EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Sergei Malinovski

ENERGIATEHNOLOOGIATE EFEKTIIVSUSE VÕRDLUS

COMPARISON OF ENERGY TECHNOLOGIES OUTPUTS

Magistritöö
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: prof. Andres Annuk

Tartu 2017

<table>
<tr><td colspan="2">Eesti Maaülikool
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014</td><td colspan="2">Magistritöö lühikokkuvõte</td></tr>
<tr><td colspan="2">Autor: Sergei Malinovski</td><td colspan="2">Õppekava: Energiakasutus</td></tr>
<tr><td colspan="4">Pealkiri: Energiatehnoloogiate efektiivsuse võrdlus</td></tr>
<tr><td>Lehekülgi: 59</td><td>Jooniseid:16</td><td>Tabeleid: 6</td><td>Lisasid: 1</td></tr>
<tr><td colspan="4">Osakond:Energeetika
Uurimisvaldkond 4. Loodusteadused ja tehnika; 4.17 Energeetikaalased uuringud;
CERCS ERIALA: T140 Energeetika
Juhendaja(d): Andres Annuk
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017</td></tr>
<tr><td colspan="4">Energiatarbe suurenemise tõttu on vaja inimkonnal suurendada energiatootmist, kuid selle suurendamiseks on vaja välja selgitada milline energiatehnoloogia on võimeline tagama energiat loodussäästlikult. Inimkond on viimasel ajal väga suures sõltuvuses just fossiilsetest kütustest ning nendega tekib suurel kogusel emissioone, mis põhjustavad atmosfääri saastumist. Liigse fossiilsete kütuste kasutamisel ei suudeta tagada jätkusuutlik keskkond ning selleks puhuks on vaja leida alternatiive nendele kütustele, mingi sellise energiatehnoloogia näol, mis on taastuv. Selle töö eesmärgiks oli võrrelda erinevaid energiatehnoloogiaid, mida tänapäeval energiatootmiseks kasutatakse. Võrdlus on tehtud kahe sarnase, kuid erineva energiatehnoloogia kaudu ning nendeks tehnoloogiateks on biomassist ja kivisöest energia tootmine. Autor soovitab kaaluda biomassi kasutamist fossiilsete kütuste lisandina kuna selle efektiivne energia suhe ei ole sama suur, kuid seeläbi saab vähendada emissioonide hulka. Samuti võib kasutada biomassi energia tootmiseks kohtades, kus ligipääs fossiilsetele kütustele on puudulikud.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Märksõnad: energiatehnoloogia, efektiivne energia suhe, bioenergia, fossiilsed kütused</td></tr>
</table>

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Sergei Malinovski		Speciality: Energy Engineering	
Title: Comparison of Energy Technologies Outputs			
Pages:59	Figures:16	Tables: 6	Appendixes: 1

Department: Energetic Research

Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering; 4.17. Energetic Research

CERCS SPECIALITY: T140 Energy Research

Supervisor: Andres Annuk

Place and date: Tartu 2017

Due to increasing of energy consumption the mankind has to increase production of energy and for that reason it is needed to figure out which of the energy technology can produce energy the most environment-friendly way. World is heavily dependent on fossil fuels and these fuels are very emmission heavy therefore they cause pollution of atmosphere. Using fossil fuels for energy production is not sustainable for our environment and for that matter alternative fuels needs to be considered. This research purpose is to compare different energy technologies which are commonly used in nowaday society. The comparison of two similar yet different technologies are carried out to give feedback on which technology is more cost-effective. The comparison is made between fossil fuel representative coal and biomass. Author suggest to concider using biomass as fuel addative to the coal due to its effective energy ratio is considerably lower than it is of fossil fuels yet biomass could serve well in lowering pollution levels. Biomass could be considered for usege in places where there is no access to the fossil fuels.

Keywords: Energy technology, Effective Energy Ratio, Bioenergy, Fossil fuels

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID 5
SISSEJUHATUS 7
1. PROBLEEMI AKTUAALSUS JA OLEMUS 9
2. ENERGIATEHNOLOOGIAD 10
2.1. Bioenergia 10
2.2. Geotermaalenergia 11
2.3. Hüdroenergia 15
2.4. Tuuleenergia 19
2.5. Päikeseenergia 25
2.6. Tuumaenergia 32
2.7 Fossiilsed kütused 35
3. ENERGIATEHNALOOGIATE VÕRDLUS 39
3.1. Energia efektiivsus 39
3.2. Energiatihedus ja küttevääртus 41
3.3. Biomassist energia tootmine 43
3.4. Kivisöest energia tootmine 48
KOKKUVÕTE 51
SUMMARY 53
KIRJANDUS 54
LISAD 58
Lisa A. Lihtlitsents 59

TÄHISED JA LÜHENDID

C_p - tuuleturbiini muundustegur

EER - Effective enery ratio

E - hektarile kulunud energia kogus, MJ/ha

E_{pu} - puurimiseks kuluv energia

$E_{õh}$ - õhkamiseks kuluv energia

E_{ka} - kaevandamiseks kuluv energia

E_{vent} - ventileerimiseks kuluv energia

E_{ds} - diiselseadmetele kuluv energia

E_{es} - elektriseadmetele kuluv energia

E_{pe} - peenestamiseks kuluv energia

E_{so} - sorteerimisele kuluv energia

$E_{kivisüsi}$ - kaevandatud kivisöe energiasisaldus MJ

E_{sisend} - sisendenergia, MJ

$E_{künd}$ - künniks kulunud energia, MJ

$E_{kult.}$ - kultiveerimiseks kulunud energia, MJ

$E_{tasa.}$ - tasandamiseks kulunud energia, MJ

$E_{äest.}$ - äestamiseks kulunud energia, MJ

$E_{väet+külv}$ - väetamiseks ja külviks kulunud energia, MJ

$E_{herb.}$ - herbitsiitide pritsimiseks kulunud energia, MJ

$E_{lõik.}$ - lõikamiseks kulunud energia, MJ

$E_{korj.}$ - kombainiga korjamiseks kulunud energia, MJ

E_P - fosfori tootmiseks kulunud energia, MJ

E_K - kaaliumi tootmiseks kulunud energia, MJ

$E_{tpä}$ - biomassi transpordiks põlluäärde kulunud energia, MJ

E_{tkm} - katlamajja transportimiseks kulunud energia, MJ

$E_{pur.}$ - biomassi purustamiseks kulunud energia, MJ

$E_{pal.}$ - pallimiseks kulunud energia, MJ

l -tuulikulabade pikkus, m

$m_{kivisüsi}$ - kivisöe mass, kg

P -tuuliku väljundvõimsus, kW

q - kütuse küttevääртus, MJ/kg

$q_{kivisüsi}$ - kivisöe küttevääртus, MJ/kg

S - tuulikulaba pindala, m^2

$V_{kütus}$ - kulunud kütusekogus ühele hektarile, l/ha

V_0 - tuulekiirus antrud hetkel, m/s.

ρ - õhutihedus, kg/m^3

η -kasutegur

SISSEJUHATUS

Tänavu on aktuaalne teema erinevatel meetoditel energiasäästmine. Inimkonna arvukuse suurenedes suureneb ka selle energiatarve ning sellest tingutult on vaja välja tuua uusi lahendusi, et jätkusuutlikult energiat tarbida kui ka toota. Tänapäeva ühiskonnas ollakse silmitsi probleemidega, mis ei olnud aktuaalsed sajand tagasi. Üheks selliseks probleemiks ongi energiavarustus kuna inimkond suureneb hüppeliselt ning sellest suurenevad ka energia vajadused sooja, valguse või elektri näol. Inimkond on kasutanud energia tootmiseks fossiilseid kütuseid juba pikemat aega kuna seda on võimalik suhteliselt kerge vaevaga kaevandada ning sellel on suur kütteväärtus. Fossiilsete kütustel on küll suur kütteväärtus, kuid sellega kaasneb suurel hulgal emissioone ning sellest tingituna suureneb iga aasta CO_2 sisaldus õhus. CO_2 ehk süsihappegaas on kasvuhoonegaas ning see põhjustab globaalset soojenemist. Inimesed pürgivad selle vähenemise poole kasutades taastuvaid energiaallikaid nagu näiteks tuule, hüdro või bioenergia.

Tänapäeval pürgitakse jätkusuutlikuse poole, mida aeg edasi läheb seda enam hakkavad inimesed tarbima energiasäästlikumaid lahendusi energia tootmiseks. Jätkusuutlik energiamajandamine on otseses sõltuvuses ökoloogilise jalajäljega, mida väiksem on ökoloogiline jalajälg seda jätkusuutlikum on keskkond.

Kui rääkida rohelisest energiast ehk taastuvenergiast on nende rakendamine maailma mastaabis tänini võrdlemisi väike. Kogu maailma toodetud energiast moodustab, vaid kümnendiku taastuvenergiate kujul. Enim kasutatud taastastuvenergiaks maailmas on hüdroenergia ning sellel järgneb koheselt bioenergia.

Selle töö raames võrreldakse ühe taastuvenergia esindaja ning ühe mittetaastuvenergia esinda iseärasusi. Nendeks iseärasusteks on sisendenergia ja väljundenergia võrdlused. Töö käsitleb ka erinevaid energiatehnoloogiaid, millega tänapäeval energiat toodetakse nii tarbesooja kui ka elektri energia näol.

Selles töös on võrreldud kivisöe tootmist ja päideroo kasvatamist ning seda millise

tehnoloogiaga on võimalik sama sisendenergiaga toota suuremat väljunenergiat ehk leida tehnoloogiate efektiivset energia suhet. Sellega on võimalik määrata protsesside kasulikkust ning selle abil võib anda hinnangut, millist tehnoloogiat on otstarbekam kasutada.

1. PROBLEEMI AKTUAALSUS JA OLEMUS

Läbi aegade on kasutatud fossiilseid kütuseid nagu näiteks nafta, kivisüsi ning maagaas ja nende põletamisel tekkib väga suurel hulgal emissioone, mis suurlinnades põhjustab sudu ning maailma mastaabis põhjustab see osoonikihi kahjustusi ning samaaegselt ka globaalset soojenemist. Selle teema teeb just aktuaalseks fakt sellest, et vaja on leida alternatiivne viis energia tootmiseks, kui fosiilsed kütused ning biomassist energia tootmine võib seda osaliselt katta.

Probleem on enda olemuselt raske lahendusega kuna kivisöel on kõrgem kütteväärtus, kui päiderool ning seda on kergem transportida kuna selle tihedus on suurem see tähendab, ühe ja sama ruumala ühiku kohta saab kivisütt palju enam transportida, kui biomassi.

Selles töös antakse ülevaade sellest, kui palju saadakse energiat biomassist ja sarnaselt ka sellele, kui palju saab energiat kivisöe kaevandusest.

2. ENERGIATEHNOLOOGIAD

2.1. Bioenergia

Maailma üheks kõige suurema potentsiaaliga taastuvaksenergialiigiks on bioenergia. Bioenergia all mõistetakse energiat, mis sisaldub elusorganismides. Bioenergia ja fosiilsete kütuste erinevusteks on kindlasti ajafaktor, kui fosiilsed kütused tekivad pikaajaliselt, siis biokütuseid võib käsitleda taastuvate kütustena. Biomass on ükskõik milline orgaaniline materjal, mis on talletanud päikeseenrgia keemilistesse ühenditesse. Orgaanilist materjali, mis sisaldab bioenergiat kutsutakse biomassiks. Bioenergia on näiteks puidu põletamine soojuseenrgia saamise eesmärgil, kui ka keerulistem protsess kus toodetakse bioetanooli bakterite abil. Bioenergiat loetakse taastuvuaks energiaks, kuna kõik tekkinud biomass on kasvanud päikese kaasabiga ning sellel on lühike taastuvusaeg. Bioenergia tootmisel ning rakendamisel peab arvestama sellega, et alles jääks bioloogiline mitmekesisus. Kindel taimekultuur või aine, mida kasutuatakse energia tootmiseks kutsutakse lähteaineks. Bioenergia jaguneb kaheks põhigruppiks – tahked ja vedelad. Tahkete biokütuste all mõistetakse puitu, puidusütt või sõnnikut, samuti kuuluvad samasse kategooriasse pelletid ning muud sarnased kütused. Puit on üks kõige tuntumaid biokütuse liik, kuna see on mitmeotstarbeline. Puitu saab kasutada ehitusmaterjalina, kui ka biokütusena. Vedel biokütus on näiteks etanool ning biodiisel. Vedelad biokütused on viimasel ajal polulaarsust kogunud kuna neid saab kasutatada sisepõlemismootorites fossiilsete kütuste asendajatena. Nii tahkeid, kui ka vedelaid biokütuseid saab kasutada sooja ja elektrienergia tootmiseks. (Neale, 2007).

Bioenergia moodustab ligikaudu 10% kogu maailma esmasest soojavarustusest ning enamus sellest on kasutusel ahiküttega hoonestusel, kuid moderne hoonetesoojendamine ning toidutöötlussektor moodustavad maailma energiatarbest olematu osa. Aasta 2012 seisuga toodeti kokku 370TWh bioenergiat elektri kujul, mis moodustas kogu maailma elektri vajadusest 1,5%. Bioenergia tootmiseks on kasutususel juba mitmed erinevad tehnoloogiad. Biokütuseid saab kasutata ka olemasolevates kivisöejõujaamades, et saavutata väiksemaid

emissioone ehk heitgaase. Soodsates tingimustes, võib biomassist saadud energia olla kulutõhus. Kuid enamus juhtudel on majanduslikult kasulikum kasutuada fossiilseid kütuseid. Aastal 2014 vedelad biokütused moodustasid 4% kogu maailma transpordiks kuluva kütusest ning prognoositakse selle tõusu. Kogu bioenergia väljundenergia aasta 2014 seisuga on 90,2 GW. Transpordi sektori suurenedes suureneb ka vajadus kütusele, biogaas kui ka biodiisel on arvestatavad alternatiivid tavalistele fossiilsetele kütustele. (International energy agency.2017)

Arvestatavad biotehnoloogiad on otsepõletamine ehk katlamajades põletamine, kus soojendatakse vett, ning veeauru abil pannakse liikuma vee turbiin. Fossiilsete kütuste lisandina nagu näiteks põlevkivile lisatakse puitu. Biomassi gaasistamise käigus muudetakse biomass biogaasiks ning seda saab kasutada põletites ning sarnaselt otsepõletamisele toota elektrit või sooja. Ning viimaseks suuremaks liigiks on anaeroobne lagundamine, mille käigus õhuvaeses keskkonnas bakterid lagundavad biomassi biogaasiks.(Biopower basics.2013)

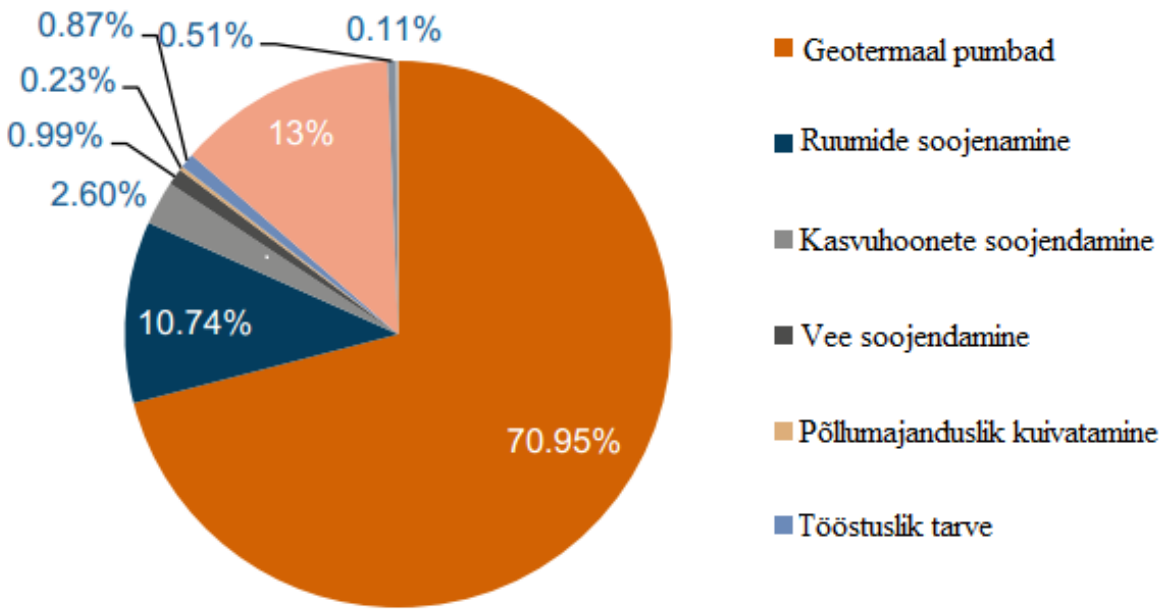
2.2. Geotermaalenergia

Geotermaalenergia ehk maapõueenergia on saadaval kõikjal maailmas. Esimesed soojusvahetuspumbad on kasutusel aastast 1940-ndatest. Geotermaalenergiat käsitletakse, kui taastuvatenergiat ning saastevaba energiat. Maapõuenergiat saab eelkõige kasutada majapidamise soojendamiseks talvel, kui ka jahutuseks suvel. Maapõueenergiat saab paigaldada sügavusele üks meeter ning sügavamale. Geotermaalenergia ammutamiseks kasutatakse soojusvahetuspumpa, mille abil juhitakse energiat väliskeskonnast küttesüsteemile. Maapinna temperatuur sõltub selle sügavusest ehk sügaval on soojem ning maakoore pindmistes kihtides on maatemperatuur jahedam. Tänapäeva maasoojuspumbad on võimelised toimima, kui soojusvahetid ning samal ajal tootma ka sooja tarbevett. Maasoojuspumbad võrreldes õhksoojuspumpadega on vaiksemad, pikema elueaga ja väiksemate hoolduskulutusega ning on sõltumatud välistemperatuuridest. (Chauhan & Ragnarsson, 2015; Jõeleht, 2007; Montague, 2016)

Geotermilineenergia on suure potentsiaaliga ning riigid, millel pole fossiilseid kütuseid võivad rakendada maapõueenergiat, et vähendada sõltuvust teistest riikidest. Maapõue

energia panus maailma energiasse on väga väike, ning selle väljundiks on vähem, kui üks protsent maailma koguenergia väljundist. Kogu võimsus, mida geotermaalenergia välja annab on 13,2 GW energiat. (Montague, 2016)

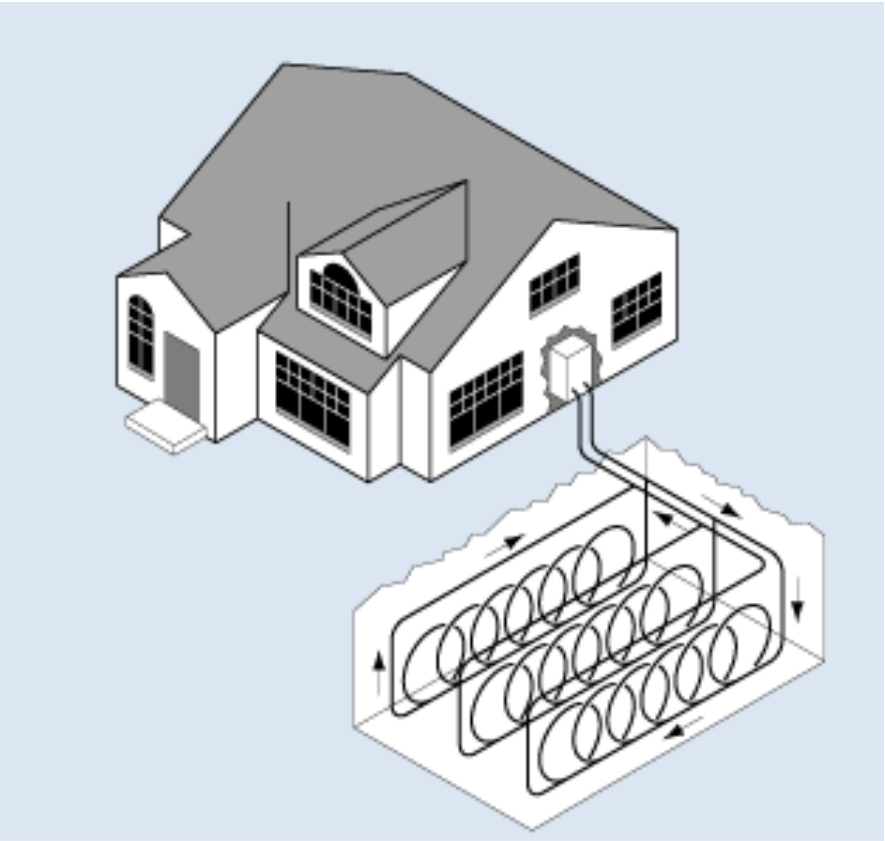
Maapõue energiat võib jagada erinevatesse rühmadesse kasutamise järgi. Nendeks kategooriateks on maasoojuspumbad, ruumide soojendamine, põllumajanduslik kuivatamine, tööstuslik kasutamine, jahutamine või sulatamine ning teisi alaliike. Arvestuste kohaselt on maailma geotermilineenergia võimekus lähemale 100 korda sama palju, kui seda praegu tarbimises on. Maasoojusenergia on väga stabiilne võrreldes teiste alternatiivsete energiaallikatega, kuna seda ei mõjuta ilmastik. Geotermaalenergia muundamine elektrienergiaks on võimalik kahel meetodil, millest mõlemal puhul kasutatakse turbiini, mis hakkab liikuma auru abil. Esimene meetodiga kasutatakse veeauru, mis on kogutud otse geotermaalväljadelt. Ning teisel meetodil on kasutatud kergesti aurustuvat vedelikku, mille aurustamine paneb liikuma turbiini. Kogu protsessi efektiivsus sõltub kondenseerimise protsessist.(Chauhan & Ragnarsson, 2015; Jõeleht, 2007; Montague, 2016)



Joonis 2.1. Maasoojuse tootmise osakaalud.(Montague, 2016)

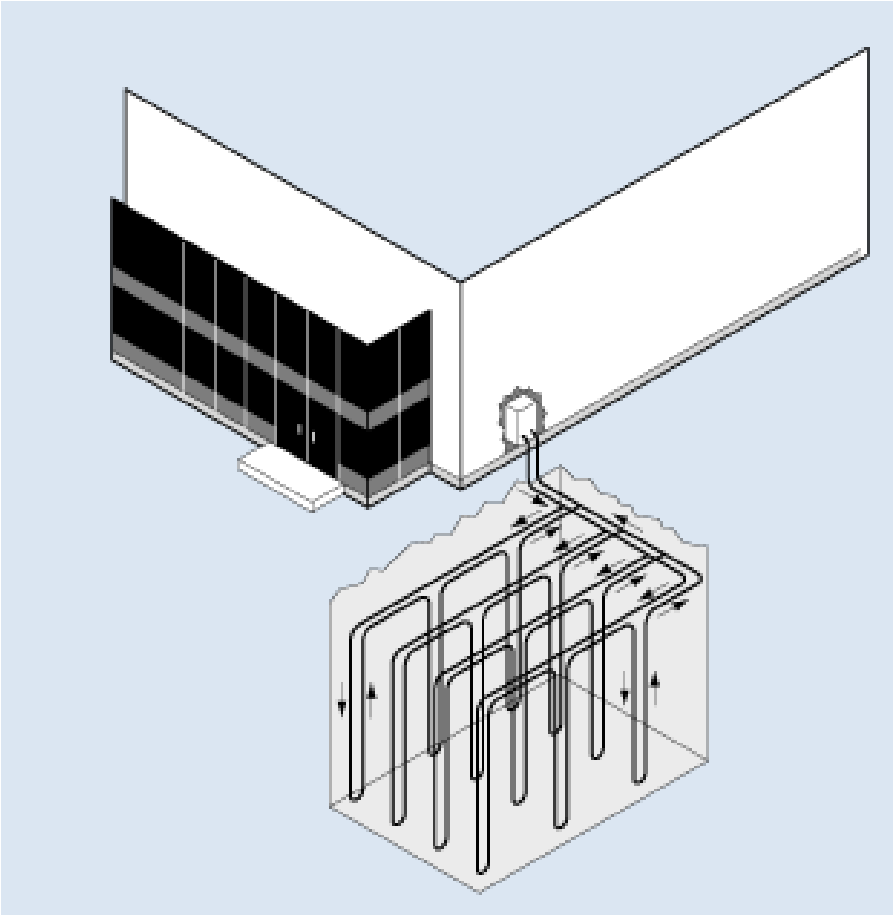
Joonisel 2.1 on näha maasoojuse tarbimised protsentuaalselt paigaldatud seadmete alusel. Kõige suurema osakaaluga on maasoojuspumbad moodustades üle 70% kõikidest paigaldatud seadmetest. Palju väiksema osakaaluga kasutatakse maasoojust ruumide

soojendamiseks ning põllumajandusliku kuivatamise otstarvetel ning need moodustavad kokku 23-24%. Ning viimased 6-7% toodetud maasoojusenergiast jaguneb kasvuhoonete soojendamiseks, vee soojendamiseks ning tööstuslikuks tarbeks.(Montague, 2016)



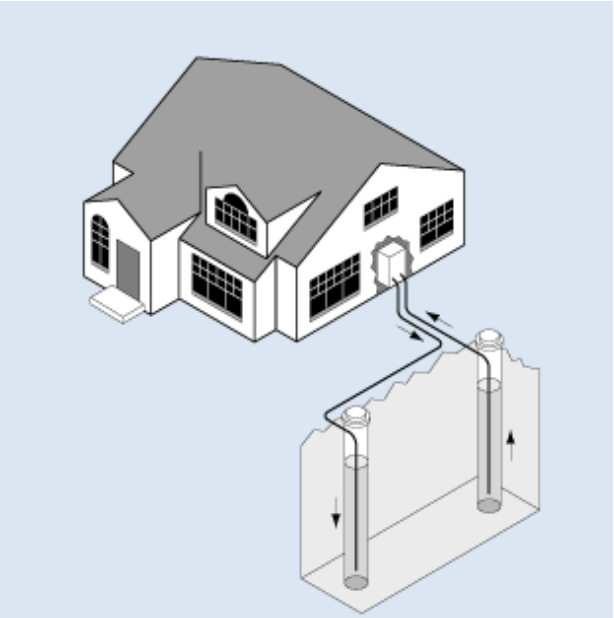
Joonis 2.2. Kinnise ringlusega horisontaalne maasoojuspump (U.S. Department of Energy, 2013)

Jooniselt 2.2. on näha millise ehitusega on kinnise ringlusega horisontaalne maasoojuspump. Sellise ehitusega maasoojuspumbad on kõige hinnaefektiivsemad, kuid sellise ehituse juures on vaja üsna suurt ala kuhu seda paigutada. Selline lahendust saab kasutada väga hästi väljaspool linna nagu näiteks maakohad, talud ja muud taolised väherahvastatud asupaigad.(Montague, 2016)



Joonis 2.3. Kinnise ringlusega vertikaalne maasoojuspump (U.S. Department of Energy, 2013)

Kinnise ringlusega vertikaalset maasoojuspumpa saab kasutata kohtades, kus ruum on piiratud ning sellist lahendust kasutatakse enamasti koolidel või suurtes tööstus hoonetes. Vertikaalse ringlust kasutatakse ka kohtades, kus mulla paksus pinnases on väike, et vähendada pinnase kahjustusi. Vertikaalse süsteemi puhul puuritakse maasse ligikaudu 30 kuni 120 meetri sügavused avaused diameetriga kümme sentimeetrit. Sellistesse aukudesse läheb toru, mis moodustab U-kujulise pöörde, et tekitada ringlust. Torud on omakorda ühendatud horisontaalse toruga, mis omakorda on ühenduses soojuspumbaga.(Montague, 2016)



Joonis 2.4. Avatud ringlusega geotermaal süsteem ehk energiakaev (U.S. Department of Energy, 2013)

Avatud ringluse puhul kasutatakse kaevu või väikest veekogu, et toimuks soojusvahetus. Vesi läbib maasoojuspumba ringlust ning soojusvaheti abil võetakse võetakse välja sealt soojusenergia. Sellist süsteemi saab kasutada, vaid kohtades kus on ligipääs puhtale veele ning täidetud on põhjavee regulatsioonid.

2.3. Hüdroenergia

Maailma kogupindalast on ligemale 71% kaetud veega ning selle liikumisest on võimalik toota elektrienergiat. Esimesteks hüdroenergia kasutajateks ulatuvad iidse Egiptuse ning Mesopotaamia aegadesse, kus kasutati vee-energiat põldudue niisutuseks. Tammide ehitamine suurematele jõgedele ja ojadele on olnud osaks tsivilisatsioonide alg-aegadest. Tammide algne eesmärgiks oli veejuhtimine ning nendega mõjutati jõgede ümbruses olevat florat ja faunat. Tammide abil hoiti kinni vett, mis muidu oleks ära voolanud jõevooluga ning seda kasutati põllumajanduslikul otstarbel. Ehitatud tammidest on väga vähesed ehitatud selleks, et toota energiat. Hüdrokinetiline ehk hüdroenergia on energia, kus on ära kasutatud langeva vee kineetilist energiat. Vee liikumist ehk voolamist on kasutatud eriotstarvetel nagu näiteks vesiveskid ning vee abil toimivad saeveskid. 20-ndal sajandil tehnoloogia moderniseerimise käigus töödati välja metoodika selleks, et toota vee kineetilisest energiast elektrienergiat, mida sai rakendada palju laialdasemalt. Vee-energiat

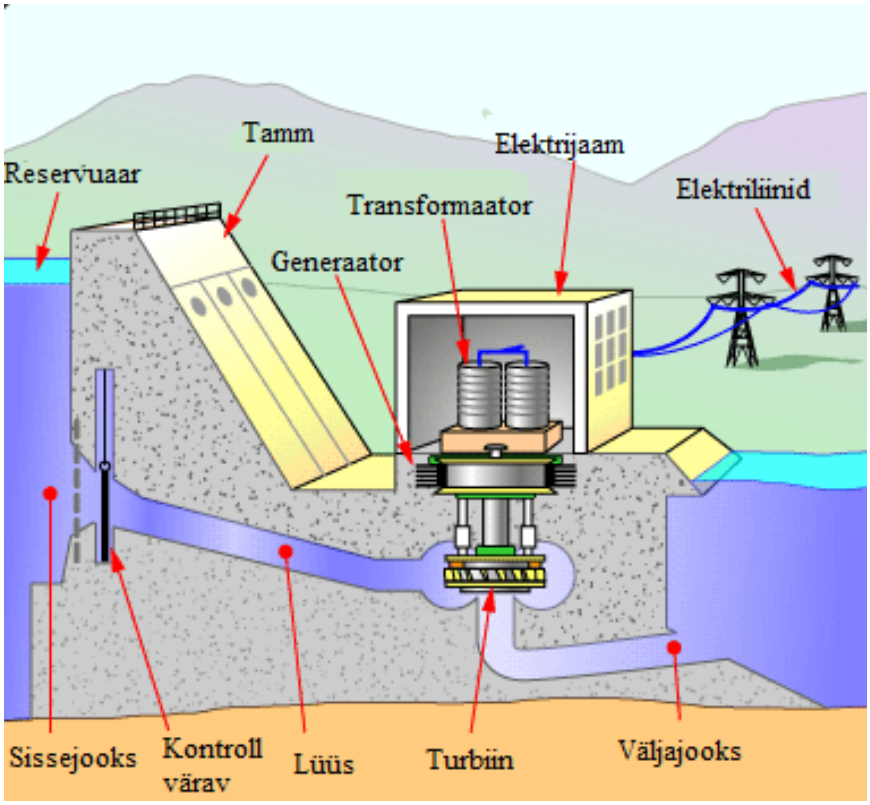
on rakendatud enamasti mehaanilise liikumise tarbeks. Tänapäeval on väljakujunenud mitmed erinevad tehnoloogiad, et toota vee abil energiat. Vee-energiast toodetakse enamasti elektrienergiat, kuid on ka valdkondi, kus kasutatakse siiani vee-energiat mehaanilistel eesmärkidel.(Atkins, 2017)

Erinevad hüdroenergia liigid on:

1) vooluvee hüdroenergia
2) ladustamine ehk veetammide.
3) loodete energia.
4) tagasipumpamisega veereservuaarid.

Jõgede hüdroenergiat kastutatakse enamasti elektrienergia tootmiseks. Jõevoolu abil pannakse liikuma turbiin, mille abil muudetakse vee kineetiline energia elektienergiaks. Enamasti on vaja suurevoolulist jõge, kanalit või lüüsi, mille abil saab turbiini ringi ajada. Tüüpilisel jõgede hüdroenergiajaamadel on väike või olematu reservuaar kuhu vett koguda ehk tootlikus sõltub jõe vooluhulgast. Jõgedelt saadav hüdroenergia sõltub hooaegadest, see tähendab, et voolu hulk on suurem sula, vihma või väiksem põua ajal.(Atkins, 2017; Rusu & Onea, 2017)

Veetammide abil hoitakse vett tammi taga kinni ning vajadusel vabastatakse vesi turbiini, et toota kinetiilisest energiast elektrienergiat. Tammid on võimelised hoidma väga suurtes kogustes vett paigal. Veetamme saab reguleerida vastavalt tarbele, kui ei ole tarbijaid nagu näiteks öösel langeb elektritarve ning selle alusel saab vähendada hoidla energiaväljundit ning, siis kui tarve suureneb saab seda reguleerida nii, et tarbevajadus oleks rahuldatud.



Joonis 2.5. Hüdroelektrijaama ehitus (Bonsor, 2001)

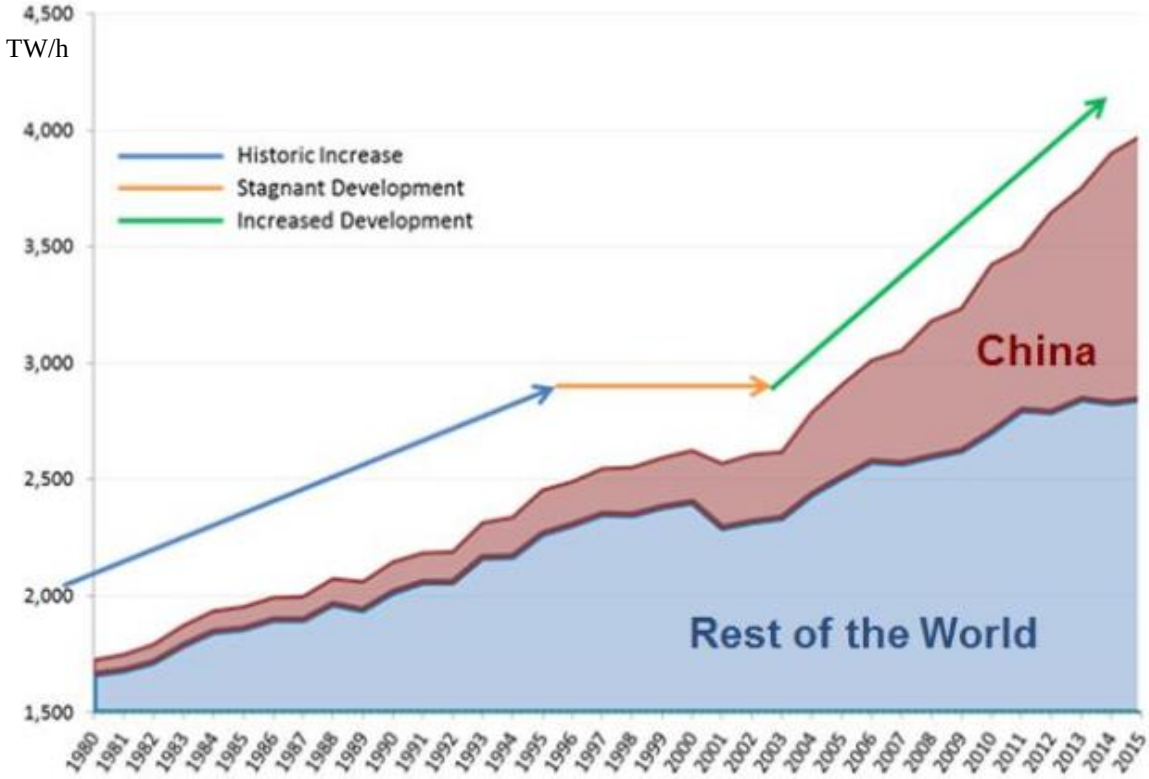
Enamik hüdroelektrijaame töötab tammi abil, mis hoiab kinni vett ning seeläbi tekib sellele suur veehoidla ehk reservuaar. Sissejooksu kaudu lastakse vett lüüsi ning vee sissepääsu hulka juhib kontroll värav. Kui vesi läbib lüüsi jõuab see vesi turbiini, mis hakkab liikuma. Turbiini labadega püütakse kinni veeliikumise energia ning see paneb omakorda liikuma generaatori rootori ning seeläbi toodetakse elektrienergiat. Traffo abil muudetakse vahelduvvool kõrgepingeliseks vooluks ning seejärel juhitakse vool elektrivõrku. Väljajooksu abil juhitakse vesi jõkke tagasi ning vesi jätkab enda loomuliku kulgu. Vett mida hoitakse hoidlas peetakse, kui salvestatud energiat. Maksimaalset väljundenergiat on võimalik määratakse kahe põhilise teguriga. Nendeks teguriteks on veevoolu hulk ja kõrgus veepinna ja turbiini vahel. (Bonsor, 2001)

Loodete energia on vähem arenenud, eelpool nimetatud hüdroenergia tehnoloogia. Selle tehnoloogiaga rakendatakse merelaineid, et toota elektrienergiat. Läänemeri on pärsitud loodete energiale kuna lainetus ei ole piisav. (Atkins, 2017; Rusu & Onea, 2017)

Tagastuspumbaga veehoidlad on sarnased tammidele, kuid erinevuseks on see, et nad annavad välja alati enda nimivõimsust ning, kui energiat ei tarvitata ära kasututatakse seda

selleks, et vett tagasi pumbata ülemisse hoidlasse. Tehnoloogiad mida rakendatakse hüdroenergia tootmiseks on tihtipeale kattuvad näiteks vooluvee hüdroenergia võib sisaldada ka tammi ehk veehoidlat. (Atkins, 2017; Rusu & Onea, 2017)

Maailma kõige suuremaks veetammiks on Kolme Kuristiku Tamm, mis asetesb Hiinas. Pais on 2,3 km pikk 101 meetrit kõrge ning aluse paksus on 115 meetrit. See hüdroenergia tammi nimivõimsus on 22,25 GW elektrienergiat ning seda energiat toodavad 32 elektri generaatorit. (Handwerk, 2006)



Joonis 2.6. Maailma hüdroenergia mahud (Girling & Lane, 2016).

Jooniselt 2.6 on näha, et Hiina hüdroenergia maht on suurenenud läbi aegade ning selle tootlikus on suurenenud umbes sama suureks, kui kogu ülejäänud maailm seda toodab. Vahemikus 1980 kuni 1995 toimus väike tõus vee-energia majanduses. Aastatel 1996 kuni 2003 oli stagnatsioon ning hüdroenergia tootmine püsis samal tasandil, kui 1995 aasta lõpus. Tingitud oli see sellest, et teised riigid, kui hiina vähendasid tootlikuse mahte ning hiina jätkuvalt suurendas. Aastast 2004 kuni 2016 toimub hüdroenergias elektrivõimsuse tootlikus suurenemine ning see ulatub ligemale 4000-le TW/h elektri energiale.(Girling & Lane, 2016)

2.4. Tuuleenergia

Tuuleenergiat hakati kasutama esmaselt umbes 3000 aastat e.Kr. Egiptuses ning seda kasutati just purjelaevade liigutamiseks. Samuti kasutati tuulikuid, et jahvatada teravilju tuuleenergia abil. Tuulikutes kasutati tuuleenergia püüdmiseks kasutati labasid, mis panid liikuma püstaku ning selle püstaku lõpus oli jahvatuskivi, mille abil jahvatati. (J. Layton, August 2006)

Õhuhulkade liikumisest tekib õhuosakeste liikumine, mille abil on võimalik kineetilistenergiat kinni püüda ning liikuma panna turbiini terad, mis omakorda paneb liikuma generaatori rootori. Generaatori abil muundetakse liikumise energia elektrienergiaks. Tuuled saavad alguse päikesest, kui päike soojendab maapinda ning soojuskirguse abil võtab õhumass endasse päikselt kiiratud soojusenergiat ning temperatuuri abil hakkab soojem õhk tõusma ning külm õhk hakkab asendama tühimikku. Kui asetada tuule suunda tuuleturbiin, hakkab tera liikuma kuna osa tuule energiast kandub edasi tuulegeneraatorile. See toimib sarnaselt purjekale, kus purje abil püütakse kinni tuul ning tuule liikumise energia abil hakkab purjekas liikuma. (Ayuso & Kjaer, 2016; J. Layton, August 2006)

Tänapäeva tuuleenergiageneraatorid on maksimaalse nimivõimsusega kuni neli MW. Moderne tuulegeneraator koosneb kolmest põhikomponendist:

1) labad
2) võll
3) generaator.

Labade toimivad, kui purjed mille abil pannakse liikuma võll, nad toimivad nagu takistused tuulele. Tuule jõud paneb need labad liikvele ning need samad labad on kinnitatud võllile.Võll ühest otsast on kinnitatud labadega ning teine ots on kinnitatud rootori külge. Kui võll hakkab liikuma, siis hakkab ka rootor liikuma. Rootori abil muundatakse pöörlemisenergia elektrienergiaks. (Aggeliki, 2011; Ayuso & Kjaer, 2016; J. Layton, August 2006)

Elektromagneetilise induktsiooni abil toodetakse generaatoris elektripinget. Harilik

generaator koosneb magnetitest ja elektrijuhist. Elektrijuht on tavaliselt pooliks keeratud vaskjuht. Rootor keerlemisel indutseeritakse voolu elektrijuhti. Tekitatud elektrivool juhitakse kaablite abil elektrivõrku. (Aggeliki, 2011; Ayuso & Kjaer, 2016; J. Layton, August 2006)

Tänapäeva tuulegeneraatorid on kahe põhilise ehitusega:

1) vertikaalse teljega tuulegeneraator
2) horisontaal teljega tuulegeneraator.

Vertikaalse teljega tuulegeneraator on tänapäeval üsna haruldane. Ainuke Darrieuse turbiin, mis on tööstlikus tootmises on kujult järgnev:

Joonis 2.7. Vertikaalse teljega Darrieuse tüüpi turbiin(Aggeliki, 2011)

Joonisel 2.7 on näha millise ehitusega on vertikaalse teljega tuulegeneraator. Sellel on kaks laba ning need on kinnitatud võlli külge (labade arv varieerub). Võll on omakorda kinnitatud rootorile ning selle abil saab toota elektri energiat. Vertikaalse teljega tuulegeneraator paigutatakse ristsirgelt maa suhtes ning seeläbi ei ole sellel atribuutikal vaja suunamuutust

ehk see seadeldis on alati tuules. Sellel seadeldise miinuseks on see, et ta ei hakka ise tööle ning vajab abi käivitamisega.(Aggeliki, 2011; Ayuso & Kjaer, 2016; J. Layton, August 2006)

Kogu mehhanismi hoiavad püsti abitrossid ning see läbi ei ole vertikaalse teljega tuulikud eriti kõrged ning maalähedased objektid segavad selle tööd. Heaks küljeks on jällegi see, et neid on kergem hooldada, kui horisontaal teljega tuuleturbiine kuna nad on enamasti madalamad. Vertikaalsed tuuleturbiinid on palju suurema jalusega ning nad hõlmavad enda alla suure territooriumi ning seega on neid raske kasutada põllumajanduslikel aladel.(Ayuso & Kjaer, 2016; J. Layton, August 2006)

Nagu ütleb nimi horisontaalne tuulegeneraator on sellise tuuliku rootor horisontaalses asendis ning paraleelne maapinna suhtes. Sellised tuulegeneraatorid vajavad suunamuutmist selleks, et kinnipüüda võimalikult suur kogus tuuleenergiat. Suunamiseks kasututatakse mehhanismi, mis mõõdab tuulesuunda, kiirust, ning selle alusel pöörab seadme tuulde. Horisontaalse teljega tuulegeneraator on palju väiksema jalusega, kui seda on vertikaalse teljega kuna enamus selle komponente asub torni tipus. Põhi koostiosadeks horisontaalsel tuulegeneraatoril on torn, suunamissüsteem, generaator, trafo, võll ning labad. (Aggeliki, 2011)

Joonis 2.8. Horisontaalne tuulegeneraator (Altement, 2014)

Joonisel 2.8 on näha Virtsus asuvaid horisontaalseid tuulegeneraatoreid. Praegused

tuulegeneraatorid kasutavad väga kõrgetasemelisi aerodünaamika printsiipe, et püüda tuule kineetilistenergiat. Põhiliseks aerodünaamika jõududeks tuuleturbiini labadel on tõstejõud ning lohistusjõud. Tõstejõud toimib risti tuulepuhumis suunaga ning lohistusjõud toimib piki laba.(Ayuso & Kjaer, 2016; J. Layton, August 2006)

Tuulegeneraatori labad on kujult sarnased lennuki tiibadele, kuid võrreldes lennukitiibadega on nad pöördkehad. Pöördkeha on nad just sellepärast, et nad ükskõik millisest asendist suudaks tuult kinnipüüda ning hoida tõste- ja lohistusjõu suhet optimaalsena.
Väljund võimsuse arvutamiseks, mida tuuleturbiinid on võimeline tootma sõltub suuresti tuule kiirusest ning labade diameetrist. Enamus tuulikuid saavutavud enda nimivõimsuse 15 m/s juures. Kui tuule kiirus on konstantse suurusega, siis määratakse tuuliku energiaväljundit rootorilabade pikkuse kaudu. (J. Layton, August 2006; Smilden, Horn, Sørensen, & Amdahl, 2016)

Tabel 2.1. Rootorilabadest sõltuv nimivõimsus.(Aggeliki, 2011; J. Layton, August 2006)

Jrk. Nr.	Labade diameeter l, m	Väljundvõimsus P, kW
1.	10	25
2.	17	100
3.	27	225
4.	33	300
5.	40	500
6.	44	600
7.	48	750
8.	54	1000
9.	64	1500
10.	72	2000
11.	80	2500

Tabelis 2.1 on näha, et labade diameeter on sõltuvuses väljundvõimsusest, mida pikemad on labad seda suurem on väljundvõimsus, seda loomulikult tingimusel, et tuulekiirus on konstantne. Tegelikusele vastavas olukorras on tuul muutliku suunaga, muutliku kiirusega ning esineb olukordi, kus tuule kiirus läheneb tuulevaikusele või tuul on liiga tugev ning tuulik jäetakse üle-üldse seisma. Seiskamise kiirus suurtematel tuulegeneraatoritel on

enamasti 20 m/s. Selle kiiruse juures muutub labade tsentrifugaal jõud liiga suureks ning muutub ohtlikuks tuulikule, kuna see ohustab tuuliku ehitust.(J. Layton, August 2006; Smilden et al., 2016)

Kõige enam kasutatud ohutusseade on pidurisüsteem, mis rakendub juhul, kui tuule kiirus muutub liiga suureks. Tänapäeval kasutatakse mitmeid erinavaid pidurdus süsteeme:

1) kaldekontroll pidurdus
2) passiivne kiirusekontroller
3) aktiivne kiirusekontroller.

Kaldekontroll pidurdusega jälgitakse generaatori väljundvõimsust ning tuulekiirusel ~20 m/s muutub väljundvõimsus liiga suureks ning sel hetkel, kui tuul muutub liiga kiireks rakendatakse kontroller, mille abil muudetakse labade nurka nii, et nad ei oleks enam tuule suunas. Terade keeramisel aeglustub rootori kiirus ning seeläbi on tagatud tuuliku ohutus. Nurga muutmiseks on vaja eraldi süsteemi, mis oleks võimeline muutma terade nurka.(J. Layton, August 2006; Smilden et al., 2016)

Passiivse kiirusekontrollerina kasutatakse erilise kujuga tiivikulabasid, mis liigsel tuulekiirusel hakkab tekitama turbolentsi tekitades sellega aegulsutust. Aerodünaamiline aegulustus toimub, kui laba tugeva tuule nurk muutub nii madalaks, et tõstejõud väheneb ning seeläbi väheneb ka rootori kiirus.(J. Layton, August 2006)

Aktiivse kiiruskontrolli juures on võimalik muuta labade nurka nagu ka kaldekontrolliga tuulikul. Aktiivse kiiruskontrolli süsteemi juures kontrollitakse samuti väljund võimsust ning selle alusel muudetakse labade kaldenurka nii, et kiirenduse asemel see hoopis aeglustub.

Globaalsel tasandil toodetakse tuulest energiat ligikaudu samapalju, seda teeb maailma suuruselt kaheksas tuumaelektrijaam. See sisaldab nii kommunaalteenusteks kasutatavaid tuuleturbiine, kui ka individuual kasutuse olevaid tuuleturbiine. Tuuleturbiin suurusega ligemale 7 meetrit on nimivõimsusega 10 kuni 12 kW ning see on võimeline tootma 16 GWh elektrienergiat. Harilik majapidamine tarvitab umbes 10 GWh energiat aastas. Võimsusega 1,8 MW on võimeline tootma ligemale 5200 GWh elektrienergiat ideaaltinigimustes ning

see on võimeline ära rahuldada 500 kuni 600 majapidamist, kuid ideaaltingimusi ei saa saavutada kuna tuul võib olla kohati liiga tugev ning samaaegselt võib tuule kiirus olla väiksem.(J. Layton, August 2006)

Kuigi tuuleenergiat on kallim toota, kui seda näiteks kivisöega või mõne muu fossiilse kütusega on olemas kaks suurt faktorit, mille alusel võib öelda, et neid on otstarbekas kasutada. Esimeseks põhjuseks on see, et tuuleenergia on roheline ehk puhas, ning teine põhjus on see, et see on taastuvenergia allikas. Tuuleturbiine kasutades ei paisku ohtlikuid kasvuhoonegaase atmosfääri. Tuuleenergiaga on võimalik juhtida elektrit sellistesse kohtadesse, kus parasjagu ei ole elektrivõrk veel valmis ehitatud, ehk seda on võimalik lokaalseks ning iseseisvaks kasutuseks. Kuigi tuulegeneraatoril on palju häid külgi ei ole see võimeline alati töötama täisvõimsusel, kuna tuule kiirus on ajas muutuv. Tuuleturbiinid on valdavalt lärmakad ning võivad mõjutada elukvaliteeti ning need on ohtlikud lindudele.

Tuulikute rajamisel peab silmaspidama aastast tuulehulka, sest see on põhifaktoriks elektrienergia tootmisel tuulest. Tuule suurenedes suureneb väljundvõimsus eksponentsiaalselt ning ka väike tuulekiiruse muutus võib anda väga suure lisa energiaväljundile. (Aggeliki, 2011; J. Layton, August 2006)

Kui aluseks võtta tootlikus, siis võib öelda, et effektiivsus peitub selles, kui neid on mitu. Suurt gruppi tuulikuid nimetatakse tuulefarmiks või tuulepargiks, ning need on kõige kuluefektiivsed. (Aggeliki, 2011; J. Layton, August 2006)

Aastaga 2015 suurenes maailma tuuleenergia väljundvõimsus 435 GW-ni ning see moodustab ligikaudu 4% kogu maailma tervest väljundvõimsusest. Tuuleenergiaga toodeti kokku ~950 TWh elektrienergiat. Tuulikuid võib jagada paiknemise alusel kolme suuremasse rühma: (Aggeliki, 2011; J. Layton, August 2006)

1) Suured maismaa tuulikud
2) Väiksed maismaa tuulikud
3) Avamere tuulikud.

Suuri tuulikuid on maailmas ligikaudu 210000 masinat ning nende ligikaudne nimivõimsus on 422 GW elektrienergiat. Väiksed maismaa tuulikuid on kokku rohkem kui 800000

tuulikut, kuid väljundvõimsus on alla ühe GW elektrienergiat. Avamere tuulikuid on ligikaudu 4000 masinat ning nende koguvõimsus on 12 GW. Suurimad maismaa tuulepargid ületavad koguvõimsust üks gigawatt elektrienergiat. Suureimad tuulepargid on näiteks Gansu tuulepark Hiinas, Muppandal tuulepark Indias ja Alta tuulepark Ameerika Ühendriikides. Juhtriik tuuleenergia tootlikuses on Hiina, ning selle riigi tuuleenergia koguvõimsus on 33 GW (Ayuso & Kjaer, 2016)

Tuuleenergia püüdmisel rakendatakse Saksamaa füüsiku Albert Betzi tuule mehaanilise võimsuse valemit

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho S V_0^3 \tag{2.1}$$

Kus P - mehaaniline jõud, mida saab tuulelt kinnipüüda, W

C_p - on tuuleturbiini muundustegur

ρ - õhutihedus, kg/m^3

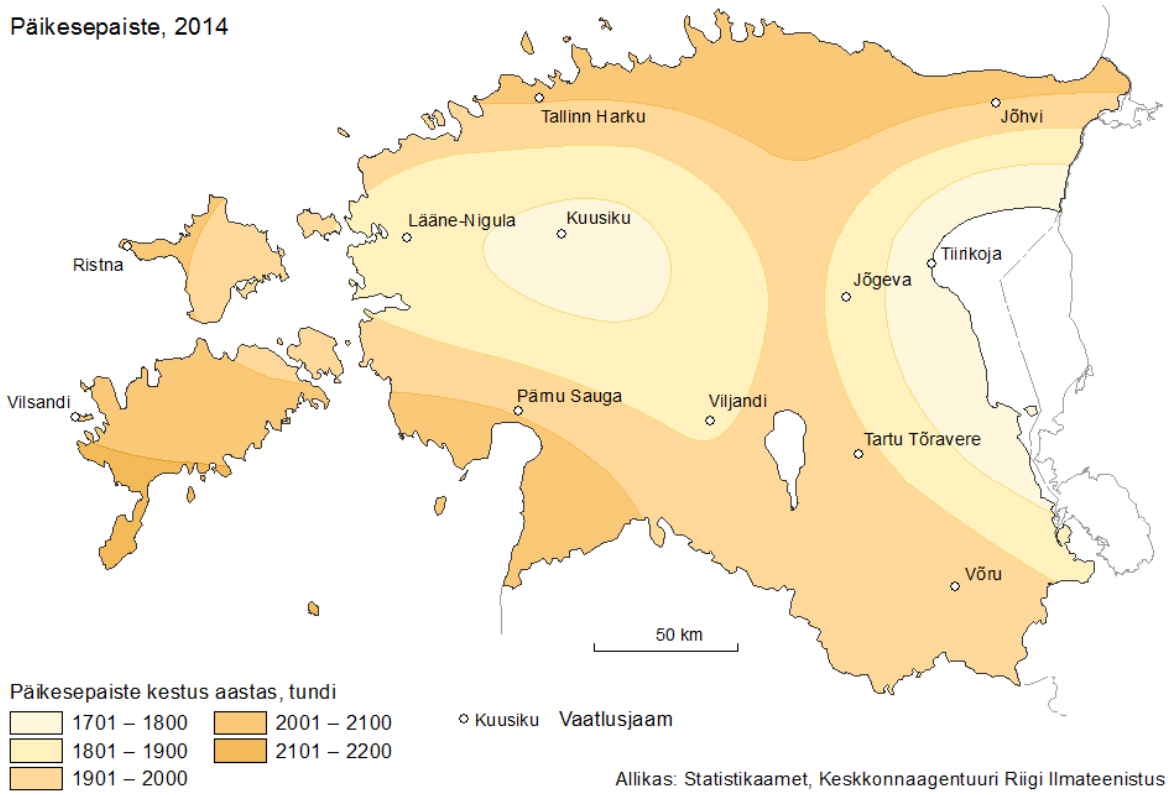
S - tuulikulaba pindala, m^2

V_0 - tuulekiirus antrud hetkel, m/s.

Selle valemi abil on võimalik arvutada potentsiaalset tuuleturbiini võimsust.

2.5. Päikeseenergia

Päikeseenergia omapäraks Eestis on see, et talvel kahaneb tootlikkus kardinaalselt ehk vahemikus märts kuni oktoober toodetakse päikesepaneelidega ligikaudu 90% kogu aasta energiast. Eestile sarnaseid näitajaid omavad veel mitmed riigid näiteks – Suurbritannia, Holland, Saksamaa, Rootsi ja paljud muud. (Velling & Vaasma, 2012)



Joonis 2.9. Aastane päikesepaiste tundides (Statistikaamet, 2014)

Eestis kõige päikese rikkamad asukohad on Pärnumaa, Lõuna-Saaremaa, Lääne-Hiiumaa ning Eesti põhjarannik. Nendes alades ulatub päikesepaiste tundides üle 2100 tunni aastas. Kõige väiksema päikesepaiste kestusega aastas on Kesk-Eesti ning Peipsi järve ümbritsevad alad.

Päikese valgusest energia tootmiseks kasutatakse põhiliselt kahte erinevat põhimõtet:

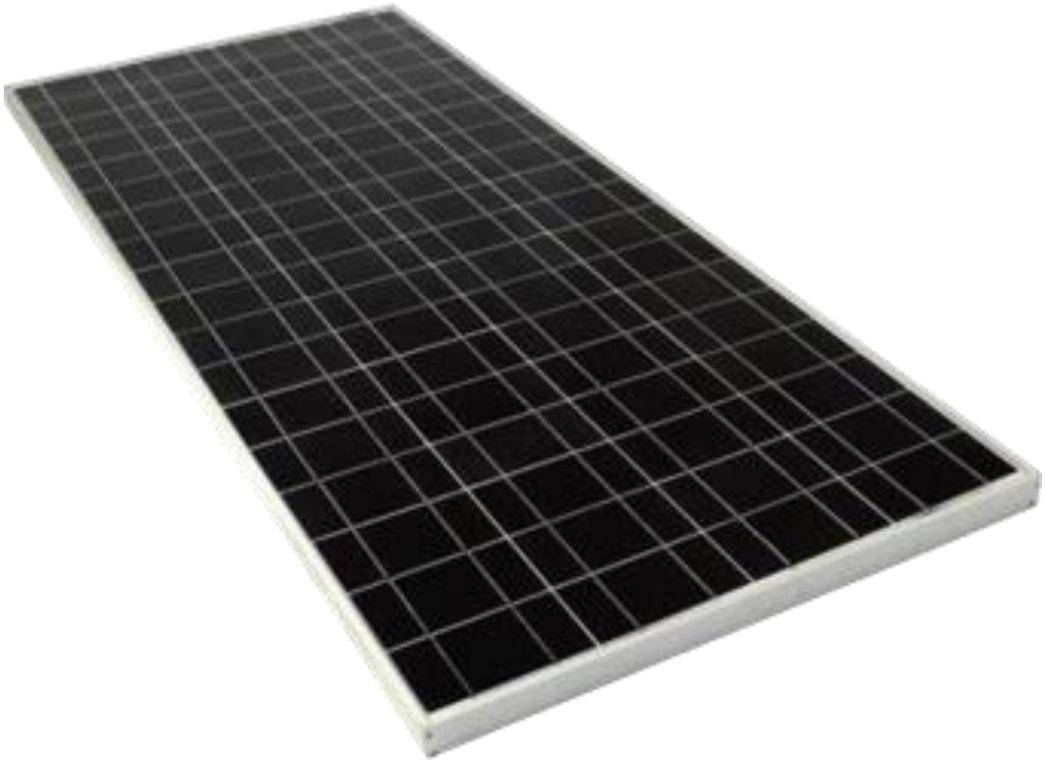
1) Fotogalvaanilise päikesepaneelid
2) Päikese soojuskiirugus energia.

Fotogalvaanilised päikesepaneelid ehk PV-paneelid on üheks võtme tehnoloogiaks, mida rakendatakse päikeseenergiast elektrienergia tootmiseks. PV-paneelide puhul kasutatakse pooljuht aineid nagu näiteks räni, mille abil sünteesitakse päikese valgusest elektrit. Kasutusel on põhiliselt kahte eritüüpi kristalliliseräni tehnoloogiat. Esimese puhul kasutatakse monokristallilist lehte, mille paksus on kuni 200 mikromeetrit. Teiseks variandiks on polükristalliline räni, mis on saetud spetsiaalsete traatide abil õhukesteks plaatideks. Tootmise trend liigub aina polükristalliliste fotogalvaaniliste päikesepaneelide poole. Aegamööda on monokristalliliste tootmise hinnad langenud ning nende populaarsus

võib tulevikus suureneda. (Ekins-Daukes, 2009; Grätzel, 2003; Trimarchi, 2009)

Joonis 2.10. Monokristalliline PV-paneel (Sendy, 2016)

Joonisel 2.10 on näha monokristallilist PV-paneeli, seda tüüpi päikesepaneel on kõige enam arendatud. Nagu ütleb nimetus monokristall koosneb terve struktuur ühtsest jätkuvast kristallilisest struktuurist. (Khan, 2014; Sendy, 2016)



Joonis 2.11. Polükristalliline Pv-paneel(Sendy, 2016)

Joonisel 2.11 on näidatud polükristallilist PV-paneeli, seda tüüpi paneel on ehitatud mitmest erinevast räni kristallist, mis on omavahel ühenduses. Sellise konstuktsiooniga päikese paneel on vähem efektiivne, kuid ehitamise käigus esineb vähem kadusid. (Khan, 2014; Sendy, 2016)

Kui jätta kõrvale mono- ja polükristallilised PV-paneelid on kasutusel ka amorfse katte kihiga orgaaniline element ehk *Thin Film,* mida kasutatakse tööstuslikel eesmärkidel. Amorfne räni päikeseelement vajab ühte protsenti kogu materjalist, mis kulub kristallislise PV-paneeli tegemiseks ning seda saab teha erinevates kujudes ning suurustes ning seda on võimalik toota ökonoomsel viisil. Amorfset räni elementi rakendatakse erinevates igapäeva tarbeesemetes nagu näiteks käekellad, kalkulaatorid ning teised sarnased asjad. Sellise metoodikaga kasutatakse eriti õhukest valgustundlikut materjali ning see asetatakse odavamatele materjalidele nagu näiteks klaas, plastik või roostevaba teras. Amorfse elemendi tootmine on odavam, kui seda on kristalliliste PV-paneelide tootmine, kuid sellise tehnoloogia kasutamisel on päikesevalgusest püütud energiahulk väiksem ning seega on efektiivsus madalam. (Ekins-Daukes, 2009; Grätzel, 2003; Khetarpal, 2016; Trimarchi, 2009)

Joonis 2.12. *Thin-Film* ehk amorfne PV-moodul (Sendy, 2016)

Sellise päikesepaneeli tootmine on kõige odavam, kuid selle efektiivsus on madalam, kui kristalliliste PV-paneelide vasted. Amorfsepaneeli mass tootmine on lihtsam, kui räni PV paneelide oma. (Khan, 2014; Sendy, 2016)

PV-paneelide suurimateks probleemideks on tehnoloogia efektiivsus, eluiga ning jõudlus, mis kahanevad aegamööda. Tööstuslikud fotogalvaanilised muudavad vaid 20% valgusest elektrienergiaks. PV-paneelide efektiivsust mõjutab ka selle temperatuur enamasti, mida suuremaks läheb paneeli temperatuur seda madalamaks läheb päikesepaneeli efektiivsus. Monokristallilised PV-paneelid on eelpool mainitud päikesevalgus paneelidest kõige efektiivsemad ning nede eluiga on kõige pikem. (Ekins-Daukes, 2009; Khetarpal, 2016; Locke, 2008; Trimarchi, 2009)

Päike kiirgab soojusenergiat ning seda on võimalik kasutada eriotstarvetel. Seda soojust saab kasutada, et käivitada soojusmasin, mis toodaks päikese kiirguslikust energiast elektrienergiat. Päikese kiirguslikku energiat on võimalik salvestada ning seda näiteks vee, õli, soolade, õhu või muude sarnaste ainete abil. Päikese valguse kollektoritel rakendatakse

peegleid, mille abil koondatakse päikese kiirguslik energia soojusvahetile, mis sisaldab vedelikku. Koondamispeeglid liiguvad päikese suunda nii, et kiiratav valgus peegelduks soojusvahetus tornile ning selle abil soojendatakse kollektoris olev vedelik kõrgetele temperatuuridele. (Ekins-Daukes, 2009; Khetarpal, 2016; Trimarchi, 2009)

Kui kasutatakse PV-paneelide süsteeme, siis muundatakse päikesevalgus otse elektrienergiaks ning see limiteerib neid töötama, vaid päeval kui neile ei ole paigaldatud eriotstarvelisi akusid, mille abil salvestatakse päeval kogutud energia ning hiljem vajadusel rakendatakse kogutud energiat. Päikese kiirgusliku energia on samuti võimalik salvestada nagu ka PV-paneelidelt toodetud elektrienergia, kuid seda on teha lihtsam. Päikese kiirgusliku soojusenergiat on võimalik salvestada spetsiaalsetesse mahutitesse ning vajadusel on võimalik sooja kasutada elektrienergia tootmiseks ka aegadel, mil päikest ei paista ning seeläbi saab elektrienergiat toota ööpäeva ringselt. (Ekins-Daukes, 2009; Grätzel, 2003; Locke, 2008; Wheldon, 2011)

Päikese soojuskiirguslike kollektoreid võib jagada kahte suuremasse rühma:

1) madalal temperatuuril toimivad päikese soojuskiirguse süsteemid
2) kõrgel temperatuuril toimivad päikese soojuskiirguse süsteemid

Madalal temperatuuridel päikesekollektorid toimivad kasvuhoone efekti põhimõttel. Päikesevalgus tungib läbi läbipaistva või poolläbipaistva soojakollektori pinna ning soojusvahetuse abil salvestatakse soojusenergia paaki. Selliste kollektoritega on võimalik teostada siseruumide soojendamist ning samuti on võimalik soojendada näiteks basseinide vett. Madala temperatuuriliste päikesekollektoritel on kaks põhikonstruktsiooni lamedad- ja torujadkollektorid.(Ekins-Daukes, 2009; Khetarpal, 2016; Trimarchi, 2009)

Kõrgtemperatuuri päikesesoojuskollektorid toimivad kahel erineval põhimõttel. Esimene tehnoloogia on joonfookus meetod ning teine on punktfookus meetod. Joonfookus meetod on odavam, kuid see ei ole nii efektiivne, kui punktfookus meetod. Joonfookus meetodi tööpõhimõtte toimib paraboolikujulistel peeglitel, mis hoiavad ennast päiksega suunas. Joonfookusega valguse koondumispunktis ulatub temperatuur ligikaudu 300°C. (Ekins-Daukes, 2009; Khetarpal, 2016; Trimarchi, 2009)

Punktfookusega jälgitakse päikse paistmise suunda ning korigeeritakse kahe teljeliselt, et suunata päikesevalgus kollektorisse. Punktfookusega saavutatakse palju kõrgemaid

temperatuure, kui joonfookusega. Punktfookusega koondatakse päikesevalgus ühte punkti ning selle abil saavutatakse ligikaudu 800°C temperatuur, mida saab kasutada tööstuslikel eesmärkidel või elektrienergia tootmiseks. Päikesevalguse konsentreerimiseks kasutatakse peegleid, mille abil saab toota kõrgtemperatuurilist auru ning selle abil pannakse liikuma turbiin, mille abil toodetakse elektrienergiat. (Ekins-Daukes, 2009; Khetarpal, 2016; Trimarchi, 2009)

PV-paneelide tootmise käigus kasutatakse aineid ja materjale, mis on kahjulikud tervisele. Päikesevalguse paneelidel kasutatakse suurtes kogustes samu keemilisiühendeid, mida kasutatakse elektroonika tööstuses. PV-paneelide tegemiseks kasutatakse plahvatusohtliku mitteorgaanilist gaasi silaani. Päikesepaneelide tegemisel saetakse räniblokki, mille käigus lendleb keskkonda ränitolmu ning see on ohtlik töötajatele. Ehituse käigus rakendatakse ka soolhapet, väävelhapet, lämmastikhapet, atsetooni, mida kasutatakse räniplaatide pindade puhastamiseks.(Khetarpal, 2016; Locke, 2008; Toothman & Aldous, 2000)

Amorfse päikese paneeli tootmisel rakendatakse ohtlike keemilisi elemente nagu näiteks galliumi, indiumi, arseeni ning kaadmiumi. Neist kõige mürgilisem on kaadmium, mida kasutatatkse kaadmiumtelluuriidi päikese elementide tegemiseks. See keemiline kooslus on ülimalt mürgine, kuid see ei ole keelatud kuna kaadmiumi ja telluur moodustavad väga stabiilse ühendi ning seeläbi selle püsivuse tõttu on see tehnoloogia lubatud. Kaadmiumtelluuriidi sisaldus ühes amorfses päikesepaneelis on palju väiksem, kui ühes harilikus patareis. (Khetarpal, 2016; Locke, 2008; Toothman & Aldous, 2000)

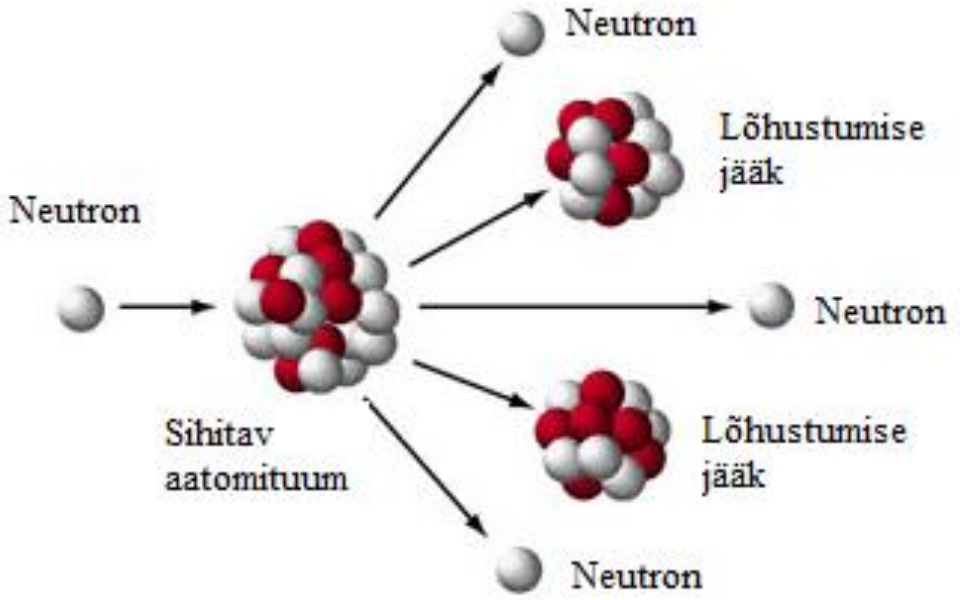
Päikesepaneelide rajamisel enamus eluaja jooksul tekitatud emissioonidest moodustab ehituse, transpordi ja paigaldamse käigus tekitatud heitest. Kogu ülejäänud eluvälbi jooksul ei tekita päikesepaneelid märkimisväärset kogust emissioone. Taaskasutamiseks paraku PV-paneele väga ei kasutata kuna nende moodulite taaskasutamine on valdavalt kõrge hinnaga.(Khetarpal, 2016; Toothman & Aldous, 2000)

Päikesepaneelid mõjutavad kohalikku bioloogilist mitmekesisust, kuna nendega kaetakse päike ning selle tõttu ei kasva päikesepaneeli jaluses taimi. Päikese soojuskiirguse tornidega võivad tekkida elupaikade killustumised, mis on kahjulikud taimlatele ning samaaegselt võivad pärsida loomset liikumist. (Ekins-Daukes, 2009; Khetarpal, 2016; Trimarchi, 2009)

2.6. Tuumaenergia

Esimesed tuumaenergia elektrijaamad rajati aastatel 1950 ning on sellest ajast peale jõudsalt suurenenud. 70 ja 80-ndate ajal nende populaarsus kasvas veel enamgi kuna sellisel viisil saadud energia oli odavam, kui fossiilsed kütused. Seoses fosiilsetekütuste kriisiga suurenes tuumaenergia populaarsus veel enamgi. Tuumaenergia eeliseid on viimasel ajal suuresti tunnustatud kuna tegemist on valdavalt töökindla ning ohutu energiaallikaga, ning seda kasutavad paljud riigid. Tuumaenergia ei eralda energia tootmisel ohtlikuid kasvuhoonegaase, kuid sellega kaasnevad teistsugused jääkained.(Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Tänapäeva tuumareaktorid on ehitatud selliste ehtiuspõhimõtetega, et nad oleks ohutumad ning efektiivsemad kui need, mis olid eelnevalt kasutusel. Praeguse energiatarbimise alusel võib öelda, et tuumaenergiat jätkub kauemaks kui sajaks aastaks. Neutron reaktori arendamisel võib kütuse hulk suureneda veelgi ning selle abil on võimalik toota energiat piiramatu ajavälbiga. Põhi probleemiks tuumaenergiaga seoses on see, et sellest jääb alles kogus radioaktiivseid aineid. (Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)



Joonis 2.13. Aatomituuma lõhustumine(Rossenfeld, 2015)

Uraani aatomi tuuma pommitatakse neutronitega ning selle tagajärjel lõhustub uraan jääkaineteks ning paiskab süsteemi kaks või kolm neutronit, mis omakorda lõhustavad

järgnevaid aatomituumasid. Lõhustumise tagajärjel tekkinud jääkained on krüptoon ja baarium ning lõhustumise vabanevad protsessist neutronid ning energia. (Brain & Lamb, 2000; Rossenfeld, 2015; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Tuumaenergia tootmisel kasutatakse rikastatud uraani. Uraani leidub maapõuest enamasti igalpool, kuid väga väikestes kogustes. Maailma kõige suurematekst uraani kaevandaja riikideks on Kanda, Austraalia, Namibia, Nigeeria ja Kasahstan ning uraani kaevandataks kokku 12 riigis. Need riigid toodavad ligikaudu 80% kogu maailma uraanist, kuna nendes riikides esineb uraanirikkaid muldi. Uraani kaevndamisel kasutatakse kahte erinevat kaevandus metoodikat ribakaevandus ning maa-alunekaevandus. Uraani maaki kaevandatakse ning seejärel töödeldakse see purustaja abil. Purustatud maagile lisatakse vett, mille abil tekib läga. Lägale lisatakse väävelhapet, mille toimel uraan lahustub oksiidideks ning ülejäänud läga jääb lahustumata. Lägast filtreeritakse välja lahustunud uraanisool ning seejärel see kuivatatakse. Peale kuivatamist valmib uraanioksiidi konsentraat, mis tegelikult ei ole väga radioaktiivne. Valminud konsentraadi radioaktiivsus on ligikaudu sama tugev kui kosmiline kiirgus lennukile, mis lendab kümne kilomeetrikõrgusel.

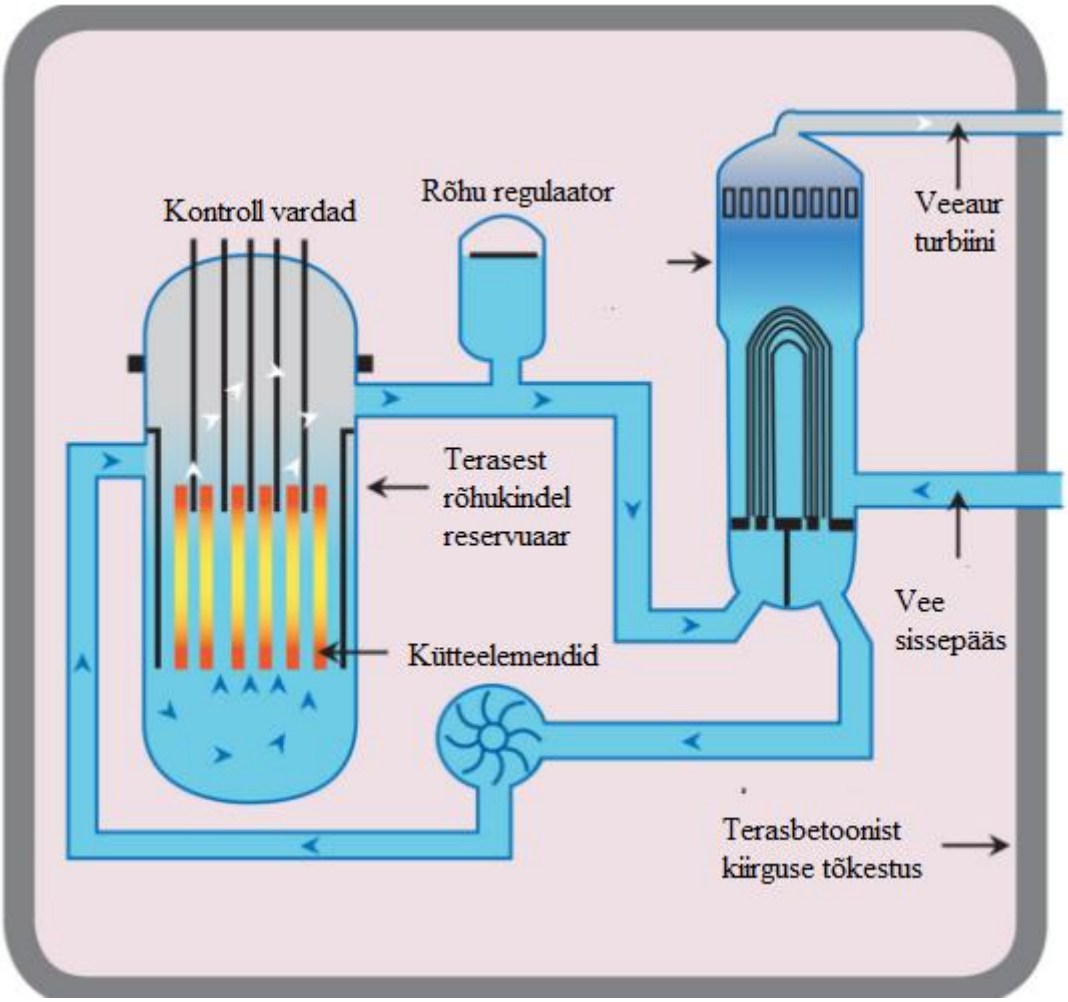
Globaalne uraani tootmine on viimaste aastatega suurenenud. Peapõhjuseks uraani tootlikuse suurenemisel on see, et Kasahstan on enda tootmismahte suurendanud. Kasahstan on uraanitootlikuse poolest juhtriik maailmas. Tuumaelektrijaamade arv on suurenenud läbi aegade, kuid sellegi poolest on kaevanduste tootlikus suurem, kui iga-aastane tuumakütuse tarve (militaarne). (Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Looduslikku uraani saab kütusena kasutada, vaid sel juhul kui seda rikastatakse. Uraani isotoobil U^{235} on looduslik aine isotoop, mis on võimeline tekitama ahelreaktsiooni. U^{235} sisaldus uraanis peab olema 4-5% ning seda saavutatakse uraani rikastamise teel. Kui see on saavutatud saab kasutada uraani tuumaelektrijaama kütusena. Maailmas toodetakse üle 17000 tonni rasket metalli (uraani) aastas ning kogutarve energiamajanduseks on ligikaudu 10000 tonni uraani aastas. (Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Tuumaenergiat kasutavad väga vähesed riigid maailmas. Aastal 2015 planeeiti rajada 65 tuumareaktorit ning 40 neist rajati Hiinas, Koreas, Indias ning Venemaal. Tuumaenergia arendusi tehakse just nendes riikides, mis jagavad sarnaseid energiamajanduslike faktoried.

Nendeks faktoriteks on näiteks sõltuvus fosiilsete kütuse tarnest või keskkonna parandamise eesmärk. Tuumaenergiast elektrienergia tootmisel ei vabane keskkonda heitgaase, küll aga tekib selle tagajärjel kogus radioaktiivseid jääke. Radioaktiivsete ainete abil toodetud elektrienergiaga peab silmaspidama aspekti, ka väheses koguses radioaktiivset ainet on inimestele ja loomadele kahjulik. Tuumaenergia tootmise poolt räägib selle töökindlus, tööl hoidmise hindade prognoosimine ning väike emissioon, kuid selle vastu on julgeoleku küsimus. (Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Tuumareaktoritel on erinevad ehitused kuid üks tüüpilisemaid on joonisel 2.14.



Joonis 2.14. Tuumareaktori ehitus (WNA, 2016)

Selleks, et muuta tuumaenergia elektrienergiaks on vaja, et käiks tuumaahelreaktsioon ning seda tehakse rikastatud uraani kütteelementidega. Ahelreaktsiooni käigus vabaneb suurel hulgal soojusenergiat ning selle abil kuumutatakse vesi rõhukindlas reservuaris. Harilikult

on need kütteelemendid tehtud tolli paksustest pelletitest ning diameerer võib ulatuda samamoodi mõne sentimeetrini. Pelletitest moodustatakse vardad, mis omakorda seotakse omavahel kimpudesse. Valminud kimbud asetatakse veealusesse rõhukindlasse reservuaari. (Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Kontroll vardad on tehtud materjalist, mis absorbeerib neutronkiirgust ning selle abil on võimalik kontrollida ahelreaktsiooni tugevust. Ahelreaktsiooni kiirus muutub aeglasemaks, kui kontroll vardad liiguvad kütteelementide vahele ning, kui need sealt vahelt ära võtta hakkab ahelreaktsioon jällegi toimima. Reaktori seiskamiseks peab kontroll vardad täielikult eraldama ning seda tehakse ainult juhtudel, kui on vaja vahetada kütuseelemente või kui juhtub hädajuhtum. Kütteeleementide abil soojendatakse vett, mis asub rõhukindlas reservuaaris ning selle abil tekib veeaur, mille abil pannkse tööle veeauruturbiin. Veeauruturbiiniga toodetakse elektrienergiat ning veeaur, mis on läbinud turbiini naaseb läbi jahuti uuesti ringlusesse. Kogu protsess toimib terasbetoonist kiirgusetõkesti sees, et ei paiskuks ahelreaktsioonist tekkinud kiiritust keskkonda. (Brain & Lamb, 2000; Ulmer-Scholle, 2016; WNA, 2016)

Tuumaenergia moodustab 11% kogu maailma energia tootmisest ning selle koguvõimsus on ligikaudu 390 GW elektrienergiat.

2.7 Fossiilsed kütused

Fossiilsete kütuste all mõistetakse kivisütt, õli ning maagaasi. Maailma kõige suurema osakaalu energiatootmises saadakse just fossiilsetest kütustest. Fossiilsed kütused on moodustundu orgaanilistest ainetest, mis on lagunenud miljonite aastate järel fossiilseteks kütusteks. Fossiilseid kütuseid on kasutatud väga laialdaselt viimase aastasaja jooksul just tööstuses ja transpordis. Fosiilsete kütuste põletamisel vabaneb suurel hulgal emissioone ning need avaldavad mõju nii lokaalselt, kui ka globaalselt. (IER, 2011; Kopp, 2017; Shepherd & Shepherd, 2014; UCS, 2016)

Fosiilseid kütuste eripäraks on see, et nad on tekkinud loomsetest või taimsetest jäänustest ning nad koosnevad süsivesinikest ning neid on võimalik kätte saada maapõuest. Need on tekkinud maapõues rõhu ja temperatuuri mõjul.

Fossiilsed kütused jagunevad kolme suuremasse kategooriasse:

1) tahked fossiilsed kütused
2) vedelad fossiilsed kütused
3) gaasilised fossiilsed kütused

Tahked fosiilsed kütused on näiteks kivisüsi, põlevkivi ning bituumenliiv. Tahkeid fossiilseid kütuseid kasutatakse enamasti elektrienergia tootmiseks või metallitööstuses. Nende põletamisel vabaneb õhku suurel hulgal kemikaale, mis soodustavad happevihmade tekkimist ning sellest võib tekkida keskkonna reostatus. Kaevandamise protsess on sammuti keskkonna vaenulik ning võib põhjustada taimlate hävinguid või mulla pindmise kihi riknemise. Tahked fosiilsed kütused on tekkinud karboni ajastu taimedest. Tahkete fosiilsete kaevandamiseks kasutatakse kahte põhilist metoodikat:

1) pindmine kaevandamine
2) maa-alune kaevandamine.

Pindmiseid kaevandus metoodikaid kasutatakse väga madalatel kaevandamis sügavustel ning selle efektiivsus tuleneb sellest, et maagi maardla on maakoore pindmise kihti lähedal ning seda on kergemalt võimalik kättesaada. Maa-aluse kaevandamise põhi ohufaktoriteks on maavaringute oht ning need on otseseks ohuallikaks kaevuritele ja teistele töölistele, kes parasjagu asuvad maa-aluses kaevanduses. (IER, 2011; Kopp, 2017; Shepherd & Shepherd, 2014; UCS, 2016)

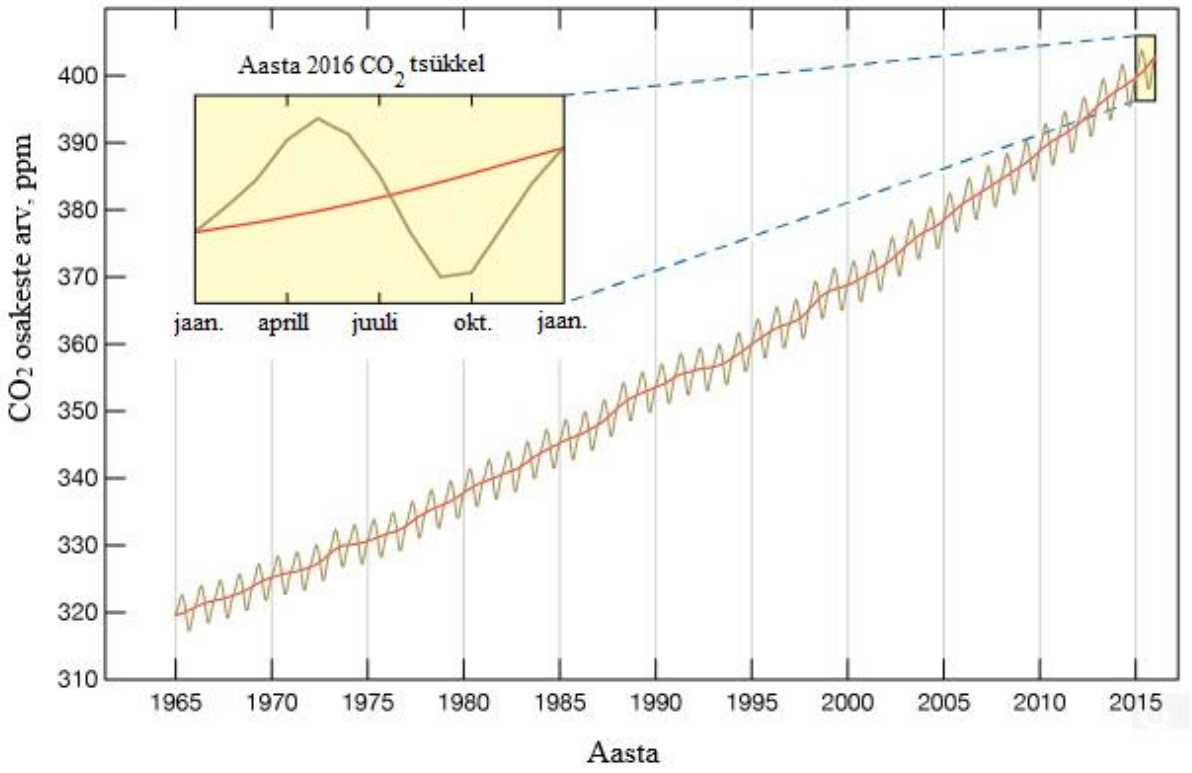
Kaevanduste loomine mõjutab ka põhjavee liikumst ning põjavee saastatust. Põlevkivi on tuntud kui must kütus kuna see sisaldab suures koguses teisi lisa aineid nagu näiteks plii ja muid raskemetalle kui ka teisi kahjulikke kemikaale. Kivisöe puhastamise protsessi käigus purustatakse maak ning sellest uhutakse välja erinevad raskmetallid ning kemikaalid. Enamasti on töötlemata kivisöe kogu toorainest ligikaudu pool kogu massist aineid, mis on mürgised jääkained nagu näiteks kadmium, arseen või elavhõbe. Kivisöe põletamisel tekib kivisöetuhka ning see vajab käitlemist. Kivisöe pesemisel tekkinud läga ning peale põlemist tekkinud tuhk kogutakse kokku hoidlatesse. Kivisüsi vajab põhjalikku jäätmete käitlemist kuna vale käitlemise puhul võib imbuda tekkinud läga põhjavette ning seeläbi võib tekkida varalist kahju, haiguseid, vigasutsi ja muud sarnast. (Kopp, 2017; Shepherd & Shepherd,

2014; UCS, 2016)

Looduses esineb ainult ühel kujul vedelaid fossiilseid kütuseid ning selleks kütuseks on toornafta. Toornaftast toodetakse väga suurel hulgal teisi erinevaid kütuseid nagu näiteks butaan, propaan, bensiin, diisel. Samuti tehakse toornaftast erinevaid määrdeõlisid, parafiine ja pigi. Toornafta on tänapäeva transpordimajanduse alustala, sest sisepõlemismootorid kasutavad enda tööl hoidmiseks enamasti bensiini ja diislit. Toornaftat leidub ka tahkes kütuses nagu bituumenliivas. Bituumenliivast on võimalik välja filtreerida naftaosakesed ning sellest on võimalik samuti toota nafta saaduseid. Naftast toodetakse lisaks kõigele muule ka pestitsiide, väetiseid, ravimeid ning plastikut. Toornafta ning sellest toodetud produktid on enamasti keskkonna kahjulikud ning kuna sellest ollakse väga suures sõltuvuses on väga raske vähendada selle tarvet. . (Kopp, 2017; Shepherd & Shepherd, 2014; UCS, 2016)

Gaasiliste fosiilsete kütuste ainuesindajaks on maagaas ning seda kasutatakse sarnaselt kivisöele sooja ning elektri tootmiseks nii tööstuses, kui ka harilikus majapidamises. Maagaasi kasutatakse ka transpordi sektroris, kuid selle kasutuse maht on palju väiksem kui vedelate kütuste maht. Maagaasi põhieksportijateks on Kanada ja Venemaa ning seda transporditakse enamasti gaasitorustikuga. Maagaasi transporditakse kõigele lisaks ka balloonides vedeldatud kujul selleks, et transportida suuremaid koguseid kohtadesse kuhu pole rajatud gaasitrassi. Gaasilised fossiilsed kütused põlevad puhtamalt kui tahked ja vedelad fossiilsed kütused. Maagaasi põhikoostiseks on metaan ning selle põlemisel eraldub vähem emissiooni kui kivisöest ja naftakütuste põlemisel. Metaani põlemisel ei paisku keskkonda happevihmasid tekkitavaid aineid ning selle põlemisel tekib väga vähesel määral tahkeid jääkaineid. . (Kopp, 2017; Shepherd & Shepherd, 2014; UCS, 2016)

Kogu maailma energiast moodustavad fosiilsed kütused väga suure osakaalu ning aastal 2015 kogu energia tarbest moodustasid naftasaadused 32,94 % , kivisüsi 29,20% ja maagaas 23,85%. Kogu fossiilsete kütuste maht oli ligikaudu 86% kogu maailma tarbitavast energiast. Kuna fossiilsed kütused on maailmas primaarsed energiatootmise ning selle kasutamisel vabaneb keskkonda emissiooni on maailma süsinikdioksiidi suurenenud. (Schiffer, 2016)



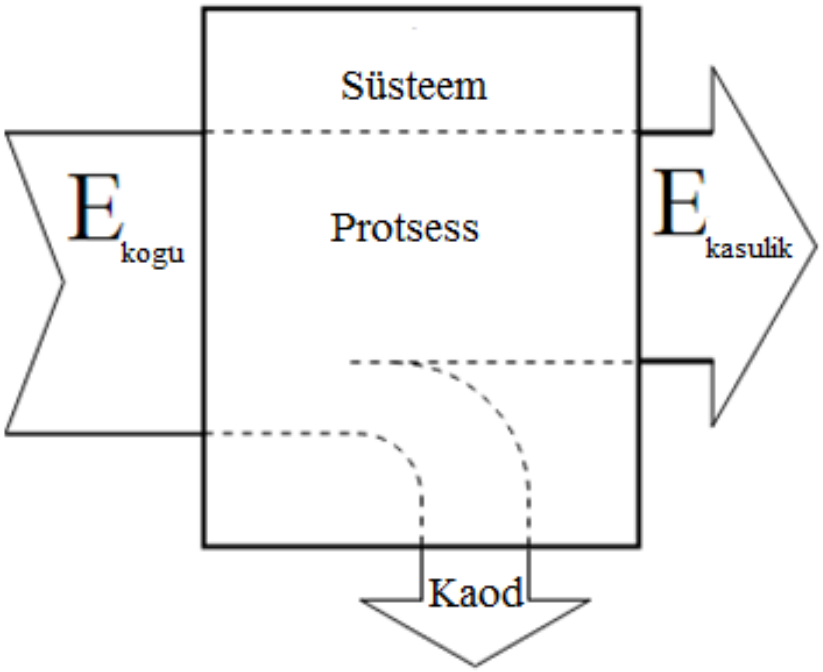
Joonis 2.15. Süsinikdioksiidi osakestearv õhus. (Kopp, 2017)

Süsinikdioksiidi mõõtmisega hakati tegelema aastatel 1950 ning sellest ajast peale on trend olnud alati tõusuteel. Süsinikdioksiid on fossiilsete kütuste põlemisprotsesside jääkaine ning see moodustab tugeva koovalentse sideme süsiniku ja hapniku vahel. Jooniselt on näha kahte joont. Punane joon näitab aasta keskmist ning pruun joon näitab hetkelist süsinikdioksiidi väärtust. Jooniselt näeb ka seda, et kevade algus kuni suve lõpp toimub süsinikdioksiidi konsentratsiooni vähenemine ning sügise algusest kuni talve lõpuni toimub selle tõusmine. Seda on võimalik seletada sellega, et kevadel hakkavad lehtpuud ohtralt tarbima süsinikdioksiidi, sest need tulevad välja talvitus faasist ning CO_2 kaasabil hakkavad taimed süsinikust tootma fruktoosi, tärklist või glükoosi. Seda protsessi nimetatakse fotosünteesiks ning selle toimimiseks on vaja päikesevalgust. (Kopp, 2017)

3. ENERGIATEHNALOOGIATE VÕRDLUS

3.1. Energia efektiivsus

Tänapäeval on energia efektiivsus üks tähtsamaid aspekte, mida jälgitakse protsesside toimimisel. Efektiivsus on sisend- ja väljundenergiate suhe ning see ei ületa 100%. Protsesside efektiivsust saab arvutada kõikides protsessides, ning selle alusel on võimalik anda tagasisidet, kas antud protsess on otstarbekas või tühine. Efektiivsus on süsteemi või olukorra võime hoiduda materjali raiskamisest, pingutusest, energiast või muust sarnasest. Energeetikas mõistetakse efektiivsuses all, kui palju läheb energiat kaduma, kui seda muundatakse ühest liigist teise. Energia muundumisel efektiivsus sõltub väljundenergia kasulikkusest. Sellise arvutamise mõtteks on vähendada energiakadusid ning see läbi suurendada protsesside tõhusust.



Joonis 3.1. Kogu energia ja kasulik energia

Joonis 3.1. on näidis süsteemit, kus E_{kogu} sümboliseerib energiat, mida on parasjagu mingisse

protsessi antud. Protsessi toimumisel esinevad kaod, mille tõttu kogu sisendenergiast jääb alles kasulik energia. Kaod esinevad kui energiat muundatakse ühelt kujult teisele näiteks keemiline energia muundamine soojaks või mõni muu sarnane protsess, kus energialiik moondub .Energia moondamise kasutegurid on toodud järgmisesse tabelisse 3.1.

Tabel 3.1. Energia moondamise kasutegurid (Falcioni, 2012; Lawson, 2005b; Lund, 2017; NSW, 2010; Sitong Boiler, 2017; Spirax Sarco Limited, 2017; Taylor, Lavagne d'Ortigue, Trudeau, & Francoeur, 2008)

Jrk. Nr.	Sisendenergia tüüp	Väljundenergia tüüp	Kasutegur, η
1.	keemiline energia (patarei NiMH)	Elektrienergia	0,66
2.	tuule kineetilineenergia	Elektrienergia	0,45(0,59)
3.	gaasi turbiin (maagaas)	Elektrienergia	0,40 (0,58)
4.	hüdroenergia	Elektrienergia	0,9
5.	tahked fossiilsed kütused	Elektrienergia	0,34
6.	vedelad fossiilsed kütused	Elektrienergia	0,37
7.	biomass	Elektrienergia	0,35
8.	fossiilsed kütused	Soojusenergia	0,8
9.	biomass	Soojusenergia	0,8

Tabelist 3.1 on näha ligikaudseid energiamuundumise kasutegureid, mida suurem on kasutegur seda rohkem saab protsessist kasulikku energiat kätte. Tabelis on näidatud erinevaid protsesse, mille kaudu toodetakse energiat. Erinevaid sisendenergia ning väljundenergia tüüpe on palju, ning näiteks on toodud seitse erinevat sisendenergiat ja kaks väljund energiat. Erinevatel protsessidel on kasutegurid varieeruvad mõnel protsessil on kasutegur palju väiksem kui tabelis toodud kasutegurid näiteks PV-paneelidel muundatakse ainult 10-20 protsenti päikesepaneelile kiiratud päikese energiast elektrienergiaks. Tabelis on näha energiamuundamis kasutegureid ning need jäävad vahemikku 0,3-09. Kõige madalamate kasuteguritega on tahketest fosiilsetest kütustest ning biomassist elektrienergia tootmine, ning nende kasutegur jääb vaid veidi üle 0,3. Nende tehnoloogiate kasutegurid on sarnased sellepärast, et tehnoloogiad on sarnased. Katlamajades, kus põletatakse tahkeid fossiilseid kütuseid on võimalik kasutada kütuse lisandina biomassi või muud sarnast nagu näiteks turvas, hakkepuit. Samal ajal saab toota fossiilsetest kütusetest ka tarbesooja ning selle alternatiivina või kütuselisandina kasutada ka biomassi. Biomassi lisandeid kasutatakse

üldiselt juhul, kui on vaja vähendada heitgaaside määrasid. Kasutatakse puhtbiomassi katlaid ning nendega saab sarnaselt tahketele fossilsetele kütustele toota sooja ning elektrit. Tabelis näidatud kõige kõrgema efektiivsusega on hüdroenergia, ning seda sellepärast, et sellel puuduvad märkimisväärsed kaod. Vedeliku puhul ei toimi samasuguseid seaduspärasusi nagu tuuleenergial ning seega on võimalik veest suurema efektiivsusega toota energiat. Hüdroenergia moondamisel elektrienergiaks moodustavad kaod ligikaudu kümme protsenti, ning need kaod tekivad vedeliku hõõrdumisest ning elektrigeneraatoris tekkinud kaod.

3.2. Energiatihedus ja küttevääртus

Kütustel on erinevad energiatihedused ning selle alusel on võimalik arvestada kui palju, kütused energiat sisaldavad. Küttevääртuse põhiühikuks on J/kg ning see väljendab energiakogust, mis eraldub ühe kilogrammi kütuse põlemisest või muud sarnast energia salvestumist nagu näiteks autoakudesse salvestunud energia hulk. Materjalid saavad eraldada energiat erimoodi ning nendeks reaktsioonideks on tuuma-, keemiline-, elektrokeemiline- ning elektrilinereaktsioon. Energiatihedust enamasti jagatakse kahte suuremasse guppi: (Davies, 2007; Lawson, 2005a; B. E. Layton, 2008; Shen, Kommalapati, & Huque, 2015)

1) mahupõhine energiatihedus ehk energiatihedus, MJ/m^3
2) kaalupõhine energiatihedus ehk küttevääртus, MJ/kg

Mahupõhise energiatihedusega saab aine ruumalalise koguse järgi määrata, kui palju selles energiat sisaldub, enamasti kasutatakse puistematerjalide, gaaside ja muu sarnase energiatiheduse määramiseks. Kaalupõhise energiatiheduse alusel saab määrata, kui palju energiat sisaldab aine võrreldes selle massiga. Paljud erinevad materjalid sisaldavad energiat nagu näiteks puid, kivisüsi, õli ja palju muud. (Davies, 2007; Lawson, 2005a; B. E. Layton, 2008; Shen, Kommalapati, & Huque, 2015)

Materjalid, mis sisaldavad energiat võib kategoriseerida kütusteks. Kütuseid võib selle alusel jagada kahte suuremasse üksusesse
:

1) primaarkütused

2) sekundaarkütused

Primaarseteks kütusteks peetakse kütuseid, mille kasutamine on võimalik selle algkujul nagu näiteks puit, kivisüsi, päikesevalgus ning muud sarnased energiaallikad, mida ei ole muundatud mingi protsessiga. Sekundaarne kütuseteks on näiteks naftast toodetud diisel, bensiin või petroleum.. Sekundaarseid kütuseid ei esine looduses puhtal kujul ning need on toodetud mingi keemlise või füüsilise protsessi tagajärjel. Igal kütusel sõltumata sellest, kas see on primaarkütus või sekundaarkütus on sellel olemas enda energiarihedus. Kütteväärtuste kohta on toodud järgnev tabel.

Tabel 3.2. Kütused ja kütteväärtused (Davies, 2007; Lawson, 2005a; B. E. Layton, 2008; Shen, Kommalapati, & Huque, 2015)

Jrk. Nr.	Kütus	Kütteväärtus
		MJ/kg
1.	diisel	45,8
2.	biodiisel	39,6
3.	metaan (maagaas)	55,8
4.	nafta	42
5.	puit	6-18
6.	kivisüsi	33
7.	vesinik (vedel)	143
8.	propaan	50,4
9.	kukersiit (põlevkivi)	8,4
10.	taimeõli	42
11.	päideroog	17,6
12.	bensiin	46,4
13.	U_{235}	77,000,000

Tabelis 3.2 on välja toodud erinevate kütuste kütteväärused, ning kui jälgida fossiilseid kütuseid on nende kütteväärtused sarnased. Biodiisel ja selle ekvivalent fossiildiisel on ligilähedase kütteväärtusega, kuid fossiildiisel ületab biodiisli kütteväärtuse 6,2 MJ/kg võrra, kuid biodiisli erikaal on natukese suurem, kui seda on fossiildiislil, kui arvesse võtta energiatihedust, siis energia hulk, mis ühe liitri biodiisli ja sama koguse fossiilsediisli põlemisel vabaneb nendest peaaegu sama kogus energiat. Toornaftast toodetakse erinevaid

kütuseid, kuigi nafta kütteväärtus on 42 MJ/kg on sellest toodetud muud kütused palju suurema kütteväärtusega. Naftast toodetud kütused on diisel, propaan, bensiin ja butaan. Tabelisse on toodud ka võrdluseks päideroog, uraan$_{235}$, vedeldatud vesinik, maagaas, põlevkivi ja puit. Puit ja päideroog on biomassi esindajad, sarnaselt sellele on ka taimeõli ja biodiisel. Biomassist energia sõltub suuresti sellest, milliseid protsesse on kütuse saamiseks läbitud näiteks bioõli tootmiseks on vaja kõrge rasvasisaldusega biomassi ning selle külm- või kuumpressimist. Sellise protsessi läbimisel on saadusteks kõrgema kütteväärtusega kütused, kui nende taimedega, mida otse kütmiseks kasutada saab. Tabelis 3.2 on kõige suurema kütteväärtusega Uraan$_{235}$ ning sellest on võimalik toota 77 TJ energiat ühe kilogrammi lagundamise. (Davies, 2007; Lawson, 2005a; B. E. Layton, 2008; Shen et al., 2015)

3.3. Biomassist energia tootmine

Bioenergiat toodetakse erinevatest taimekultuuridest nagu näiteks raps, päideroog, päevalille seemned, soja, mais, oliivid ja muud sarnased taimed, mis on võimelised tootma kõrge rasvasisaldusega taimeosasid või mis on võimelised tootma suure koguse kuivaine massi. Kõrge rasvasisaldusega taimedest toodetakse enamasti taimset õli ning teised taimekultuurid, mis ei sisalda õli neid kasutatakse biomassina, mida saab kasutada põletamisel erinevates kateldes. Selles töös otsitakse efektiivset energia suhet biomassi kasvatamisel.

Taimekultuuri kasvatades ning selle saagikuse arvutamisel tuleb arvestada sellega, et kui erinevates taimekasvatamise faasides kasutatakse energiat, et taime eest hoolt kanda väetamise või pestitiitide näol. Kui taimekultuur kasvab aasadel looduslikul viisil, siis võib arvestada selle taimekultuuri kasvatamisel sisendenergiateks järgnevaid protsesse:(Annuk, Allik, & Annuk, 2017)

1) transport
2) niitmine
3) pallimine ja transport põlluäärele
4) purustamine

Nendest protsessidest kui võtta aluseks A. Annuk, A. Allik, K. Annuk ja H.J. Mikkola, J.Ahokas ,töid on üks kõige kütuse kulukam töö etapp looduslikel aasadel pallimisele ja transpordimiseks põllu äärele ning pallimisele kulub 91,87 MJ/t ja transpordi ning paigutamise jaoks kulub 61,03 MJ/t . Katsetataval poollooduslikku päideroo kasvatuse hektari keskmine saagikus 1,2 tonni kuivatatud biomassi. Selle protsessi jaoks kuluv energiakulu on leitud järgnevalt,(Annuk et al., 2017; Mikkola & Ahokas, 2009a; Mikkola & Ahokas, 2009b)

$$E_{protsess} = E_{tke} \cdot m \tag{3.1.}$$

Kus $E_{protsess}$ on protsessile kuluv energia, MJ

E_{tke} - tonnile kuluv energia, MJ/t

m töödeldud kogus,t

Arvutuste kohselt kulub sellise protsessi toimimiseks 182,28 MJ energiat diiselkütuse näol, kui tegu oleks aasaga, mida on eelnevalt ettevalmista, siis saagikus ei oleks sama . Põldudel, kus kasvatatakse päideroogu või muud taimekultuuri energiataimena on energiakulutusi palju rohkem ning samal ajal saagikus on palju suurem. Kui päideroogu kasvatada energiataimena kultiveeritud ning väetatud põllul, siis võetakse taime kasvatamisel arvesse võtta järgnevaid protsesse. (Annuk et al., 2017; Mikkola & Ahokas, 2009a; Mikkola & Ahokas, 2009b)

1) kultiveerimine
2) tasandamine
3) maaharimine
4) väetistetootmine
5) külv
6) lubjatamine
7) herbitsiitidepritse
8) lõikamine
9) pallimine
10) transport põllu servale
11) varjestamine
12) transport katlamajja

13) biomassi purustamine enne katlasse söötmist

Eelpool nimetatud päideroo tootmise protsessidest kõige energiakulukamateks on biomassi purustamine, pallimine, väetiste tootmine, lõikamine ja transport. Kultuurtaimede kasvatamise kultiveeritud põldudel kasutab rohkem sisendenergiat, kui looduslikult kasvavad taimekultuurid, kuid nende kasuks räägib palju suurem saagikus. Saagikuse alusel saab arvutada kui palju energiat kasutuati kultuurtaime kasvatamiseks ning kui palju energiat saab protsessi läbiviies tagasi. Arvutuslikult leitud energiakulud on leitud valemiga (Annuk et al., 2017; Mikkola & Ahokas, 2009a; Mikkola & Ahokas, 2009b)

$$E = V \cdot q \tag{3.2.}$$

Kus E on hektarile kulunud energia kogus MJ/ha

V on kulunud kütusekogus ühele hektarile l/ha'

q on kütuse küttevääртus MJ/kg

Selle valemiga on leitud energia kogused, mis kuluvad põllutööde tarvis.

Tabel 3.3. Päideroo kasvatusprotsessidele sisendenergiad. (Annuk et al., 2017; Mikkola & Ahokas, 2009b)

Jrk nr.	Protsess	Kulunud diiselkütus, kg/ha	Kulunud energia, MJ/ha
1.	kündmine	20,63	944,95
2.	kultiveerimine	8,22	376,48
3.	tasandamine	3,70	169,41
4.	äestamine	4,44	203,30
5.	kombineeritud väetamine ja külv	3,04	139,30
6.	herbitsiidide pritse	1,48	67,77
7.	lõikamine	4,93	225,89
8.	korjamine kombainiga	12,41	568,48
9.	fosfor (60 kg)	12,74	764,46
10.	kaalium(120 kg)	7,97	956,81

Tabelis 3.3 on arvesse võetud väetiste tootmist samuti energiakulutusena. Tabelisse pole

lisatud transporti ning biomassi purustamist samuti pole sinna lisatud pallimist kuna neid arvutatakse põllu saagikuse pealt ehk mida rohkem tekib biomassi seda rohkem kulub energiat selle transpordiks ning purustamiseks. Tabelist 3.3. on näha erinevaid protsesse, mis toimuvad biomassi kasvatamiseks. Tabeli alusel võib öelda et kõige energiakulukam protsess hektari kohta on väetiste tootmine ja kündmine. Energia, mis kulub transpordi, purustamise ja pallimise peale on arvutatud järgnevalt (Mikkola & Ahokas, 2009b)

$$E = m \cdot E_{ma\sin} \tag{3.3.}$$

Kus E_{masin} - tonni kohta kuluv energia, MJ/t

m töödeldud kogus,t

Hektari saagikuseks on võetud H.J. Mikkola, J.Ahokas tehtud uuringut, kus hektari keskmiseks saagikuseks oli 6,33 tonni. Selle alusel saab määrata, kui palju hektarilt toodetud biomassi transportimiseks ja selle töötlemiseks energiat kulub. (Mikkola & Ahokas, 2009b)

Tabel 3.4. Protsessid mida arvutatakse kaalu järgi (Mikkola & Ahokas, 2009a)

Jrk nr.	Protsess	Kulunud diiselkütus, MJ/t	Protsesside energiakulu, MJ
1.	transport põllu äärde	61	386,1
2.	transport katlamajja	18,4	116,5
3.	biomassi purustamine	196	1240,7
4.	pallimine	91,9	581,7

Tabelis 3.4 on näidatud protsesssid, mille energia tarve suureneb sõltuvalt sellest, kui suur on selle kogus.

Kogu kulunud energia nendeks protsessideks leitakse, kui liidektakse kokku kõik toimunud protsessid. Seda leitakse järgneva valemiga:

$$\begin{aligned} E_{kogu} &= E_{künd} + E_{kult.} + E_{tasa.} + E_{äest.} + E_{väet+külv} + \\ &+ E_{herb.} + E_{lõik.} + E_{korj.} + E_P + E_K + E_{tpä} + E_{tkm} + E_{pur.} + E_{pal.} \end{aligned} \tag{3.4.}$$

Kus E_{sisend} on sisendenergia, MJ

$E_{künd}$ - künniks kulunud energia, MJ

$E_{kult.}$ - kultiveerimiseks kulunud energia, MJ

$E_{tasa.}$ - tasandamiseks kulunud energia, MJ

$E_{äest.}$ - äestamiseks kulunud energia, MJ

$E_{väet+külv}$ - väetamiseks ja külviks kulunud energia, MJ

$E_{herb.}$ - herbitsiitide pritsimiseks kulunud energia, MJ

$E_{lõik.}$ - lõikamiseks kulunud energia, MJ

$E_{korj.}$ - kombainiga korjamiseks kulunud energia, MJ

E_P - fosfori tootmiseks kulunud energia, MJ

E_K - kaaliumi tootmiseks kulunud energia, MJ

$E_{tpä}$ - biomassi transpordiks põlluäärde kulunud energia, MJ

E_{tkm} - katlamajja transportimiseks kulunud energia, MJ

$E_{pur.}$ - biomassi purustamiseks kulunud energia, MJ

$E_{pal.}$ - pallimiseks kulunud energia, MJ

Arvutuste kohaselt peaks ühe hektari päideroo kasvatamiseks kuluma 6744 MJ ning selleks, et teada saada kui palju energiat biomassi kujul tagasi saab on vaja leida kui palju energiat saab toota kuivatatud biomassist. Väljundenergiat leitakse valemiga, (Mikkola & Ahokas, 2009a)

$$E_{väljund} = m_{päideroog} \cdot q_{päideroog} \quad (3.5.)$$

kus $E_{väljund}$ on ühe hektari pealt saadud energiakogus, MJ

$m_{päideroog}$ - päideroo kogus ühelt hektarilt, kg

$q_{päideroog}$ - päideroo küttevääртus MJ/kg

Päideroo kasvatamisel sellistes tingimustes oli väljundenergiaks 111,4 GJ ning selle alusel on võimalik arvutada efektiivset energia suhet ehk kui palju enerigat saab tagasi protsessi ühe sisestatud MJ energia pealt. Efektiivset energia suhet saab leida järgneva valemiga:

$$EER = \frac{E_{väljund}}{E_{sisend}} \quad (3.6.)$$

kus EER on efektiivne energia suhe

$$EER = \frac{111408}{6744} = 16{,}52$$

Efektiivse energia suhte alusel saab öelda, et päideroo kasvatamine on energeetiliselt tasuv kuna see suhe ületab sisendenergiat 16,52 kordselt.

3.4. Kivisöest energia tootmine

Kivisöe kaevandamiseks kasutatakse enemasti tehnikat, mis töötab diisliga või elektriga. Selles töös on toodud biokütustele võrdluseks pindmise kivisöe kaevanduse tööprotsesside tarbeks kuluvat energiat ning selle efektiivse energia suhet.(BCS-Incorporated, 2007; Bogunovic, Kecojevic, Lund, Heger, & Mongeon, 2009; Sahoo, Bandyopadhyay, & Banerjee)

Kivisöe kaevandamiseks läbitakse järgnevad tööprotsessid:

1) puurimine
2) õhkamine
3) kaevandamine
4) ventileerimine
5) transport
6) peenestamine
7) sorteerimine

Energiasisendite ja väljundite näiteks on toodud India ja Ameerika pindmised kaevandused. Erinevates kaevandustes on sisendenergiad ühe tonni kivisöe tootmiseks varieeruvad kuigi nad jäävad sarnasesse suurusjärku. Energia kulutustest pindmisest kaevanduses on toodud järgnevasse tabelisse. (BCS-Incorporated, 2007; Bogunovic, Kecojevic, Lund, Heger, & Mongeon, 2009; Sahoo, Bandyopadhyay, & Banerjee)

Tabel 3.5. Pindmise kivisöekaevanduse energiakulud (BCS-Incorporated, 2007)

Jrk. nr	Protsess	Energiakulu	Energiakulu
		Btu/s.ton	MJ/t
1.	puurimine	8800	10,23
2.	õhkamine	5100	5,93
3.	kaevandamine	10500	12,21
4.	ventileerimine	23400	27,21
5.	diiselseadmed	43300	50,35
6.	elektriseadmed	10900	12,67
7.	peenestamine	50400	58,61
8.	sortimine	2200	2,5586

Tabelist on näha, et kõige enam kulub kaevandustes energiat just kivisöe peenestamiseks ning diiselseadmetele. Diiselseadmete all peetakse silmas transportimis masinaid, mis veavad toodetud kivissütt ladustamisele. Kogu sisendenergia on leitud järgnevalt:

$$E_{sisend} = E_{pu} + E_{õh} + E_{ka} + E_{vent} + E_{ds} + E_{es} + E_{pe} + E_{so} \tag{3.7}$$

Kus E_{pu} on puurimiseks kuluv energia

$E_{õh}$ - õhkamiseks kuluv energia

E_{ka} - kaevandamiseks kuluv energia

E_{vent} - ventileerimiseks kuluv energia

E_{ds} - diiselseadmetele kuluv energia

E_{es} - elektriseadmetele kuluv energia

E_{pe} - peenestamiseks kuluv energia

E_{so} - sorteerimisele kuluv energia

Kogu sisendenergia, mis kulub ühe tonni kivisöe tootmiseks on 179,8 MJ . Ühe tonni kivisöe kütteväärtus on järgnev:

$$E_{kivisüsi} = q_{kivisüsi} \cdot m_{kivisüsi} \tag{3.8}$$

Kus $E_{kivisüsi}$ on kaevandatud kivisöe energiasisaldus MJ

$q_{kivisüsi}$ - kivisöe kütteväärtus, MJ/kg

$m_{kivisüsi}$ - kivisöe mass, kg

Kogu väljundeenergia, mis saab ühe tonni kivisöe rakendamisel on 33000 MJ ning vastavavalt selle on võimalik arvutada efektiivne energia suhe valemiga 3.6. Arvutuslikult leitud efektiivne energia suhe kivisöel on 183,53.

KOKKUVÕTE

Maailmas suureneb energiatarve üha enam ning sellest tingituna suureneb ka energiatootmine. Kuna inimkond on edasi arenenud on suurenenud seetõttu ka seadmete hulk, mis tarbivad energiat. Sellest tingituna on vaja arendada olemasolevaid tehnoloogiaid või asendada tehnoloogiatega, mis oleks jätkusuutlikud. Tänapäeval ollakse silmitsi probleemidega nagu globaalne soojenemine ning see on tingitud suures koguses fossiilsete kütuste kasutamisest elektrienergia, transpordi, kui ka soojatarbevee tootmiseks.

Energiatehnoloogiaid, mida tänapäeval rakendatakse on suurel hulgal ning osad on kasutusel juba rohkem aastatuhandeid, nagu näiteks hüdroenergia või tuuleenergia. Algselt kasutati tuuleenergia ja hüdroenergia mehaanilisi omadusi, et liikuma panna veskid või muu sarnane tehnika. Tänapäeval on tehnoloogia edasi arenenud ning sellest tingituna toodetakse nüüd iidsetel meetoditel põhinevatest tehnoloogiatest elektrienergiat. Erinevateks energiatehnoloogiateks kasutatakse fossiilseid kütuseid kui ka hüdro, bio, tuuma, päikese, tuule, ning geotermaal eneergiat. Taastuvatest kütustest on väga suure potentsiaaliga bioenergia ning seda saab kasutada kütuselisandina, et vähendada emissioone fossiilsete kütuste põletamisel.

Selle töö viimases osas võrreldakse kahte sarnast tehnoloogiat omavahel ning nendeks tehnoloogiateks on biomassist energia tootmine ning fossiilsete kütuste esindaja kivisöest energia tootmine. Mõlemal tehnoloogial on vaja toorme valmistamiseks energiat ning sellest lähtuvalt lähenetakse probleemile aspektist, kui palju on võimalik toota sama sisendenergiaga väljundenergiat. Mida suurem on sisendenergia ja väljundenergia suhe seda rohkem saadakse protsessidest energiat tagasi.

Tehtud uuringus selgus, et biomassi tootmise efektiivne energia suhe on 16,52 ning see tähendab, et ühe MJ sisendenergia kohta saadakse tagasi 16,52 MJ energiat biomassi näol tagasi. Fossiilsete kütuste esindaja kivisöe tootmise efektiivne energia suhe oli 183,53 ning selle alusel võib öelda, et fosiilsed kütused on väga kuluefektiivsed ning nende kasutamisel saab palju suuremal hulgal energiat tagasi, kui seda biomassi rakendamisel. Biomassi

energiat saab sellegi poolest kasutada energiamajanduses näiteks kohtades, kus ei ole ligipääsu fossiilsetele kütustele.

SUMMARY

The energy consumption is rapidly increasing and for that matter must increase the production of energy. Humanity has made developments and through these developements the energy consumption has increased. For that reason people need to prosper towards cleaner and efficient ways of energy production. Nowadays people are facing different problems like pollution and global warming and it is diverted form usage of fossil fuels for transport etc.

There are many different energy technologies that are in use and some of them have been around for millenium, like hydro or wind power. These technologies were used to power windmills or sawmills. Nowadays these same old technologies are in use to make electrical energy. Different energy technologies are bio, hydro, nuclear, solar, wind, and geothermal energies. One of the most potent renewable energy is bioenergy and it could be used as additve fuel for fossil fuels to lowe the emmissions.

In this research two of the energy technologies that are similar to each other are compared. These technologies are energy production from biomass and energy production form fossil fuel representative coal. Both technologies need input energy to produce fuel and for that matter the effiecient energy ratio could be calculated. The higher the effiecient energy ratio the better the process enery yields.

In this research the outcomes were that biomass efficient energy ratio was 16,52 and this means that for one input MJ of energy 16,52 MJ of enery could be produced from biomass. For the coal the efficient energy ratio was 183,53 and it could be said that energy production for fossil fuels are more cost-efficient. Biomass energy could be considered to use in places where accsess to the coal is unavailable.

KIRJANDUS

Aggeliki, K. (2011). Vertical windmills - A survey of types and designs. Kättesaadav: http://img.bhs4.com/FF/3/FF32ED914E85F63B3945A5AA66BCC189C18AD0F1_large.jpg (4.05.17)

Altement, M. (2014). Horisontaalne tuulik. Kättesaadav: http://www.tuuleenergia.ee/wp-content/uploads/Virtsu-3.jpg (4.05.17)

Annuk, A., Allik, A., & Annuk, K. (2017). Reed canary grass cultivation's energy efficiency and fuel quality., 1-12. (4.05.17)

Atkins, W. A. (2017). Hydroelectric power. Kättesaadav: http://www.waterencyclopedia.com/Ge-Hy/Hydroelectric-Power.html (4.05.17)

Ayuso, M., & Kjaer, C. (2016). World energy resources - wind. Kättesaadav: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf (4.05.17)

BCS-Incorporated. (2007). Mining industry energy bandwidth study., 1-47. (4.05.17)

Biopower basics. (2013). Kättesaadav: https://energy.gov/eere/energybasics/articles/biopower-basics (4.05.17)

Bogunovic, D., Kecojevic, V., Lund, V., Heger, M., & Mongeon, P. (2009). Analysis of energy consumptionin surface coal mining.*326*(79-87) (4.05.17)

Bonsor, K. (2001). How hydropower plants work. Kättesaadav: http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/hydropower-plant1.htm (4.05.17)

Brain, M., & Lamb, R. (2000). How nuclear power works. Kättesaadav: http://science.howstuffworks.com/nuclear-power2.htm (4.05.17)

Chauhan, V., & Ragnarsson, Á. (2015). Thermodynamic and thermoeconomic analysis of combined geothermal space heating and thermal storage using phase change materials.*3*(1) (4.05.17)

Davies, M. S. (2007). With choices like biodiesel and ethanol, what's the best fuel for your vehicle? Kättesaadav: http://greenecon.net/with-choices-like-biodiesel-and-ethanol-what%E2%80%99s-the-best-fuel-for-your-vehicle/energy_economics.html (4.05.17)

Ekins-Daukes, N. J. (2009). Solar energy for heat and electricity: The potential for mitigating climate change. Kättesaadav: https://workspace.imperial.ac.uk/climatechange/public/pdfs/GranthamJune.pdf (4.05.17)

Falcioni, J. (2012). Efficiency by the numbers. Kättesaadav: https://memagazineblog.org/2012/07/01/efficiency-by-the-numbers/ (4.05.17)

Geothermal heat pump. (2013). Kättesaadav: https://energy.gov/eere/energybasics/articles/geothermal-heat-pump-basics (4.05.17)

Girling, B., & Lane, T. (2016). World energy resources - hydropower. Kättesaadav: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf (4.05.17)

Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 4*(2), 145-153. doi:https://doi.org/10.1016/S1389-5567(03)00026-1 (4.05.17)

Handwerk, B. (2006). China's three gorges dam, by the numbers. Kättesaadav: http://news.nationalgeographic.com/news/2006/06/060609-gorges-dam_2.html (4.05.17)

IER. (2011). *Energy inventory* (pp. 1-22). Washington D.C: IER. (4.05.17)

International energy agency. (2017). Kättesaadav: https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/ (4.05.17)

Jõeleht, A. (2007). Soojuspuuraukude mõju keskkonnale. Kättesaadav: https://energiatalgud.ee/img_auth.php/0/0f/J%C3%B5eleht%2C_A._Soojuspuuraukude_m%C3%B5ju_keskkonnale_aruanne.pdf (4.05.17)

Khan, E. W. (2014). PV: Types of solar panel and which one is the best PV panel. Kättesaadav: http://www.electricaltechnology.org/2014/10/pv-types-of-solar-panel-best-pv-panel.html (4.05.17)

Khetarpal, D. (2016). World energy resources - solar. Kättesaadav: https://www.worldenergy.org/publications/2016/world-energy-resources-2016/ (4.05.17)

Kopp, O. C. (2017). Fossil fuel. Kättesaadav: https://www.britannica.com/science/fossil-fuel (4.05.17)

Lawson, B. (2005a). Electricity generation from biofuels. Kättesaadav: http://www.mpoweruk.com/biofuels.htm (4.05.17)

Lawson, B. (2005b). Hydroelectric power. Kättesaadav: http://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (4.05.17)

Layton, B. E. (2008). A comparison of energy densities of prevalent energy sources in units of joules per cubic meter., 438–455. (4.05.17)

Layton, J. (August 2006). How wind power works. Kättesaadav: http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power.htm (4.05.17)

Locke, S. (2008). How does solar power work? Kättesaadav: Susannah Locke (4.05.17)

Lund, M. W. (2017).
NiMH battery charging basics. Kättesaadav: http://www.powerstream.com/NiMH.htm (4.05.17)

Mikkola, H. J., & Ahokas, J. (2009a). Energy costs and GHG emissions of reed canary grass cultivation., 1-4. (4.05.17)

Mikkola, H. J., & Ahokas, J. (2009b). Energy ratios in finnish agricultural production.*18*, 332-346. (4.05.17)

Montague, T. (2016). World energy resources - geothermal energy. Kättesaadav: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf (4.05.17)

Neale, D. (2007). Bioenergy research center. Kättesaadav: http://bioenergy.ucdavis.edu/outreach.php (4.05.17)

NSW. (2010). The wind energy fact sheet. Kättesaadav: http://www.environment.nsw.gov.au/resources/households/WindEnergyfactsheet.pdf (4.05.17)

Rossenfeld, C. (2015). Nuclear fission: Basics. Kättesaadav: http://www.atomicarchive.com/Fission/Fission1.shtml (4.05.17)

Rusu, L., & Onea, F. (2017). The performance of some state-of-the-art wave energy converters in locations with the worldwide highest wave power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75*, 1348-1362. (4.05.17)

Sahoo, L. K., Bandyopadhyay, S., & Banerjee, R.Benchmarking energy efficiency of opencast mining in india.(362), 1684-92. (4.05.17)

Schiffer, H. W. (2016). World energy resources- summary. Kättesaadav: https://www.worldenergy.org/publications/2016/world-energy-resources-2016/ (4.05.17)

Sendy, A. (2016). Pros and cons of monocrystalline vs. polycrystalline solar panels. Kättesaadav: http://www.solarreviews.com/solar-energy/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/ (4.05.17)

Shen, X., Kommalapati, R. R., & Huque, Z. (2015). The comparative life cycle assessment of power generation from lignocellulosic biomass., 12974-12987. (4.05.17)

Shepherd, D., & Shepherd, D. W. (2014). Goal. *Energy studies* (3rd ed., pp. 99-133). London: Imperial College Press. (4.05.17)

Sitong Boiler. (2017). Straw fired steam boiler. Kättesaadav: http://www.chinaboiler.cc/products/biomass-fired-boiler/straw-fired-steam-boiler.html (4.05.17)

Smilden, E., Horn, J. H., Sørensen, A. J., & Amdahl, J. (2016). *Reduced order model for control applications in offshore wind Turbines**This work has been carried out at the centre for autonomous marine operations and systems at the norwegian university of science and technology (NTNU AMOS). the norwegian research council is acknowledged as the main sponsor of NTNU AMOS. this work was supported by the research council of norway through the centres of excellence funding scheme, project number 223254 - NTNU AMOS.* (4.05.17)

Spirax Sarco Limited. (2017). Boiler efficiency and combustion. Kättesaadav: http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/the-boiler-house/boiler-efficiency-and-combustion.aspx (4.05.17)

Statistikaamet. (2014). Päikesepaiste 2014. Kättesaadav: http://www.stat.ee/public/kaardid/teemakaardid/Paikesepaiste_2014.png (4.05.17)

Taylor, P., Lavagne d'Ortigue, O., Trudeau, N. & Francoeur, M. (2008). Energy efficiency indicators for public electricity production from fossil fuels. Kättesaadav: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/En_Efficiency_Indicators.pdf (4.05.17)

Toothman, J., & Aldous, S. (2000). How solar cell work. Kättesaadav: http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/solar-cell.htm (4.05.17)

Trimarchi, M. (2009). How solar thermal power works. Kättesaadav: http://science.howstuffworks.com/environmental/green-tech/energy-production/solar-thermal-power1.htm (4.05.17)

UCS. (2016). The hidden costs of fossil fuels. Kättesaadav: http://www.ucsusa.org/clean-energy/coal-and-other-fossil-fuels/hidden-cost-of-fossils#bf-toc-1 (4.05.17)

Ulmer-Scholle, D. S. (2016). Uranium — Where is it found? Kättesaadav: https://geoinfo.nmt.edu/resources/uranium/home.html (4.05.17)

Velling, S., & Vaasma, T. (2012). Energiaallikas päikeseenergia. Kättesaadav: https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/28239/pikeseenergia_maailmas_ja_eestis.html (4.05.17)

Wheldon, A. (2011). Grid-connected solar systems. Kättesaadav: http://www.ashden.org/files/factsheets/ashden_grid_pv.pdf (4.05.17)

WNA. (2016). How a nuclear reactor makes electricity. Kättesaadav: http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/how-does-a-nuclear-reactor-make-electricity.aspx (4.05.17)

LISAD

Lisa A. Lihtlitsents

Mina, Sergei Malinovski,

sünniaeg 06.03.91,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Energiatehnoloogiate efektiivsuse võrdlus

mille juhendaja(d) on Andres Annuk,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäe*