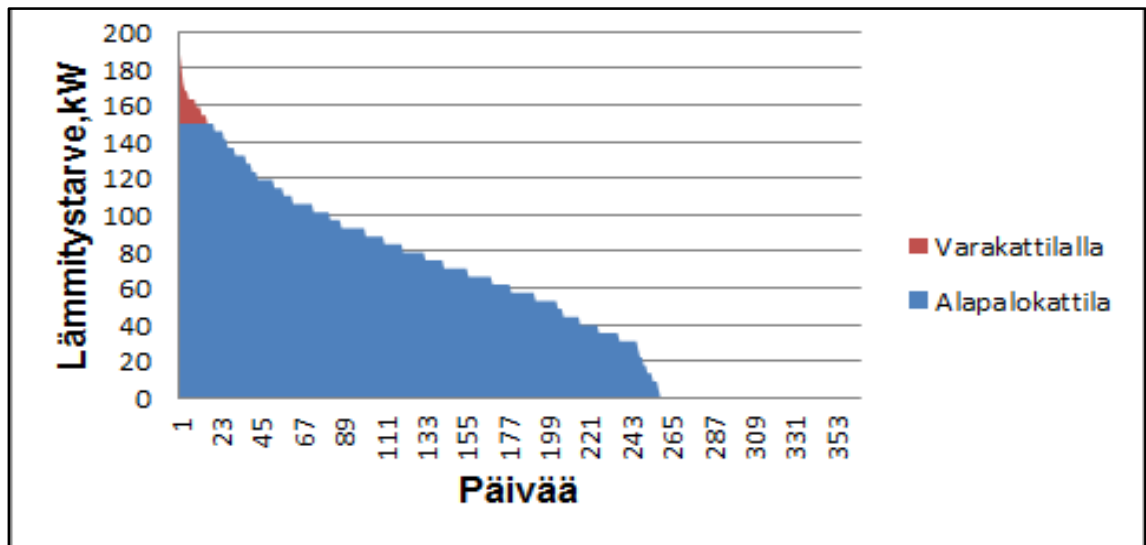
### 5.3.2 Nykyisen järjestelmän päivittäminen, alapalokattila

Alapalokattila on yläpalokattilaa tehokkaampi, mutta polttoaineen laatuvaatimuksiltaan vaativampi kattila. (Wahlroos 1980, 117.) Verkosta löytyi kohteeseen sopivaksi alapalokattilaksi Trajan T150. Sen rinnalle tarvitaan kuitenkin varakattila ja siinä tehtävässä tässä vaihtoehdossa toimii nykyiset kattilat tai vähintään toinen. Kattila maksaa Venäjällä automaatioineen 1 068 000 ruplaa. (Trajan.) Automaation hinta on otettu KVR 800-kattilan hintatiedoista, mutta todellisuudessa hinnat eivät ole samat.



Taulukko 11. Trajan T150-kattilan hankintakustannukset

Kattilat	Trajan T150	290 000 RUB
Automaatio+ asennus		752 000 RUB
Kuljetus	Moskovasta (1 000km)	25 000 RUB
Yhteensä		1 068 000 RUB



Kuvio 2. Pysyvyyskäyrä alapalokattilalla

Trajan T150-kattilan hyötysuhde on 84 %. Energiankulutus on laskettu Trajan T150-kattilan ollessa pääkattilana, jolloin lähes kaikki energia tuotettaisiin sillä. Energiankulutukseksi saadaan 604 MWh ja puun kulutukseksi 490 p-m<sup>3</sup>. Mootorisahalla puut alapalokattilalle tehdessä kokonaisvuosikustannukset ovat 1 092 000 RUB ja energianhinta 2 138 RUB/MWh. (taulukko 12.) Energiasta 99 % tuotetaan T150-kattilalla. Varakattiloiksi jäisi nykyiset kattilat ( kuvio 2).

Taulukko 12. Trajan T150-kattilalla, sekä moottorisahalla sahatun energian vuosittaiset tuotantokustannukset. Puun kosteus 30 %

Raaka-aine	490 p- m <sup>3</sup>	417 000 RUB
moottorisahan öljyn kulutus	18 litraa	5 310 RUB
moottorisahan bensen kulutus 96%-95 okt	69 litraa	2 390 RUB
Palkat	9 kk	342 000 RUB
Kattilan vuosikustannukset	5 v, korko 5%, huoltokustannukset 4%	326 000 RUB
Yhteensä kattila+ käyttökulut		1 092 000 RUB
Kattilalla kulutetun energian hinta	604 MWh	1 807 RUB/MWh
Kattilalla tuotetun energian hinta	511 MWh	2 138 RUB/MWh
Kattilan hyötysuhteesta johtuva hukkaenergia		93 MWh vuodessa

### 5.3.3 Yläpalokattila ja klapikone

Koululla on olemassa jo traktori, joten uutta traktoria ei välttämättä tarvitsisi klappikoneen pyörittämiseen ostaa. JAPA 375- klappikone maksaa Venäjällä 10 100 ruplaa. Kyseisellä klappikoneella pystyy tekemään tunnissa 6 p-m<sup>3</sup>:ta puuta, joten koululle tarvittavan puumäärän pystyy tekemään 96 tunnissa. (Ekoprom.) Dieselin litrahinta tällä hetkellä Laatokan Karjalassa on 35 ruplaa. (CDU TEK.) Vanhalla traktorilla dieselin kulutus klappikoneella työstäessä on keskimäärin 12 litraa tunnissa ( Isosävi). Kokonaisvuosikustannukset tässä vaihtoehdossa ovat 1 342 000 RUB ja energianhinta 2628 MWh (taulukko 13).

Taulukko 13. Klapi-koneella ja yläpalokattilalla tuotetun energian tuotannon vuosikustannukset

Raaka-aine (kattilan hyötysuhde 72 %)	576 p-m <sup>3</sup>	490 000 RUB
Klapi-kone JAPA 375	5 v, korko 5%, huoltokustannukset 4 %	3 310 RUB
Dieselin kulutus	1 150 litraa	40 300 RUB
Palkat	9kk	342 000 RUB
Kattilan vuosikustannukset	5 v, korko 5%, huoltokustannukset 4 %	467 000 RUB
Klapi-kone+ yläpalokattila vuosikustannukset		1 342 000 RUB
Kattilalla kulutetun energian hinta	710 MWh	1 892 MWh
Kattilalla tuotetun energian hinta	511 MWh	2 628 MWh
Kattilan hyötysuhteesta johtuva hukkaenergia		199 MWh vuodessa

### 5.3.4 Alapalokattila ja klapi-kone

Raaka-ainetta kuluu yhtä paljon kattilan kokonaisenergian kulutus on sama kuin moottorisahallakin operoidessa. Suoritusvauhdilla 6 p - m<sup>3</sup> tunnissa koululle tarvittavan puumäärän pystyy tekemään 81 tunnissa Klapi-koneella operoidessa alapalokattila vaihtoehdon vuosittaiset kokonaiskustannukset ovat 1 126 000 RUB ja energian hinta on 2 204 RUB/MWh. (taulukko 14.)

Taulukko 14. Alapalokattilalla ja klapikoneella tuotetun energian vuosikustannukset

Raaka-aine	490 p- m <sup>3</sup>	417 000 RUB
Klapikone JAPA 375	5 v, korko 5%, huoltokustannukset 4 %	3 310 RUB
Dieselin kulutus	981 litraa	34 300 RUB
Palkat	9kk	342 000 RUB
Kattilan vuosikustannukset	investointiaika 5 v, korko 5%, huoltokustannukset 4%	326 000 RUB
Alapalokattila + klapikone vuosikustannukset		1 126 000 RUB
Kattilalla kulutetun energian hinta	604 MWh	1 862 RUB/MWh
Kattilalla tuotetun energian hinta	511 MWh	2 204 RUB/MWh
Kattilan hyötysuhteesta johtuva hukkaenergia		94 MWh

### 5.3.5 Puun myymimen

Tšalnan kylän asukkailla on ollut halukkuutta ostaa koululta puita, mikäli koulu niitä tekisi myyntiin. (Puhakka) Yhden pinokuution polttoainekustannukset ovat 70 RUB, mikä tekee yhden pino-kuution hinnaksi 920 RUB, joten myyntihinta kannattaa olla tätä korkeampi. 950 RUB pinokuution rupla hinnalla 25 myytyä pinokuutiota toisi voittoa suhteessa nollaan myytyyn pinokuutioon 750 RUB, mikä alentaisi energian hintaa vain kopeekoilla per megawattitunti. 400 myytyä kuutiota 1 100 RUB hintaan taas toisi voittoa jo 71 800 RUB vuodessa (taulukko 15.) ja energian loppuhintakin olisi tällöin yläpalokattilalla 2 487 RUB/MWh ja alapalokattilalla 2 063 RUB/MWh. Tässä energian loppuhinnalla tarkoitetaan kattilalla tuotetun energian hintaa.

Taulukko 15. Puun myynnistä saatava voitto verrattuna 0-myyntiin eri myyntimäärillä ja kuutiohinnoilla

Hinta → Myyty puun määrä ↓	950 RUB/p-m <sup>3</sup>	1 000 RUB/p-m <sup>3</sup>	1 050 RUB/p-m <sup>3</sup>	1 100 RUB/p-m <sup>3</sup>
25 p-m <sup>3</sup>	750	2 000	3 250	4 500
50 p-m <sup>3</sup>	1 490	3 990	6 490	8 990
75 p-m <sup>3</sup>	2 230	5 980	9 730	13 480
100 p-m <sup>3</sup>	2 960	7 960	12 960	17 960
125 p-m <sup>3</sup>	3 700	9 950	16 200	22 450
150 p-m <sup>3</sup>	4 440	11 940	19 440	26 940
175 p-m <sup>3</sup>	5 180	13 930	22 680	31 430
200 p-m <sup>3</sup>	5 920	15 920	25 920	35 920
250 p-m <sup>3</sup>	7 400	19 900	32 400	44 900
300 p-m <sup>3</sup>	8 880	23 880	38 880	53 880
350 p-m <sup>3</sup>	10 360	27 860	45 360	62 860
400 p-m <sup>3</sup>	11 830	31 830	51 830	71 830

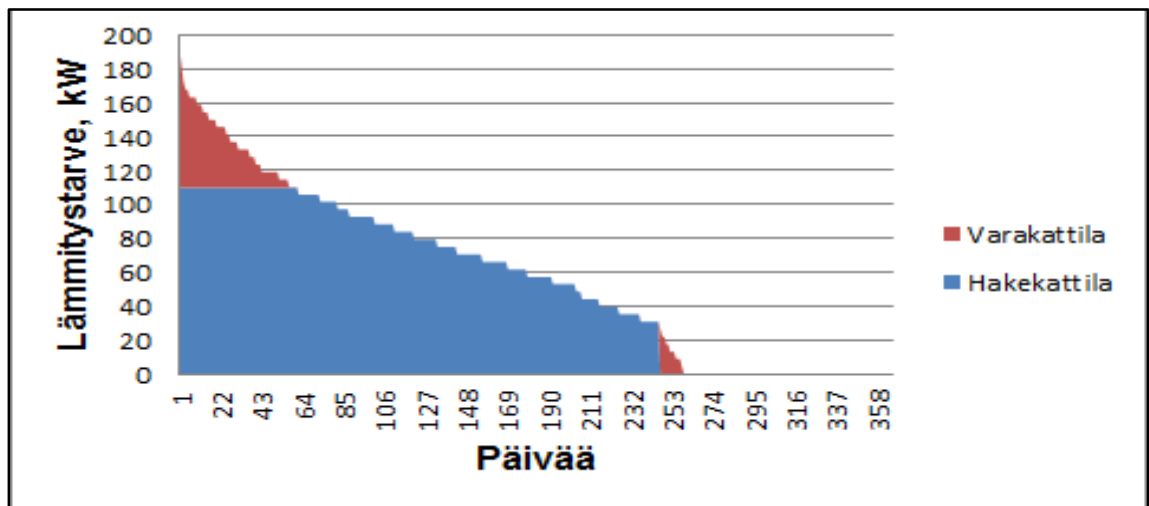
### 5.3.6 Hakekattila ja hakkuri

Tšalnan kohteeseen tarvittavan teholuokan kattiloiden valmistajia Venäjältä löytyy erittäin hankalasti, mutta ulkomaisia kattiloita sen sijaan maahan myydään. Kuitenkaan ei ole kovinkaan taloudellista hankkia hakekattilaa tarvittavan huipputehon mukaan, jolloin kattila toimisi kaikkina muina aikoina, paitsi kovimmilla pakkasilla alitehoisena. Froling T4 110 kW-kattila maksaa Venäjällä 1 339 500 ruplaa (Apreli 2015). Froling T4-kattilan minimikäyttöteho on 33 kW. Varajärjestelmänä säilytettäisiin vanhat kattilat. Hinta vertailuna 300 kW:n kattila maksaa kaikkin osineen 1 427 000 ruplaa (RKKO).

Taulukko 16. Froling T4- hakekattilan hankintakustannukset

Kattila automaatio+ asennus	Froling T4 110kW	1 339 500
Kuljetus	Volgogradista 1 500 km	37 500 RUB
Yhteensä		1 377 000RUB

Kattilan hyötysuhde on 85 %. Kokonaisenergian kulutukseksi kohteessa tulee 629 MWh. Kulutetusta energiasta 91 % tuotettaisiin hakkeella ja 9 % varaenergian lähteeksi jääneillä nykyisillä kattiloilla (kuvio 3). Varakattilalla tuotetaan energiaa silloin kun lämpötehontarve on hakekattilan minimikäyttötehon ja huipputehon ulkopuolella.



Kuvio 3. Hakelämmityksen pysyvyyskäyrä

Karkeampaa palakokoa hakettavat hakkurit maksavat vähemmän kuin hienompaa palakokoa hakettavat. Avangara BXC62C- hakkuri maksaa 194 500 ruplaa (Avangara). Hakkurin lisäksi pitää ostaa koululle hakeperäkärri, jollaisena voi toimia myös tavallinen, mieluiten korkealaitainen traktorin peräkärri. Kuuden tonnin peräkärri T710/1 maksaa Venäjällä 395 000 ruplaa. (Td Sojustehsnab.). Polttoaineen kulutus hakettaessa vanhalla traktorilla on 23 litraa tunnissa. Polttoaineen kulutukseen vaikuttaa muun muassa hakkeen tuoreus, eli mitä tuoreempaa hake on, sitä vähemmän voimaa hakettaminen tarvitsee, sekä hak-

kurin oma paino. (Isosävi.) BXC62C-hakkurin suorituskyky on 8 - 10 p-m<sup>3</sup> tunnissa ja puuta kuluu vuodess 511 p-m<sup>3</sup>, josta 445 p-m<sup>3</sup> haketetaan (Td Sojusstehsnab.) Puun tekeminen koulun tarpeisiin kestää 56 tuntia. Kyseinen hakkuri on laikkahakkuri, joten se ei sovellu latvusten hakettamiseen ja on erityisen herkkä epäpuhtauksille. Kokonaisvuosikustannukset hakevaihtoehdossa ovat 1 420 000 RUB ja energian hinta 2 779 RUB/MWh (taulukko 17).

Taulukko 17. Hake-energian vuosikustannukset. Huomioitavaa, että varaston tai varastojen rakennuskustannukset eivät sisälly laskelmaan. Puun kosteus 30 %

Raaka-aine	511 p - m <sup>3</sup>	434 000 RUB
Hakettaja BXC62C	5 v, korko 5 %, huoltokustannukset 4 %	21 600 RUB
Peräkärrä T710/1	5 v, korko 5 %, huoltokustannukset 4 %	59 900 RUB
Dieselin kulutus	1 281 litraa	41 000 RUB
Moottorisahan käyttökulut		1 030 RUB
Palkat	9 kk	342 000 RUB
Kattilan vuosikustannukset	5 v, korko 5 %, huoltokustannukset 4 %	419 700 RUB
Hake-energian vuosikustannukset		1 420 000 RUB
Kattilalla kulutetun energian hinta	629 MWh	2 255 RUB/MWh
Kattilalla tuotetun energian hinta	511 MWh	2 779 RUB/MWh
Kattilan hyötysuhteesta majohtuva hukkaenergia.		118 MWh vuodessa.

### **5.3.6.1 Hakkeen varastoinnista**

Hakevaihtoehto vaatisi ehdottomasti oman varaston rakentamisen, raaka-aine pitäisi olla tarpeeksi kuivaa. Hakkeen raaka-aine olisi hyvä pitää varastokasois-  
sa kesän yli ja hakettaa vasta syksyllä. Hakevaihtoehdossa Tšalnan kohteessa hakkeen varastointi voisi toimia siten, että tekee toisen varaston, mikäli koulura-  
kennuksen tontti ei ole riittävän iso, lämpölaitoksen viereen ja välivaraston esi-  
merkiksi samalle tontille jossa koulun pajat sijaitsevat.



## 6 Päätäntö

### 6.1 Tarkastelu

Tutkimuksen tarkoituksena oli Suoju-Viitanan metsäkoulun lämpölaitoksen energia- ja kustannustehokkuuden parantaminen. Tutkimus osoitti, että laitos tulee energiatehokkaammaksi jo sillä, että päivitetään lämmityslaitoksen kattilat parempi hyötysuhteisiin kattiloihin. Toki asia koskee vain itse lämpölaitosta, ja työssä ei ole esimerkiksi tarkasteltu polttoaineen kulutuksesta aiheutuvaa energiankulutusta. Kustannustehokkuuden osalta nykyinen järjestelmä on käsitellyistä ratkaisuista halvin, mutta ero ei ole suuri alapääkattilalla tuotettuun energian loppuhintaan.

### 6.2 Virhearviointi ja tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen tekemistä vaikeutti huonot olosuhteista johtuvat yhteydet tutkimuskohteeseen, kohteella tuli käytyä vain kerran paikan päällä ja myöhemmin tutkimuskohteeseen ei saatu yhteyttä. Avoimiksi kysymyksi jäi esimerkiksi se käyttääkö koulu puun kuljettamiseen omilta mailtaan ulkopuolista yhtiötä vai kuljettaako se itse puun omalle pihalle. Tämä vaikuttaa raaka-aineen hintaan ja kilpailukykyyn. Muita epävarmuustekijöinä ovat se, että osa hintatiedoista on jouduttu arvioimaan ja todellisia kustannuksia ei voida tarkkaan arvioida ellei asiantuntija käy paikan päällä arvioimassa. Erityisesti Trajan T150-kattilan hinnassa voi olla heittoa oikeaan hintaan. Lisäksi Metsäkeskuksen ylläpitämä Halkoliiteri- sivusto ja Alakangas antoivat ristiriitaisia tietoja haavan tiheydestä. Tutkimuksen tuloksia voi pitää kuitenkin suuntaa antavia ja niiden pohjalta voi tehdä johtopäätöksiä. Hakkeen lämpöarvona käytettyä lukua voi myös kritisoida, sillä hakkeen joukossa eri puulajit esiintyvät tasaisemmin. Tämän vaikutus kustannuksiin on kuitenkin alle 1%.

Aineiston tulkinta oli opiskelijan vastuulla. Käytettävää aineistoa ei lainattu ilman asianmukaisia lähdeviitteitä. Koska suurin osa tutkimusaineistosta on internetistä vapaasti saatavissa, ei erillistä tutkimuslupaa tarvittu. Tutkimuksessa jouduttiin osittain turvautumaan toissijaisiin lähteisiin kielimuurin takia. Opiskelija käsittelee saamiaan tietoja luottamuksellisesti.

### **6.3 Jatkotutkimusaiheet**

Jatkon kannalta kannattaisi selvittää, kuinka laajaa ja millä hinnalla Tšalnan kyläläiset olisivat valmiita ostamaan puuta. 1 050 RUB/p-m<sup>3</sup> hinnalla 35 000 ruplan kustannuseron kiinni saamiseksi miestyövoiman ja koneellisen vaihtoehdon väliltä täytyy puuta saada myytyä lähes 300 pinokuutiota. Lisäksi voisi tehdä tutkimuksen niin, että lämmitettäisiin lämmin käyttövesi myös lämmityslaitoksen kattilalla.

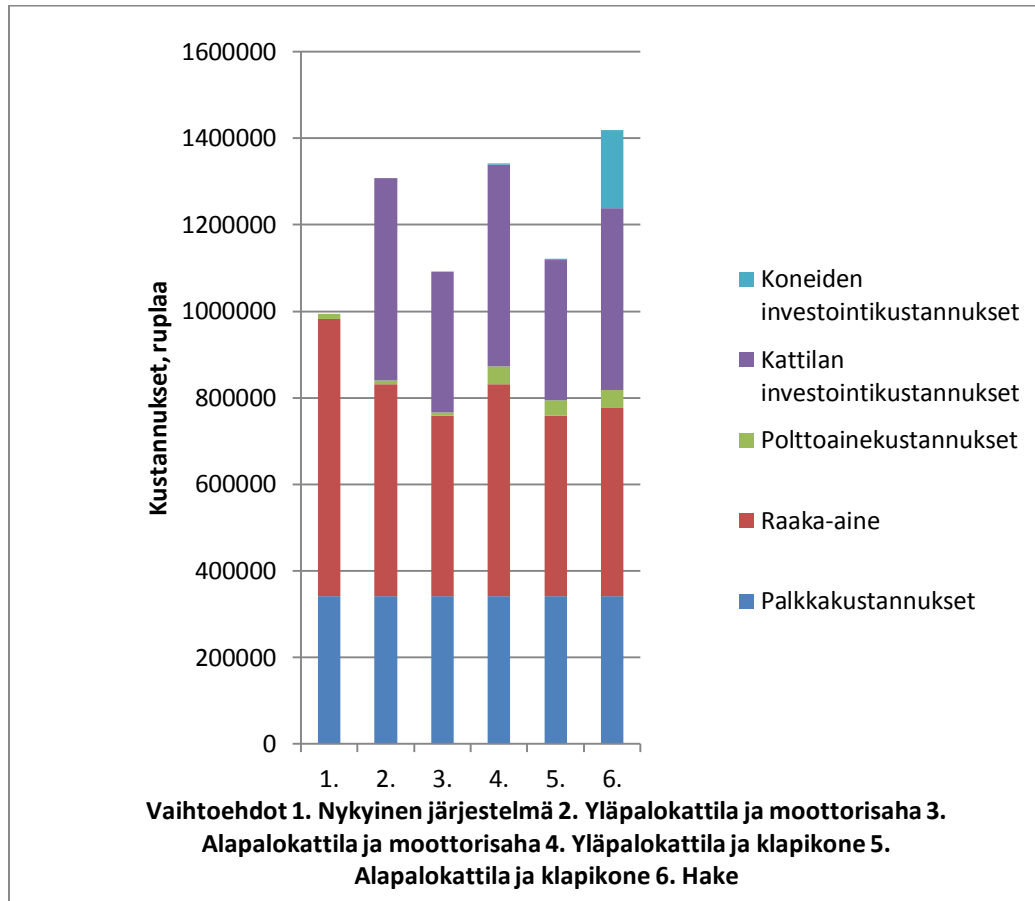
Tutkimuksen aikana nousi esille kolmaskin tutkimusta kaipaava asia, sillä ei löytynyt tutkimuksia sirkkeliä ja hakkureiden polttoaineen- ja öljyn kulutuksesta, vaan tässäkin tutkimuksessa olevat luvut ovat asiantuntijan kokemuspohjaisia arvioita.

## 6.4 Toimenpidesuosituksset

Taulukko 18. Yhteenvetotaulukko. Lihavointi tarkoittaa energian loppuhintaa.

Energiantuotantotapa	Vuosikus- tannus (RUB/v)	<b>Kattiloilla tuotetun energian hinta (RUB/MWh)</b>	Kulutetun energian hinta (RUB/MWh)	Kattilan hyötysuhteesta johtuva hukkaenergia (MWh)
Nykyinen järjestelmä	995 000	<b>1 947</b>	1 099	418
Yläpalokattila+moottorisaha	1 308 000	<b>2 559</b>	1 843	198
Alapalokattila+ moottorisaha	1 092 000	<b>2 138</b>	1 807	94
Yläpalokattila+ klapi-kone	1 342 000	<b>2 628</b>	1 892	198
Alapalokattilat +klapikone	1 126 000	<b>2 204</b>	1 863	94
Haketus	1 420 000	<b>2 779</b>	2 255	118

Suosittelavaa on, että Suoju-Viitanan koulu jatkaisi pilkkeen käyttöä lämmitysratkaisuna. Koska nykyiset kattilat ovat lähestymässä elinkaarensa loppua, kannattaisi hankkia uusi kattila. Uudeksi kattilaksi kannattaa hankkia alapalokattila, sillä se vähentää työnteen määrää ja on hyötysuhteeltaan korkea. Tulee ottaa huomioon kuitenkin, että alapalokattilan hankintakustannukset ovat kaikkein eniten arvioituja, sillä minkäänlaisia pakettihintoja ei netissä ollut. Trajan T150- kattila vaatii suhteellisen kuivaa puuta polttoaineeksi, joten jonkinlainen varastokatos olisi rakennettava puiden säilytykseen. Tässä tutkimuksessa ei arvioitu varaston rakennuskuluja, mutta joka tapauksessa uusi kattila tulisi olemaan luultavasti kymmeniä vuosia käytössä, joten pidemmän päälle se säästää rahaa, aikaa ja energiaa nykyiseen verrattuna huomattavasti. Koneellisen ja miesvoimin tehdyn vaihtoehtojen kustannusero on 32 - 34 000 ruplaa. Puun myynti hintaan kuitenkin vaikuttaa oleellisesti se, että maksaako koulu raaka-aineesta markkinahinnan mukaan jollekin kuljetusyriykselle, vai onko kuljetuskustannukset koulun omilla harteilla.



Kuvio 4. Vertailuvaihtojen kustannukset

Taulukko 19. Tuotetun energian loppuhinta puun myynnillä. 50 p - m<sup>3</sup> myytyä puuta.

Puun hinta RUB/p-m <sup>3</sup>	Energian loppuhinta (yläpalo/alapalo) (RUB/MWh)	Vuosikustannukset puun myynnillä. (yläpalo/alapalo) (RUB/MWh)
950	2 626 / 2 201	1 341 000 / 1 125 000
1000	2 620 / 2 196	1 338 000 / 1 122 000
1050	2 615 / 2 192	1 336 000 / 1 120 000
1100	2 610 / 2 187	1 333 000 / 1 117 000

## Lähteet

- Aalto-arina. Kattilatyypit ja arinan kestävyys.  
<http://www.aaltoarina.fi/index.php?pid=87&lg=fi>. 24.5.2015.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>. 25.4.2015.
- Apreli. 2015. Априлий.  
<http://www.apreli.ru/katalog/category/view/16.html>. 20.2.2015.
- Arimax puulämmitys. 2011. Ariterm.  
<http://195.67.82.150/ariterm/Puulammitys%20low%20res.pdf>. 10.3.2015.
- Avangara. Веткоизмельчитель ВХ62С на трактор [Traktorikäyttöinen hakkuri ВХС62С]. <http://specavangard.ru/products/bx62c>. 18.2.2015.
- Baltkotlomash (балткотломаш).  
<http://www.bkm-spb.ru/upload/price-baltkotlomash.xls>. 13.2.2015
- Bioenergianeuvoja. Bioenergian Pikkujättiläinen. 2014.  
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/kasittet-ja-sanastoa/>. 1.10.2014.
- Complexdoc 2011. Дрова. Технические условия. ГОСТ 3243-88. Издание официальное. [Polttopuut. Tekniset vaatimukset. GOST 3243-88.] <http://www.complexdoc.ru/text/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%203243-88>. 18.3.2015.
- CDU TEK. 2015. Russian regions' average petroleum products consumer prices. [http://www.cdu.ru/en/Prices\\_AZS/](http://www.cdu.ru/en/Prices_AZS/). 18.2.2015.
- Degree Days.net <http://www.degree-days.net>. 29.11.2014.
- Della. Transportation prices in Russia. <http://www.della-ru.com/price/local/>. 24.2.2015.
- Екором. ЭКОПРОМ. Дровокол JAPA 375. [Klapikone JAPA 375]  
<http://ecoprom74.ru/magazin/product/drovokol-japa-375>. 23.4.2015.
- Eliseev, K. 2011. District heating systems in Russia and Finland. Mikkeli University of Applied Sciences. Building Services. Bachelor Thesis.  
[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25777/DISTRICT\\_HEATING\\_SYSTEMS\\_IN\\_FINLAND\\_AND\\_RUSSIA.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25777/DISTRICT_HEATING_SYSTEMS_IN_FINLAND_AND_RUSSIA.pdf?sequence=1). 25.5.2015.
- Etelätalo, E. 2014. Lehtori. Karelia- ammattikorkeakoulu. Tiedonanto. Joulukuu 2014.
- Filipchuk, A. 2003. Справочник лесничего [Forester's reference book]. Moskova. All-Russian Research Institute of Forestry and Forest Mechanization (VNIILM).
- Froeling. T4 wood chip boiler.  
[http://www.froeling.com/images/stories/pdf/prospekte/en/p0530513\\_prospekt%20t4\\_rev05\\_en\\_mail.pdf](http://www.froeling.com/images/stories/pdf/prospekte/en/p0530513_prospekt%20t4_rev05_en_mail.pdf). 18.3.2015.
- International Energy Agency (IEA). Energy and Heat.  
<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?year=2012&country=RUSSIA&product=ElectricityandHeat>. 26.4.2015.
- Georgevitsh, V. 2014. Rehtori. Suoju- Viitanan metsäkoulu. Haastattelu 24.4.2014.
- Gerasimov, Y & Karjalainen, T. 2009. Assessment of Energy Wood Resources in Northwestern Russia. Metla.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.pdf>. 18.3.2015.

- Hakkila, P. 2004. VTT. Puuenergian teknologiaohjelma. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. 1998 - 2003  
[http://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/puuenergian\\_teknologiaohjelma.pdf](http://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/puuenergian_teknologiaohjelma.pdf). 21.1.2015.
- Hakonen, T. 2012. Kosteuden vaikutus energiapuun polton kannattavuuteen. Suomen maataloustieteenpäivät.  
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34746/B55.pdf?sequence=1>. 22.1.2015.
- Halilovic, V. Gurda, S. Sokolovic, D. Music, J. Bajric. M. Ganic. E. 2012. Fuel and lubricants consumption in the harvesting and processing wood in public enterprise forest offices vares section 37. Univerzitet u Sarajevu.  
[http://www.sfsa.unsa.ba/nauka/dokument/Radovi-2012-2/2012\\_2\\_3\\_Halilovic.pdf](http://www.sfsa.unsa.ba/nauka/dokument/Radovi-2012-2/2012_2_3_Halilovic.pdf). 23.1.2015.
- Halkoliiteri. Polttopuun ominaisuudet. 2015. Metsäkeskus.  
<http://www.halkoliiteri.com/?id=587>. 22.1.2015.
- Hirvonen, M. 2015. Projektikoordinaattori. Karelia -ammattikorkeakoulu. Useita tiedonantoja 2014 - 2015.
- Infobio. О нас пишут коллеги: «Русское географическое общество» осветило конференцию «Лесная энергия», организатором которой выступил НП «НБС», ВО «РЕСТЭК», ИАА «ИНФОБИО», журнал «Международная биоэнергетика». [Kollegat kirjoittavat meistä: Venäjän maantieteellinen seura valaisi Metsäenergia-konferenssin, jonka järjestäjinä olivat kansallinen bioenergiayhteisö NP "NBS", VO "RESTEK", IAA "Infobio", aikakauslehti "Meždunarodnaja bioenergetika". 6.7.2011.  
<http://www.infobio.ru/analytics/1116.html>. 24.5.2015.
- Infobio. 2014. В АВГУСТЕ 2014 Г. НА ТЕРРИТОРИИ СУОЯРВСКОГО ГОРОДСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ БУДЕТ ВВЕДЕНА В СТРОЙ НОВАЯ БИОТОПЛИВНАЯ КОТЕЛЬНАЯ [Elokuussa 2014 Suojärven piiri saa käyttöönsä uuden biokattilan]. 24.3.2014.  
<http://www.infobio.ru/news/2809.html>. 23.1.2015
- Isosävi. P. 2015. Tuotekouluttaja. Valtra. Puhelinhaastattelu. 24.2.2014.
- Karjalan tasavalta. 2010. О Региональной программе по энергосбережению и повышению энергетической эффективности на период до 2020 года [Alueellinen energiataloudellisuuden ja tehokkuuden parantamisen ohjelma vuoteen 2020].  
[http://gov.karelia.ru/gov/Legislation/docs/2010/07/156-p\\_2.doc](http://gov.karelia.ru/gov/Legislation/docs/2010/07/156-p_2.doc). 16.12.2014.
- Karjalan tasavalta. 2014. Virallinen Karjala. Karjalan tasavalta (tiivistetty info).  
[http://gov.karelia.ru/gov/Different/karelia3\\_f.html](http://gov.karelia.ru/gov/Different/karelia3_f.html). 1.10.2014.
- Karppinen, P. 2012. Katsaus energiapuupotentiaaliin ja metsäenergian asemaan Karjalan tasavallassa. Metla.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp222.pdf>. 26.4.2014.
- KodeksKarelia. 2006. Концепция региональной целевой программы .Активное вовлечение в топливно-энергетический комплекс Республики Карелия местных топливно-энергетических ресурсов на 2006–2010 годы. [Konseptio alueellisesta tavoiteohjelmasta. Paikallisten lämpöenergiaresurssien aktiivinen mukaantulo Karjalan tasavallan lämpöenergiasektorille 2006– 2010] КОДЕКС Представитель в Республике Карелия. [КОДЕКС Karjalan tasavallan edustaja]. Saatavissa:  
<http://kodeks.karelia.ru/api/show/919322700>. 24.2.2015.

- Korobov, V. & Rushnov, N. 1991.  
Переработка низкокачественного древесного сырья [Processing of non-industrial wood]. Moskova. Ecologia.
- Lehtikangas, T. 2009. Pientalojen lämmitysjärjestelmien vertailu. Satakunnan mattikorkeakoulu. Energiateknikankoulutusohjelma. Opinnäytetyö.  
[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2517/Lehtikangas\\_Tuulia.pdf?sequence=2](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2517/Lehtikangas_Tuulia.pdf?sequence=2). 10.3.2015.
- Lepistö, T. 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Metsäkeskus.  
<http://www.puulakeus.net/docs/109-FsT-laatuhaakeopas.pdf>. 22.1.2015.
- Lämmitystarveluvut. Ilmatieteenlaitos.  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. 29.11.2014.
- Mastopanev, A. 2014. On the development of the new Energy Strategy of Russia, ESR-2035.  
[http://www.energystrategy.ru/ab\\_ins/source/Mastepanov\\_30.10.14.pdf](http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/Mastepanov_30.10.14.pdf). 18.4.2015.
- Metla. Karelia ENPI CBC project. CBS FOREN project.  
[http://www.metla.fi/metla/esitteet/hanke-esitteet/CBS\\_foren-netti-eng.pdf](http://www.metla.fi/metla/esitteet/hanke-esitteet/CBS_foren-netti-eng.pdf). 1.10.2014.
- Metsäkeskus. Polttopuun ominaisuudet. <http://www.halkoliiteri.com/?id=587>. 22.1.2014.
- Metsäkeskus Pirkanmaa. Polttopuun tehokas ja ympäristöystävällinen käyttö lämmityksessä.  
[http://www.halkoliiteri.com/tiedostot/Tiedostot/polttopuun\\_kaytto\\_lammityksessa.pdf](http://www.halkoliiteri.com/tiedostot/Tiedostot/polttopuun_kaytto_lammityksessa.pdf). 14.12.2014.
- Ministry of Energy of Russian Federation. Summary of the Energy Strategy of Russia for period up to 2020. 2003.  
[http://ec.europa.eu/energy/russia/events/doc/2003\\_strategy\\_2020\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/russia/events/doc/2003_strategy_2020_en.pdf). 1.10.2014.
- Ministry of Energy of Russian Federation. Energy Strategy of Russia for period up to 2030. 2009.  
[http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030\\_\(Eng\).pdf](http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_(Eng).pdf). 26.4.2014.
- Motiva a. Bioenergian käyttö.  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergian\\_kaytto](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto). 24.5.2015.
- Motiva b. Stokeripoltin.  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/puulammitys\\_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat/stokeripoltin](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat/stokeripoltin). 24.5.2015.
- Oilmart. МАСЛА И СМАЗКИ: Сельхоз- и дорожно-строительная техника. [Voiteluaineet ja öljyt: Maatalous - ja maanrakennus koneet]  
<http://oilmart.ru/category/selhoz-dorojno-stroitel'naya-tehnika/>. 24.2.2014.
- Pikkarainen, J. 2015. Myyntijohtaja. Stora Enso. Puhelinhaastattelu 15.1.2015.
- PKKO. Стоимость Производственное объединение "Теплоресурс". [Tuotantoyhtiö Теплоресурс].  
[http://www.pkko.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=170&Itemid=77](http://www.pkko.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=170&Itemid=77). 20.2.2015.
- Pohjois-Pohjanmaan liitto. Karelia ENPI CBC project.  
<http://www.kareliaenpi.eu>. 1.10.2014.
- ProPartner. 2015. Масло для 2-х тактных двигателей в России. [2-tahtiöljyjen hinnasto Venäjällä].

- <http://www.propartner.ru/товары/транспорт/автозапчасти/масла/2925/36191>.18.2.2015.
- Puhakka, A. 2015. Lehtori. Karelia-ammattikorkeakoulu. Useita tiedonantoja. 2014 - 2015.
- Rakitova, O. 2011. Развитие твердого биотоплива в России на примере древесных топливных гранул. [Kiinteiden biopolttoaineiden kehitys Venäjällä esimerkkinä ruupelletit]. Информационно аналитическое агентство «ИНФОБИО». [Tiedotus ja analyysipalvelu "Infobio"]. <http://www.infobio.ru/materialy-konfierientsii-19-maia-2011-gh>. 23.1.2015.
- Sarvelainen, H. Saxell, M. Sinkko, A. Suikkanen, M. Tulin, E. 2014. Energiatoteutuksen kehittäminen energiakatselmuksilla. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Tutkimuksia ja raportteja. [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86377/B-sarjan\\_raportti\\_131.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86377/B-sarjan_raportti_131.pdf?sequence=1). 24.5.2015.
- Skrökki, J. 2013. Öljylämmitteisen aluelämpökeskuksen korvaaminen pelletti-, hake- tai maalämpölaitoksella. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62278/Opinnaytettyo.pdf?sequence=1>. 14.12.2014.
- Smirnov, V. 2014. Metsäkoneenkuljettaja. Petroskoi. Haastattelu 23.4.2014. Td Sojustehsnab. Тд Созтехнаб. Прицепы и полуприцепы для тракторов [Peräkärryt traktoriin]. <http://www.xn----7sbnwujdkabddc.xn--p1ai/products/15/>. 24.2.2015
- The World Bank. Forest area (sg. km). <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.K2.1.10>. 2014.
- Trajan. ТРАЯАН. <http://trajan-kotel.com/kotly/piroliznye-kotly>. 26.2.2015.
- Venäjä löysi massiivisen öljyesiintymän - Meksikonlahteakin suurempi? 2014. Talouselämä <http://www.talouselama.fi/uutiset/venaja+loysi+massiivisen+oljyesiintyma++meksikonlahteakin+suurempi/a2268214>. 1.10.2014.
- Vorotnikov, V. elokuu 2014. Taking it to next level. Engineering and Mining Journal. World Mining Equipment (WME). <http://emj.epubxp.com/i/358520-aug-2014/>. 18.3.2015.
- Väyrynen, M. 2014. Pelletintuotanto- ja myyntijohtaja. Stora Enso. Puhelinhaastattelu 17.12.2014.
- Wahlroos, L. 1980. Kotimaiset polttoaineet ja lämmityskattilatekniikat. Pori. Energiakirjat.
- WeatherUnderground. Weather History of Petrozavodsk. <http://finnish.wunderground.com/history/station/22820/2013/1/2/DailyHistory.html>. 29.11.2014.
- World Energy Council (WEC). World Energy Resources 2013 Survey. 2013. [http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete\\_WER\\_2013\\_Survey.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf). 1.10.2014.
- World Nuclear Association. World Uranium Production. 2015. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/>. 10.3.2015.



Keskimääräinen lämmityskausi. Vuosien 2009-2013 astepäiväluvut suurimmas-  
ta pienimpään ja päivittäiset keskiarvot.

Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku	Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäivä- luku
1	41	42	42	47	42	43	32	27	32	29	35	29	30
2	39	42	41	45	36	41	33	27	31	29	35	29	30
3	37	41	39	43	35	39	34	27	31	29	35	28	30
4	35	41	39	42	35	38	35	27	31	29	34	28	30
5	35	40	39	42	35	38	36	27	31	29	34	28	30
6	34	40	38	41	34	37	37	27	29	28	34	28	29
7	34	39	38	41	34	37	38	27	29	27	33	27	29
8	34	39	38	41	34	37	39	27	29	27	33	27	29
9	33	39	37	41	33	37	40	26	29	27	33	26	28
10	31	39	37	41	33	36	41	26	28	27	33	26	28
11	31	39	37	41	33	36	42	26	28	27	33	25	28
12	31	39	35	40	33	36	43	26	27	26	33	25	27
13	31	39	35	39	33	35	44	26	27	25	32	25	27
14	31	38	35	39	33	35	45	25	27	25	32	25	27
15	31	38	35	38	32	35	46	25	27	25	32	25	27
16	30	37	35	38	32	34	47	25	27	25	32	25	27
17	30	37	35	38	32	34	48	25	27	25	31	25	27
18	30	37	34	37	31	34	49	25	27	25	31	25	27
19	30	37	34	37	31	34	50	25	27	25	31	25	27
20	29	37	33	37	31	33	51	25	27	25	31	25	27
21	29	37	33	37	31	33	52	25	27	24	31	24	26
22	29	37	33	37	31	33	53	25	26	23	31	24	26
23	29	35	33	37	31	33	54	25	26	23	30	24	26
24	29	34	33	37	31	33	55	25	26	23	30	24	26
25	29	33	33	35	30	32	56	25	26	23	30	24	26
26	29	33	32	35	29	32	57	25	26	23	30	23	25
27	28	33	31	35	29	31	58	25	25	23	29	23	25
28	28	33	31	35	29	31	59	24	25	23	29	23	25
29	28	32	31	35	29	31	60	24	25	23	29	23	25
30	28	32	30	35	29	31	61	24	25	23	29	23	25
31	27	32	29	35	29	30	62	23	25	22	29	23	24

Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku	Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku
63	23	25	22	29	23	24	96	19	21	19	25	21	21
64	23	25	21	29	23	24	97	19	21	19	24	21	21
65	23	25	21	29	23	24	98	19	21	19	24	21	21
66	23	25	21	29	23	24	99	19	21	18	24	21	20
67	23	25	21	29	23	24	100	19	21	18	24	21	20
68	23	25	21	29	23	24	101	19	21	18	23	21	20
69	23	25	21	28	23	24	102	19	21	18	23	21	20
70	23	24	21	28	23	24	103	19	20	18	23	21	20
71	23	24	21	28	23	24	104	19	20	18	23	20	20
72	23	24	21	28	23	24	105	19	20	18	23	20	20
73	23	23	21	27	23	23	106	19	20	18	23	20	20
74	23	23	21	27	23	23	107	19	20	17	23	20	20
75	22	23	21	27	22	23	108	19	20	17	22	20	20
76	22	23	21	27	22	23	109	19	20	17	22	20	20
77	22	23	21	27	22	23	110	19	20	17	22	20	20
78	22	23	20	27	22	23	111	18	19	17	22	19	19
79	22	23	20	27	22	23	112	18	19	17	22	19	19
80	21	23	20	27	22	23	113	18	19	17	21	19	19
81	21	23	20	27	22	23	114	18	19	17	21	19	19
82	21	23	20	27	21	22	115	18	19	17	21	19	19
83	21	22	20	26	21	22	116	17	19	17	21	19	19
84	21	22	20	26	21	22	117	17	19	17	21	19	19
85	21	22	20	26	21	22	118	17	19	17	21	19	19
86	21	22	20	26	21	22	119	17	19	17	21	19	19
87	21	21	20	26	21	22	120	17	19	17	21	19	19
88	20	21	19	25	21	21	121	17	19	17	20	19	18
89	20	21	19	25	21	21	122	17	19	17	20	19	18
90	20	21	19	25	21	21	123	17	19	17	20	19	18
91	20	21	19	25	21	21	124	17	19	17	20	19	18
92	19	21	19	25	21	21	125	17	19	17	20	19	18
93	19	21	19	25	21	21	126	17	18	17	19	19	18
94	19	21	19	25	21	21	127	17	18	17	19	19	18
95	19	21	19	25	21	21	128	17	18	17	19	19	18

Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku	Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku
129	17	18	17	19	19	18	160	15	15	15	15	16	15
130	17	18	17	19	18	18	161	15	15	15	15	16	15
131	17	18	17	18	18	18	162	15	15	15	15	16	15
132	17	18	17	18	18	18	163	15	15	15	15	16	15
133	17	18	16	17	18	17	164	15	15	15	15	16	15
134	17	18	16	17	18	17	165	15	15	15	15	15	15
135	16	18	16	17	17	17	166	15	15	15	15	15	15
136	16	18	16	17	17	17	167	14	15	14	15	15	15
137	16	18	16	17	17	17	168	14	15	14	15	15	15
138	16	17	16	17	17	17	169	14	14	14	15	15	14
139	16	17	16	17	17	17	170	14	14	14	15	15	14
140	16	17	16	17	17	17	171	14	14	14	14	15	14
141	16	17	16	17	17	17	172	14	14	14	14	15	14
142	16	17	16	17	17	17	173	14	14	13	14	15	14
143	15	17	15	17	17	16	174	14	14	13	14	15	14
144	15	17	15	16	17	16	175	13	14	13	14	15	14
145	15	17	15	16	17	16	176	13	14	13	14	15	14
146	15	17	15	16	17	16	177	13	14	13	14	15	14
147	15	17	15	16	17	16	178	13	13	13	14	15	14
148	15	17	15	16	17	16	179	13	13	13	13	15	13
149	15	17	15	16	17	16	180	13	13	13	13	15	13
150	15	16	15	16	17	16	181	13	13	13	13	15	13
151	15	16	15	15	17	16	182	13	13	13	13	15	13
152	15	16	15	15	17	16	183	13	13	13	13	15	13
153	15	16	15	15	17	16	184	13	13	13	13	15	13
154	15	16	15	15	17	16	185	13	13	13	13	15	13
155	15	16	15	15	17	16	186	13	12	13	13	15	13
156	15	15	15	15	16	15	187	13	12	13	13	15	13
157	15	15	15	15	16	15	188	12	12	13	13	15	13
158	15	15	15	15	16	15	189	12	12	13	13	15	13
159	15	15	15	15	16	15	190	12	12	12	13	15	13

Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku	Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäi- väluku
191	12	12	12	13	15	13	221	9	9	9	9	9	9
192	11	12	12	13	14	12	222	9	8	9	9	9	9
193	11	11	12	13	14	12	223	9	8	9	9	9	9
194	11	11	12	13	14	12	224	8	8	9	9	9	9
195	11	11	12	13	14	12	225	8	8	9	9	9	9
196	11	11	12	12	14	12	226	8	8	8	9	9	8
197	11	11	12	12	14	12	227	8	8	8	9	9	8
198	11	11	11	12	14	12	228	8	8	8	9	9	8
199	11	11	11	12	14	12	229	8	8	8	9	8	8
200	11	11	11	12	14	12	230	8	8	8	9	8	8
201	11	11	11	12	14	12	231	8	8	8	9	8	8
202	11	11	11	12	13	12	232	8	8	8	8	8	8
203	11	11	11	12	13	12	233	7	8	8	8	8	8
204	11	10	11	11	13	11	234	7	8	8	8	8	8
205	11	10	11	11	12	11	235	7	8	8	8	8	8
206	10	10	11	11	12	11	236	7	8	7	8	8	8
207	10	9	10	11	12	10	237	7	7	7	8	8	7
208	10	9	10	11	12	10	238	7	7	7	8	8	7
209	10	9	10	11	12	10	239	7	7	7	7	7	7
210	9	9	10	11	11	10	240	7	7	7	7	7	7
211	9	9	10	11	11	10	241	7	7	7	7	7	7
212	9	9	9	11	11	10	242	7	7	6	7	7	7
213	9	9	9	11	11	10	243	6	7	6	7	7	7
214	9	9	9	11	11	10	244	6	7	6	7	7	7
215	9	9	9	11	10	10	245	6	7	6	7	7	7
216	9	9	9	10	10	9	246	6	7	6	7	7	7
217	9	9	9	10	10	9	247	6	7	5	7	6	6
218	9	9	9	10	10	9	248	5	6	0	7	6	5
219	9	9	9	10	9	9	249	5	6	0	7	6	5
220	9	9	9	10	9	9	250	0	6	0	7	6	4

Päivä	2009	2010	2011	2012	2013	Astepäiväluku
251	0	6	0	7	6	4
252	0	6	0	6	5	3
253	0	6	0	6	5	3
254	0	5	0	6	5	3
255	0	5	0	6	0	2
256	0	5	0	5	0	2
257	0	5	0	5	0	2
258	0	0	0	5	0	1
259	0	0	0	0	0	0
260	0	0	0	0	0	0