

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Infotehnoloogia teaduskond

Sander Kommel 213455IACB

**MATIK ARVUTI JAOKS
TAASTUVENERGIA ALLIKATE UURIMINE
JA RAKENDAMINE**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Edmund Laugasson

MSc

Tallinn 2024

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Sander Kommel

16.02.2024

Annotatsioon

Töö eesmärgiks on leida taastuenergiaga põhinev energiaallika lahendus MATIK arvuti kohvri akupanga laadimiseks. Energiaallikas peab sobima kokku kohver arvutiga vastavalt: energiaallikas peab olema piisavalt kompaktne, et seda saab transportida koos kohver arvutiga, energiaallikas peaks olema samas hinnaklassis, milles on arvuti kohvri muud komponendid ja energiaallika töö ei tohiks olla liiga häiriv, et see hakkaks segama õpilaste õppetööd. Nende nõuete põhjal teostati taastuenergia allikatest uuring. Peamisteks energiaallikateks osutusid tuule- ja päikeseenergia. Mõlemad variandid pakkusid realiseeritavaid lahendeid, mis võimaldasid sobivat laadimise kiirust akupanga täis laadimiseks mõistliku aja jooksul. Võrreldes mõlemaid energiaallikaid jõuti järeldusele, et päikeseenergia põhjal energiaallika kasutamine on tõhusam, tulenevalt paremast energiaallika sobituvusest, vahendite valikust ja abistava informatsiooni küllusest. Lõpptulemuseks leiti, et realiseeritava lahendusena saab rakendada valmistehtud laadijat, mis sobib individuaalse arvuti kohvri akupanga laadimiseks, ja laadimispunkti, mis on suuteline laadima mitut arvuti kohvri akupanka korraga.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 18 leheküljel, 4 peatükki, 0 joonist, 3 tabelit.

Abstract

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR THE MATIK COMPUTER PROJECT

The goal of this thesis is to find a renewable energy source as a solution for charging the power bank of the MATIK computer. The MATIK computer is a project to create a suitable computer to be used for education based on the study fields of MATIK or STEAM, in English. In the future it will be implemented as a computer class in Estonia and Ghana, in order to study its usage with students. The device is aimed at helping developing countries and as such it should be able to handle situations where electricity for charging the device isn't readily available. Based on this information the energy source must also suit the requirements of the MATIK computer: the energy source must be compact and small enough so that it can be transported alongside the computer, the energy source should be roughly in the same price range as the components of the MATIK computer, and the operation of the energy source should not be too disruptive so that it would interfere with the students' studies. Based on these requirements, research was performed for all available renewable energy sources. As a result of this research, wind and solar energy turned out to be the two primary renewable energy sources that could be utilized for the goal of thesis. Both sources offered implementable solutions that allowed an adequate charging speed to fully charge the power bank in a reasonable amount of time. Comparing both energy sources, it was concluded that the use of an energy source based on solar energy is more efficient than wind, due to the better compatibility of the energy source with the countries chosen for using the MATIK computer, the variety of charging devices and the abundance of helpful information. As the final result, it was concluded that suitable solutions were a ready-made charger, suitable for charging the power banks of individual computers, and a charging station, capable of charging multiple power banks of multiple computers.

The thesis is in Estonian and contains 18 pages of text, 4 chapters, 0 figures, 3 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

MATIK	Matemaatika, informaatika, loodusained, inseneeria ja humanitaarained/kunstid ehk eestikeelne vaste ingliskeelsele lühendile STEAM.
Mikro hüdroenergia	Hüdroenergia lahendus, mis toodab 5 kW to 100 kW vahemikus energiat.
Piko hüdroenergia	Hüdroenergia lahendus, mis toodab alla 5 kW energiat.
<i>cyberdeck</i>	Kasutaja otstarbel kohandatud arvuti. Nimi tuleneb ulme teosest „Neuromancer“, kus on samanimeline vahend.
USB	Universal Serial Bus
<i>low-head hydro power</i>	Alla 20 meetrise kõrguste erinevust kasutav hüdroenergia lahendus
Inverter	Vaheldi. Muundab alalisvoolu vahelduvvooluks
<i>kilopower</i>	Tuuma reaktor, mis on mõeldud kosmosereisidel energia tootmiseks.

Sisukord

Autorideklaratsioon	2
Annotatsioon.....	3
Abstract RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR THE MATIK COMPUTER PROJECT	4
Lühendite ja mõistete sõnastik	5
Sisukord.....	6
Tabelite loetelu	8
1 Sissejuhatus	9
2 Lähtetingimused ja esialgne uuring.....	10
2.1 Akupanga andmed	10
2.2 Aku kestvus	10
2.3 Laadimispunkt	12
2.4 Kohvri hinnaklass	13
3 Taastuvenergia allikad.....	14
3.1 Tuuleenergia	14
3.2 Päikeseenergia	16
3.3 Päikese ja tuule vahel valimine	17
3.4 Muud energia lahendused.....	19
3.4.1 Hüdroenergia	19
3.4.2 Geotermaal	20
3.4.3 Füüsiliselt	21
3.4.4 Tuumapatarei.....	21
3.4.5 Mikro-tuumajaam	22
4 Rakendamine kasutusse.....	23
4.1 Valmistehtud lahendused.....	23
4.2 Isetehtav lahendus.....	24
4.3 Laadimispunkt	24
4.4 Hinna ülevaade	25
5 Analüüs.....	27
Kokkuvõte	31
Kasutatud kirjandus	33

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks 40

Tabelite loetelu

Tabel 1 Valmistatud lahenduse hinnakiri	25
Tabel 2 Isetehtava lahenduse hinnakiri	25
Tabel 3 Laadimispunkti hinnakiri.....	25

1 Sissejuhatus

Töö seisneb MATIK õppeainete suunal õppetöö teostamiseks mõeldud arvutikohvrile sobiva taastuenergia lahendi leidmisel.

MATIK arvuti kohver on disainitud töötama raskendatud tingimustes, mis peaksid kehtima nii Eestis kui ka Ghanas. Seda arvestades võib tekkida olukordi, kus kaob juurdepääs lihtsasti kättesaadavale elektrienergiale. Seega on vajalik, et oleks võimalus kohapeal toota elektrienergiat piisaval määral, et võimaldada edasist õppetööd MATIK arvuti kohvriga.

Käesolev töö uurib erinevaid lahendusi taastuenergiaga arvuti kohvri akupanga laadimiseks, ning proovib leida mõne sobiva lahenduse, mida võiks ka reaaleluliselt rakendada. Lahendus peaks olema sobilik arvutikohvriga: Piisavalt kompaktne, et seda saaks kohvriga koos transportida, piisavalt odav, et see ei ületaks arvutikohvri hinnaklassi ja piisavalt mugav, et see ei hakkaks sekkuma õpilaste õppetöösse.

Lahenduse leidmine käib kaasa MATIK arvuti kohvri projektiga, mis käsitleb arvutikohvri lahenduse realiseerimist [1]. Seega põhinevad antud lõputöö riistvara valikud MATIK arvuti kohvri projekti põhjal.

2 Lähtetingimused ja esialgne uuring

Selles osas on ülevaade lähtetingimustest ning nendel põhinevatest esialgsetest lahendustest.

2.1 Akupanga andmed

Selle lõputöö raames uuritakse lahendust konkreetsele akupangale, Baseus Bipow 30000mAh 20W. Akupanga väljunditeks kasutatakse USB-1, USB-2 ja USB-C pistikuid. Akupanga sisenditeks on USB-C ja mikro USB. Väljundi nominaalvõimsused on 5V ja 3A, 9V ja 2,22A ning 12V ja 1,5A. Sisendite nominaalvõimsused on 5V ja 3A ja 9V ja 2A. See tähendab, et sisendil ulatub maksimaalne võimsus 18W-ni ja väljundil kuni 20W-ni. Akupanga mahtuvuseks on 30000mAh [2].

Kuna akupank on MATIK arvuti projekti osa, siis ei ole võimalik seda välja vahetada. Seega toimub energiaallikate arvestamine selle akupanga järgi, isegi kui on võimalust parema alternatiivi kasutamiseks.

2.2 Aku kestvus

Uurimustöö järgi on ühe õppepäeva pikkus 8-10 tundi [1]. Teades seda, võib püstitada kaks varianti aku laadimiseks. Aku laadimine, mis toimub õppetöö kõrvalt, peab toimuma väljaspool seda 8-10 tunnist vahemikku. Laadimine, mis on õppetööga samal aja, võib toimuda õppetöö jooksul ja väljaspool seda. Need nõuded on püstitatud edasise lahenduskäigu lihtsustamiseks. Et leida ajavahemik õppetöö kõrvalt laadimiseks, peab tegema mitu eeldust õppetöö ja üldiste tegevuste kohta. Nendeks eeldusteks on õppetöö jaotusel üle päeva ning eeldusel päeva tegevuste algamise ja lõppemise kohta. Esialgsed eeldused on õppepäeva algus kell 8:00, õppepäeva kestuseks on 8-10 tundi ja üldiste päevaste tegevuste lõppemine on 22:00. Selle põhjal peaks õppetegevus lõppema kell 16:00-18:00 õhtul, mis jätab 4-6 tundi arvuti aku laadimiseks. Kui on teada aku laadimiseks võimalik aeg, siis võib seda ajavahemikku päeva jooksul ümber tõsta või laiali jaotada, vastavalt energiaallika vajadustele. Seega edaspidi arvestades on õppetöö kõrvalt laadimiseks aega 4-6 tundi.

Varasemas uurimustöös jäi eelduseks, et arvuti võimsuse tarbimine on, sõltuvalt arvuti välisseadmete kasutusest, kas 10,6W või 16,6W. 10,6W on võimsuse tarve tavapärase kasutuse korral, kus puuteekraani kasutatakse keskmiselt ja klaviatuuri minimaalselt. 16,6W on võimsuse tarve olukorras, kus ekraan ja klaviatuur tarbivad maksimaalselt võimsust. See tähendab, et puutetundlikku ekraani ja klaviatuuri kasutatakse järjepidevalt. Lihtsuse mõttes teeb edasipidi eelduse, et kohverarvuti kasutamine on tavapärane ja tarbimine on maksimaalselt 10,6W. Akupanga kestuse leidmiseks saab kasutada valemit (1), kus C on akupanga mahtuvus ampertundides(Ah) ja I on akupanga külge ühendatud tarbija voolutugevus (A).

$$h = \frac{C}{I} \quad (1)$$

$$P = I \cdot U \quad (2)$$

Teadad on akupanga mahtuvus C on 30000mAh, ehk 30Ah, ja tarbija võimsus P , mis on 10,6W. Voolutugevuse saamiseks kasutame valemit (2), kus asendame U tarbija pingega 5V. Saame, et tarbija poolt tarbitav vool I on 2,12A. Asendades saadud andmed valmis (1), saame akupanga maksimaalseks kestuse:

$$\frac{30}{2,12} \approx 14,15 \text{ tundi}$$

Lihtsuse mõttes tulemus ümardatakse alla, mis teeb akupanga maksimaalseks kestuseks 14 tundi.

Teades, et õppetöö kõrvalt on laadimiseks 4 - 6 tundi aega, saab selle asendada valemisse (1) ja avaldada I , et leida minimaalne vajalik voolutugevus akupanga täis laadimiseks selle aja jooksul.

$$I_{max} = \frac{30}{4} = 7,5A$$

$$I_{min} = \frac{30}{6} = 5A$$

Korrutades saadud tulemused läbi tarbija pingega 5V, saab vajalikuks võimsuseks 25W ja 37,5W. See tähendab, et 4-6 tunni jooksul aku tühjast täis laadimiseks peaks minimaalselt laadimise võimsus langema 25-37,5W vahemikku. Kuna maksimaalne sisendvõimsus akupangal on 18W, siis antud aja jooksul ühe aku täis laadimine pole võimalik.

Võib veel arvestada olukorda, kus akupank on osaliselt tühi. Eeldades, et õppetöö kestab 10 tundi ja teades, et akupank kestab maksimaalselt 14 tundi, siis on alust arvata, et pärast päev läbi kohverarvuti kasutamist jääb veel akupanka 4 tunni võrra voolu. Seega on vajalik ainult laadida 10 tunni väärtuses voolu akupangale. See oleks siis 21,2A, arvestades varem leitud 2,12 tarbja voolu. Kui nüüd asendada valemis (1) C 21,2A, ja siis valemi (2) abil avaldada otsitav võimsus saab leida 4-6 tunni jooksul osaliselt tühja akupanga täislaadimiseks vajaliku võimsuse.

$$P_{max} = \frac{21,2}{4} \cdot 5 = 26,5W$$

$$P_{min} = \frac{21,2}{6} \cdot 5 \approx 17,7W$$

On näha, et maksimaalne laadimise võimsus on ikka veel akupanga sisendvõimsusest kõrgem. Aga on ka märgata, et minimaalne laadimisvõimsus sobib kokku akupanga sisendvõimsusega. Seega oleks alust arvata, et kui akupangas on vähemalt veel 4 tunni võrra laengut ja laadimiseks on 6 tundi aega, siis saab veel äärmisel juhul akupanga täis laadida. Praktikas see on siiski vähe tõenäoline, kuna vajalik võimsus on akupanga sisendvõimsuse piiri peal, mis tähendab, et laadimine peaks toimuma peaaegult ideaalselt. Seega kui peaks olema ka väiksem laadimisvõimsuse langus, siis pole akupanga täis laadimine 6 tunni jooksul võimalik.

Tunduvalt lihtsam ja vabam laadimine on õppetööga samal ajal akupanga laadimine. Kui kasutada energiaallikat, mis laeb kohverarvuti akut õppetööga samal ajal, siis piisab sellest, et laadimisvõimsus jääb 11 – 18W vahemikku. 11W on lihtsuse mõttes üles ümardatud 10,6W. Sellega jääb laadimise ajavahemikuks 8,3 - 13,6, mis kestab kogu õppepäeva.

2.3 Laadimispunkt

Leidub ka kolmas variant, mis on edasiarendus õppetöö kõrvalt laadimisele. See oleks laadimispunkti kasutamine. See nõuab rohkem kui ühe akupanga kasutust, kuid võimaldab laadimist õppetööd häirimata. Iseenesest on selline variant osaliselt püstitatud ootuste vastane, kuna laadimispunktis on vähemalt vaja generaatorit ning kontrollereid, et kontrollida ja juhtida akude laadimist [3]. Peale selle peaks veel kasutuses olema vaheaku,

et säilitada liigset energiat ja inverter, millega muuta saadud alalispinge vahelduvaks [4]. See lisab laadimispunktile juurde mahtu ja hinda, mis teeb variandi lahenduse mõttes veel vähem sobivaks. Kompromissina otsustati, et ainsa akuna kasutatakse ainult kohver arvuti akupanka. See tähendab, et väljaspool akupanga laadimist muud energiasalvestust ei toimu. Inverter jäetakse ära, kuna on võimalik akupanka otse laadida alalispingega. Muude vahendite jaoks generaatorit ei kasutata ja seega muundamine pole vajalik. Lõpptulemusena peaks olema energiaallika generaator, kontrolleri ning vajalik USB ühendus akupanga laadimiseks. Sedasi hoitakse laadimispunkti suuruse ja hinna pealt kokku.

Sõltuvalt kasutatavast energiaallika generaatorist on võimalik toota rohkem energiat, mida saab kasutada mitme akupanga korraga laadimiseks. Selle põhjal saab laadimispunkti tõhusust tõsta ning kasutada laadimispunkti energiaallikana mitme arvuti kohvri jaoks korraga. Laadimine saab toimuda terve päeva jooksul, mis annaks kuni 16 tundi aku täis laadimiseks. Kauem sellest ei tohiks olla, vastasel juhul ei saa arvuti akusid piisavalt tihti vahetada.

2.4 Kohvri hinnaklass

Võttes aluseks MATIK uurimustöö, mis valmis eelmisel semestril, saab ligikaudu arvestada kohvi hinnaklassi [1]. Kohvri koguhinnaks eeldati 246,96€. Kui jagada see läbi komponentide arvuga, siis peaks keskmiselt üks komponent maksma 41,16€. Kui vaadata arvutikohvri kõige kallimat komponenti, milleks on Raspberry Pi 4, siis selle hind on 68,38€. Selle kahe hinna põhjal võib arvestada, et otsitav lahendus peaks langema selle kahe hinna vahelisse piirkonda. Kallima hinnaga lahendused selle töö jaoks ei sobi.

3 Taastuenergia allikad

Teades allika tingimusi toimus energiaallikate uuring. Uuringu otsingu sooritamiseks kasutati otsingumootoreid *Google*, *DuckDuckGo* ja *Searx*. Uuringu läbitegemisel prooviti leida võimalikud taastuenergia allikad, allikate ligipääsetavused ning allikate võimalikud lahendused, mis sobiksid kokku ülesandepüstituse ja laadimisele sätestatud tingimustega. Uuringu tulemusena pidi leidma taastuenergia allikad, mille efektiivne kasutus oli võimaldatud nii Eestis kui ka Ghanas. Et uuringut lihtsamaks teha, siis vaadati ka võimalikke lahendusi *cyberdeck* kohvrite aku laadimisele. MATIK arvutikohvri disain põhineb *cyberdeck* hobi vahenditel. Seega leidis eelnevat informatsiooni selles valdkonnas, mis andis võimaluse olemasolevate või läbiproovitud lahenduste rakendamiseks. Juhendaja soovitusel, uuriti ka võimalust tuumapatarei kasutamiseks taastuenergia allikana ning sellele lisaks ka mikro tuumajaama kasutamist laadimispunktina.

Otsing tõi kasutatavate variantidena välja tuule- ja päikeseenergia kasutamise taastuenergia allikatena. Leidis informatsiooni ka hüdro-, geotermaal- ja füüsilise töö põhiste energiaallikate kohta, kuid need ei sobinud kokku arvutiga ühel või teisel põhjusel [5], [6], [7], [8].

3.1 Tuuleenergia

Tuule energia põhineb tuule kasutamist, et pöörata propelleritega rootorit. Rootor on ühendatud elektrienergia generaatoriga. See omakorda toodab elektrienergia kasutades tuulelt saadud mehaanilist jõudu [9]. Antud uuringus vaadati peamiselt väikeseid tuule turbiine, mis töötavad samal põhimõttel, aga toodavad vähem energiat kui täis turbiinid [10]. Tuule olemasolu poolest kumbaski riigis puudusi ei tohiks esineda [11]. Tuulekaartide järgi on näha, et Eestis langeb tuul keskmiselt 3-4 m/s kiiruse juurde ja Ghana tuulerikkamates kohtades jäi tuule kiirus 4-5 m/s vahemikku [12], [13]. Sõltuvalt turbiini suuruselt on võimalik genereerida 200W-20kW vahemikus energiat, kui on vähemalt 4 m/s tuule kiirus [14]. Leidub ka palju lihtsaid, isetehtavaid turbiine, mis teeb lahenduse rakendamise tunduvalt soodsamaks.

Samas on tuul suuresti ilmast tingitud. On väga võimalik, et alati ei ole piisavalt tuult saadaval, mis tähendab, et elektrienergia puudumisel ei ole see variant millele saab

kindlalt loota tagavara elektrienergia genereerimiseks. Vastupidiselt, olukordades, kus on liiga palju tuult, on ohtlik kasutada tuulegeneraatorit. Peale turbiini kulutamise ja lõhkumise, hakkab generaator tootma tunduvalt rohkem energiat, mida peab energiaallika süsteemis ümber suunama [15].

Eeldusel, et tuuleenergia on pidevalt kättesaadav, peaks olema ka sobiv energiaallika lahendus olemas. Enamus edasimüüjatelt saadavad tuulegeneraatorid on suured ning mõeldud terve majapidamise jaoks lisaenergia genereerimiseks. Sellest tulenevalt on need parajasti suured nii suuruse kui ka hinna poolest [16]. Leidub lihtsamaid ja väiksemaid generaatoreid tuuleenergia kasutamiseks. Ühe Kanada *startup*-i poolt reklaamitud pisike tuulegeneraator võib genereerida kuni 10 W energiat 7-8 m/s, mis sobiks rannikutel ja kõrgendatud piirkondades [17]. Kui oleks selliste tuultekiiruste kasutamine võimalik, siis saaks lahendust rakendada laadimisipunkti lahenduses. Aga suureks miinuseks on toote hind, mis ulatub üle 300€, ja energia tootmine väiksema tuule korral, kus jõudlus langeb alla 5 W [18].

Teisiti lähenemine on isetehtavate tuulegeneraatorite kasutamine. Üldiselt on need lahendused suuruselt suuremad ja neil puuduvad enamus kaitse süsteeme, mis on valmis turbiinidel [19], [20]. Isetehtud turbiinid suudavad toota ligikaudu sama palju elektrienergiat, kuid väiksema koguhinna eest [21], [22], [23].

Informatsiooni üle vaadates jääb ilmsiks, et tuuleenergial põhinev lahendus sobiks ainult laadimisipunkti kasutamisel. Leidus ainult üks lahendus tuulegeneraatori jaoks, mis oli piisavalt kompaktne, et toota energiat ühe kohvri jaoks. See lahendus oli ka väga kallis ja mitte tõhus, tootes parimal juhul alla kohver arvuti võimsuse tarbe. Järelikult see generaator on parimal juhul suuteline ainult ühte akupanka laadima, kui see akupank pole hetkel kasutuses. See lahendus ei sobi, seega saab kasutada ainult suuremaid generaatoreid. Valmistatud generaatorid on üksjagu kallid, aga võivad omada kaitse süsteemi. Isetehtavad on tunduvalt odavamad, kuid kaitse/reguleerimine on neile vaja juurde lisada. [24]. Mõlemal juhul on vajalik süsteem võimsuse salvestamiseks, jaotamiseks ja kontrollimiseks. Kõik see lisab energiaallika keerukusele juurde ja teeb kasutuse raskemaks. Kui peaks selle variandiga jätkama, siis peaks kasutama laadimisipunktis ise valmistatud generaatorit.

3.2 Päikeseenergia

Päikese energia põhineb päikese valguse ja/või soojusest energia tootmisel [25]. Selle töö raames uuriti ainult valguse põhjal elektri tootmist.

Päikeseenergia kasutamise takistusi tekkima ei peaks. Kui vaadata päevavalguse ajalise jaotuse Eestis, siis on märgata, et probleeme võib kõige rohkem novembrist kuni veebruarini lõpuni. Detsembri ja jaanuari kuude jooksul langeb päevavalgus kuni 6 tunnini päevas. See tähendab, et selle kahe kuu jooksul ei ole piisavalt aega, et 18W väljundvõimsusega päikesepaneelil üks akupank täis laadida. Novembris ja veebruaris on seis parem, kuna päevavalgust jääb 7-8 tunni vahele, mis veel võimaldab maksimaalse lubatud võimsusega akupangad peaaegult täis laadida. Siiski on laadimise tegevus piiripeal, nii ajaliselt kui ka võimsuse poolest. Ülejäänud kuudel laadimisega probleeme ei ole [26]. Ghanas on päevavalguse seis tunduvalt lihtsam. Aasta läbi on 11-12 tunni vahemikus päevavalgust ja seda vähese ajalise kõikumisega [27]. See tähendab, et päikesepaneeli kasutamine aku laadimiseks on märkimisväärselt hõlbustatud.

Uuringu tulemusena leiti, et väga populaarseks lahenduseks oli päikesepaneelide kasutamine. Peale üldise informatsiooni leidis palju varasemaid valmis projekte, kus rakendati päikesepaneeli *cyberdeck*-i laadimiseks [28], [29], [30]. Projektidest sai võtta valimis lahendusi, et nende alusel leida lahendus MATIK arvuti kohvri jaoks.

Energiaallika kohalt leidis juba valmis lahendusi, mida saaks otse akupanga külge ühendada [31], [32]. Valmis paneelid on disainitud matkamisele või muule reisimisele kaasa võtmiseks, mis tähendab, et need on juba disainitud kompaktselt ja kiireks kasutuseks. On ka võimalus kasutada isetehtud paneele, millisel juhul leidub suur valik valmis projekte [33]. Jääb suur valik lahendusi, mis sobib ühe kohvri jaoks või siis laadimispunkti jaoks ühele või mitmele kohvrile [34].

Päikesepaneeli kasutamise mureks on ebastabiilne väljund [35], [36]. Tulenevalt ilmast ja mustusest kõigub päikesepaneeli väljund märgatavalt. Kõikumist saab leevendada kontrolleri ja aku kasutamisega päikesepaneeli väljundi juhtimiseks.

Leidis veel muid lahendusi päikeseenergia kasutamisega, kuid need selle töö raames ei sobinud. Üheks pakutud variandiks oli kasutada akupanka, millele on päikesepaneel sisseehitatud [28]. Kuigi see on lihtne lahendus, ei sobi see käesoleva projektiga kokku.

Akupank peaks disaini poolest kohvri sees olema, mis tähendab, et sellel puudub otsene kokkupuude päikesega. Teiseks, kui teha variant, millel saaks akupanga kohvrast välja tõsta, siis see tooks kaasa riski nii akupanga kui ka muude arvuti osade suhtes. Akupanga edasi-tagasi liigutamine tõstab tolmu ringlus, mis omakorda hakkab mõjutama teisi komponente kohvris

3.3 Päikese ja tuule vahel valimine

Et töös oleks edaspidi lihtsam leida realselt kasutatav lahendus, siis otsustati, et pidi tegema valiku ühe energiaallika poolt. Selle energiaallika põhjal hakatakse edasi vaatama, millised lahendused sobivad arvuti kohvriga kasutamiseks.

Mõlema energiaallika poolt toodetud energia igapäevases olukorras on ligikaudu võrdne. Seega peaks vaatama ja võrdlema tootmise erinevusi halvimatel juhtudel. Tuule energiallikal oleks see tuulevaikne päev ja päikese energiallikal oleks see pilvine päev. Teoorias võib pidada päikeseenergia puhul halvimaks juhuks valguse täielikult puudumist, nagu öösel, aga praeguse võrdluse puhul vaadatakse halvimat olukorda kui juhuslikku sündmust, mis võib toimuda mistahes päeval. Tuulevaiksel päeval ei toodaks tuulegeneraator üldse energiat, aga pilvisel päeval võib päikesepaneel veel toota ligikaudu 20-30% oma maksimaalsest päevasest energia toodangust [37]. See kehtib ka arvestada sademeid [38]. Järelikult sobib päikeseenergia kasutamine paremini.

Parimal juhul, kus energiaallikas saab maksimaalselt energiat välja anda, on tuulegeneraatoril päikesepaneeli suhtes suur eelis. Kui on pidevat ja sobiva kiirusega tuult saada, siis tuulegeneraatori tootmine saab toimuda järjepidevalt. Päikesepaneeliga on parimal juhul pidev täisnurk päikese ja paneeli vahel ilma ühegi takistuseta. Nurga hoidmist on võimalik realiseerida kontrolleriaga, mis teeks tegevuse automaatseks. Aga võrreldes tuule turbiiniga on päikesepaneeli tööaeg dikteeritud päevavalgusega, mis tähendab et pole võimalik selle tööaega pikendada. Tuuleenergiaga saaks parimal juhul laadida rohkem akusid, kui päikeseenergiaga, seni kuni täis laetud akupangad pidevalt väljavahetada tühjade vastu.

Mõlemad energiaallikad kuluvad enam-vähem sama kiiresti. Päikesepaneeli eluiga peaks olema pikem kui tuuletrubiinil ja päikesepaneelid peaks nõudma vähem hooldust kui tuuleturbiinid [39]. Päikesepaneeli hooldus on samuti tunduvalt lihtsam, kuna see nõuab

peamiselt puhastamist ja visuaalset kontrollimist [40]. Sellega võrreldes on tuulegeneraatori hooldus keerulisem. Puhastus ja inspeksioon nõuab turbiini lahti võtmist ning sellele lisaks tuleb teostada kinnituste ja ühenduste kontrolli [14]. Kui eeldada, et kohapealseid vahendeid on vähe ja/või teadmisi hoolduse kohta puuduvad, siis on päikesepaneeli hooldamine tunduvalt lihtsam tegevus [39].

Energiaallikate laadimiseks kasutamisel on paar valikut. Üheks lähenemiseks on energiaallika otse ühendamine arvuti akupanga külge. Teiseks on laadimispunkti kasutamine. Igaljuhul peaks vastav meetod sooritama laadimist ilma probleemide või kahjustusteta. Laadimispunkti kasutamisel on valikus ühe või mitme akupanga korraga laadimine, vastavalt energiaallika tootlikusele. Mõlemat energiaallikat saab kasutada laadimispunkti jaoks, kas siis ostetava valmistoote või isetehtava generaatoriga. Üldjuhul ei paku kumbki energiaallikas lihtsat lahendust. Mõlemad nõuavad kontrolleri, et reguleerida laadimise voolu ja pinget [41], [42]. Arvuti akupangal on sisseehitatud sarnane kontrolleri, kuid selle maksimaalne sisendpinge ja vool ei pruugi olla piisavalt kõrged, et taluda otse ühendamist. Seega on vajalik energiaallika jaoks eraldi kontrolleri kasutamine [43]. Valmistootel on eeliseks standarditele vastav töö ja väljastatav võimsus ning parem kokkusobitus kontrolleri. Isevalmistatud vahendil see eelis puudub, kuid energiaallika hinnaga saab säästa märkimisväärselt [44], [45], [46], [47]. Laadimispunkti keerukusele lisandub juurde ka lisasüsteemide kasutamine. Tuuleturbiinil peaks olema kontrolleri, mis takistab turbiini töö liiga suure tuule kiiruse puhul. Õnneks on osadel laadimise kontrolleri see sisse ehitatud [41]. Päikesepaneeli efektiivsemaks kasutuseks peaks olema juhtsüsteem, mis kontrollib nurka päikesepaneeli ja päikese vahel, et toota võimalikult palju energiat [48]. Kui eeldada, et alati ei ole vajalik saada maksimaalset väljundit, siis piisab paneeli käitsi kohandamisest. Sellega saab süsteemi keerukuse ja hinna pealt kokku hoida.

Laadimispunktist lihtsam lahendus on generaatori otse ühendamine arvuti akupanga. Kui kasutatava generaatori väljundvõimsus ei ole tunduvalt suurem, kui akupanga sisendil, siis ei teki probleeme otse ühendamisega. Selle jaoks peab energiaallikas lihtsalt piisavalt palju energiat tootma, et tasakaalustada tarve. Uuringust juba tuli ilmsiks, et ainult päikesepaneeliga on seda lahendust võimalik realiseerida.

Üleüldiseks kasutuseks on päikeseenergia suur eelis. Ka halvimal juhul suudab allikas toota energiat, leidub palju valmistehtud tooteid või projekte, mida saab isetehtava allika

jaoks rakendada. Kuna Ghana asub ekvaatoril, siis päikesevalguse aeg on aastaringsest konstante. Samas ei pruugi tuul Ghana sisemaal piisava kiirusega tuult olla, et võimaldada tuuleenergia pidevat kasutust. Tuule ainukeseks eeliseks on pikem laadimise aeg pideva tuule korral, aga see sõltub ilma juhusest.

Valikul võis arvestada ühe viimase punktiga. Lahendus leiab oma peamise kasutuse olukordades, kus lihtsasti kättesaadav elektrienergia puudub. Kohver arvutit hakatakse rakendada ainult kahes riigis: Eestis ja Ghanas. Ghana puhul on tegemist arengumaaga, mille põhjal võib eeldada, et elektrienergiale juurdepääsuga tekib rohkem probleeme [49]. Seega peaks taastuvaenergia allika kasutus selles riigis olema suurem kui Eestis. Järelikult võib energiaallika valiku suunata rohkem Ghana nõuete järgi.

Seega, kui arvestada Ghana aastaringse päevavalguse ajaga, päikesepaneelide suurema lahenduste valikuga ning lihtsama kasutuse ja hooldusega, siis jääb lõppvalik päikeseenergia kasutamise kasuks. Eestis võib olla natuke rohkem eeliseid tuuleenergia kasutamiseks, arvestades Eesti maastiku ja asukohta, kuid päikeseenergia kasutamisega saab veel piisavalt hästi toime tulla [50], [51]. Leidub ka võimalust kahe energiaallika samaaegseks kasutamiseks, et kasvatada energia tootmist, kuid see toimiks ainult laadimispunkti kasutamisel, arvestades tuuleenergia allikate valikut, ning see oleks tunduvalt kallim ja keerulisem kui eraldi süsteemid [52].

3.4 Muud energia lahendused

Peale tuule- ja päikeseenergia kasutamise leidis teisi variante, kuid neid polnud võimalik rakendada selle töö raames. Nendel valikutel puudus piisavalt tugev alus kasutuseks või need ei sobinud kokku MATIK arvutikohvri kasutusega.

3.4.1 Hüdroenergia

Hüdroenergia lahendus põhineb voolava vee mehaanilise jõu rakendamises, et pöörata turbiini. Turbiin on ühendatud elektrimootoriga, mis toodab mehaanilisest jõust elektrienergiat [53]. Voolava vee saamiseks kasutatakse, kas looduslikke järvesid ja jõgesid või ehitatakse tamme, et suunata ja hoiustada vett. Uurimisel keskenduti looduslike veekogude kasutamisele. Hüdroenergia pealt kasut saamiseks peaks leiduma veekogusid piisavalt suure kõrguse erinevusega, et veekogude pealt energiat toota [54]. Ühes 2017. aastal avaldatud uuringus leiti piirkondi Ghanas, kus oleks sobiv rakendada

hüdroelektrijaamu, et toota taastuvenergiat [55]. Vaadates uuringus avaladatud kaarti on näha, et sobivaid piirkondi on Ghanas vähe ja hajusalt. Uuring kesksendus just mahukamatele hüdroelektrijaamadele, mis toodavad energiat inimasustustele, aga kui võtta aluseks uuringus ilmnev veekogude jaotus, siis on näha, et ka antud töö puhul oleks sobivaid kohti tavapärasema piko või mikro hüdroelektrijaama kasutuseks.

Võimaluseks on veel kasutada madala kõrgusega ehk *low-head hydro power* hüdroenergia lahendusi. Näiteks, Jaapanis on väljatöötatud hüdroenergia generaator, mis suudab 10 W energiat toota juba 0,1m kõrguse erinevuse pealt [56], [57]. Saksamaal on väljatöötatud kompaktne generaator, mis vajab ainult piisava vooluga veekogu, et toota 5 W väljundiga energiat [58], [59], [60]. Iseenesest kumbi lahendus ei tooda piisavalt, et pakkuda võimalust õppetööga samaaegset laadimist, kuid võiksid töötada olukorras, kus kasutatakse laadimispunkti või vähemalt mitme akupanga vaheldumisi laadimist.

Siiski lähevad mõlemad variandid ühel või teisel viisil vastuollu varasemate tingimustega. Madala kõrgusega generaator on üksjagu suur, ületades arvutikohvri suurust märkimisväärsel määral. Peale selle on seade valmistatud eelkõige kitsamatest veekogudes energia saamiseks. See omakorda piirab madala kõrguse generaatori kasutust. Saksamaal tehtud variant on tunduvalt kompaktsem, aga selle hind on peaaegult sama suur kui terve arvuti kohvri kogumaksumus, ulatudes 299 €. Sellele juurde arvestades laadija väikest väljund võimsust, ei sobi antud variant samuti. Võimalus oleks isetehtav hüdroenergia generaator, kuid see kannatab kobakuse ja ülessättimise pealt [61].

Edasisel uurimisel lisandus varasematele puudustele juurde rohkem probleeme, mis mõjutavad hüdroenergiat üldisemalt. Nimelt on tekkinud probleeme jugade ja sarnaste väiksemate veekogude kokku kuivamisega [62]. Et antud meetod eelkõige kasutaks just selliseid veekogusid, siis tuleviku perspektiivis sellise energiaallika väiksemal skaalal kasutamine võib välja surra. Kõige selle järelendusena oleks Ghanas väiksema hüdroenergia generaatori kasutamine mõtetu. Eestis tingimustes on väikestele, voolavatele veekogudele ligipääs tunduvalt hõlpsam, kuid samad probleemid kehtivad hüdroenergia generaatoritega.

3.4.2 Geotermaal

Kõikide variantide vaatluse huvides uuriti ka geotermaal energia kasutamist. Energiaallika töö põhimõte on kasutada maapõues leiduvat soojust. Soojust kogutakse

maa sisse paigaldatud torudega, kus vedelik voolab ja kogub soojust. Kuumenenud vedelik pumbatakse jaama, kus soojust kasutatakse vedeliku aurustamiseks ja auru, et turbiini abil generaatorist elektrienergiat saada [63]. Geotermaalenergia pealt elektrienergia tootmine on väga nõudlik ja keeruline. Piirkond, milles selle pealt energiat soovitakse toota, peab olema piisavalt aktiivne, et oleks võimalik maa sees oleva soojusenergia pealt hakata elektrienergiat tootma. Tootmise jaoks peab soojusenergia tooma vastava generaatorini, kasutades selleks pumpade ja torude süsteeme, mis ulatuvad sügavale maapõue [64]. Sellise süsteemi jaoks pole võimalik teha arvuti kohvrile vastavat väiksemal skaalal variante. Ka kõige väiksem geotermaal energiaallikas nõuab jaama ja torustiku ehitamist ning paigaldamist [65]. Lühidalt, see meetod ei sobi kuidagi antud töösse. Sellele lisaks, Eesti ja Ghana ei asu sobilikes geotermaal piirkondades [66], [67]. Geotermaalenergialt elektrienergia genereerimise süsteem ei saa kuidagi olla arvutikohvriga samal skaalal ning terve protsess generaatori kasutamiseks on ajakulukas, kallis ja selle töö skaalast väljas.

3.4.3 Füüsiliselt

Lihastöö kasutamine, et generaatoriga energiat toota on lihtne tegevus. Jõudu rakendatakse käsivända või pedaalide liigutamiseks. Käsivänt või pedaalid on ühendatud mehaanilise energia generaatoriga, mis toodab sellest omakorda elektrienergiat. Selline mehhaaniliselt elektrienergia tootmine on madal. Isetehtud generaator toodab ainult 300 mA stabiilset voolu, mis tähendab 30000mAh patarei korral 10 tundi pidevat väntamist [68]. Pedaal vända variant toodab rohkem, aga on see on käsivändast suurem ja nõuab samamoodi pidevat kasutust [69]. Üldiselt see variant töötab ainult häda korral, et pisut akut laadida lühikesteks tegevusteks. Õppetööd selline tegevus häirib märkimisväärselt ning ei saa panna ootust õpilastele mitu tundi järjest generaatorit töödata, et õppetööd sooritada. Seetõttu jäi see variant valikust välja.

3.4.4 Tuumapatarei

Juhendaja poolt pakuti variandiks tuumapatarei kasutamist. Tuumapatarei toodab elektrienergiat radioaktiivsete osakeste lagunemise pealt. Lagunemisel tekkivad soojust kasutatakse termopaariga elektrienergia tootmiseks [70], [71]. Peale termopaari on võimalik toota energiat kasutades beetakiirgust ja pooljuhti [72]. Tuumapatareid puuduvad kommertskasutuses. Toodev energia on mikrovattide skaalal, mis tähendab, et patarei pole asendus lihtsasti kättesaadava elektrienergia puudumisel [73]. Probleemiks

on ka tuumapatarei hind, mis algab juba 5250\$. Tuumapatarei üheks eeliseks on selle kestvus, mis ulatub kuni 50 aastani. Samas kahaneb patarei energia tootmine aja möödudes ja pärast 20 aastat toodab patarei energiat ainult 33% oma originaalsest võimsusest [74]. Hetke seisuga ei kõlba tuumapatarei arvuti kohvri akupanga laadimiseks ega toite pakkumiseks. Tulevikus võib patarei kasutamisel rohkem lootust olla, kuna Hiina idufirma, Betavolt, teeb plaane kuni 1W väljundvõimsusega patarei müüki laskmiseks tulevikus [75].

3.4.5 Mikro-tuumajaam

Juhendaja soovitusel uurisin ka mikro-tuumajaama kasutust kui laadimispunkti. Mikro-tuumareaktor töötab tavalise tuumareaktoriga samal põhimõttel, aga selle skaala on tunduvalt väiksem. Mikro-tuumajaamad suudavad pakkuda kuni 20MW soojusenergia väljundvõimsust, mida saab muundada ümber elektrienergiaks. Suurele energia tootmisele lisaks on mikro-tuumajaama kauakestvad ja vajavad kütust ainult iga 10 aasta tagant [76], [77]. Mikro-tuumajaamade kasutus on kogunud piisavalt populaarsust, et isegi erafirmad pakuvad võimalust kasutada nende poolt toodetud mikro-tuumareaktoreid [78].

Energia tootmise kõrvalt esineb mikroreaktori kasutamisel palju puudusi. Mikro-tuumareaktor on massiivne võrreldes muude laadimispunktidega. Reaktori transportimine toimub haagisega veoautodega, mis tähendab, et kuhu iganes reaktor paigutatakse, jääb see sinna pikaks ajaks paikseks. Peale massiivse suuruse on mikroreaktor väga kallis, ulatudes üle saja miljoni dollari ühe reaktori kohta [79]. Arvestades neid puudusi ja reaktori energia tootmise skaalat, võib eeldada, et vahend on arvutiklassi skaalalt väljas. Seega on parem vaadata midagi väiksemal skaalal, nagu *kilopower*.

Kilopower on väikesel skaalal tuumareaktor, mida töödatakse välja kosmosereisidel energia tootmiseks [80]. Reaktor suudab toota 1-10kW võimsuse juures elektrienergiat ja seda rohkem kui 10 aastaks. Reaktor on ennekõike mõeldud kosmoses kasutamiseks, kuid see demonstreerib võimalust tuumajaama suuruse skaala veel rohkem vähendamiseks. Seega ei sobi see laadimispunkti kasutusse. Siiski, demonstreerivad väiksemal skaalal tuumareaktorid, et tulevikus võib olla võimalus piisavalt väikese tuumareaktori kasutamiseks, et sellega saaks ka arvutiklassi arvutite laadimisega toime tulla.

4 Rakendamine kasutusse

Peamisi meetodeid taastuenergia allikate rakendamiseks on kaks: allika otse akupangaga ühendamine või laadimispunkti ülesättimine, mis väljastab laadimiseks energiat läbi kontrolleri. Allika otse ühendamisel on ka võimalus laadimist teha, siis kui akupank on parajasti kasutuses või mitte. Kasutamisega samal ajal laadimisel on laadimise kiirus minimaalne, kuid võimaldab kõige pikema laadimise aja. Mitte kasutuses akupanga laadimise kiirus on suurem, kuid laadimiseks on aega vähem. Kuna on teada, et laadimiseks on aega 4-6 tundi, mille jooksul ei suuda ka maksimaalse sisendvõimsusega energiaallikas ühte akupanka täis laadida, siis on vaja kasutada lisa akupanka. Laadimispunkti korral on võimalus rohkem kui ühte akupanka samal ajal laadida.

4.1 Valmistatud lahendused

Päikesepaneeli otse ühendamiseks on juba mitmed valmistatud lahendused olemas [31], [32]. Reisimiseks või matkamiseks mõeldud kaasaskantavad ja kokkuvolditavad päikesepaneelid. Maksimaalne väljundvõimsus ulatub kuni 20-21W, mis on rohkem kui akupanga maksimaalne sisendvõimsus, kuid mitte nii suurel määral, et see akupanka saaks kahjustada. Seadmel on sisseehitatud USB pistik, mis tähendab, et seda on võimalik akupangaga otse ühendada. Kokkuvolditav ehitus teeb selle piisavalt kompaktselt, et seda saab ühe arvuti kohvriga kaasas kanda. Hind jääks 47-59€ vahemikku, mis on ligikaudu ühe arvuti kohvri komponendi hind.

Kuna disain on kompaktne ning generaatori saab ühendada otse akupanga külge, siis see on ideaalne valik õppetööga samal ajal toimuva laadimise jaoks. USB kaudu saab ühendada piisavalt pika juhtme, et generaator püsib väljaspool õppetöö ala ja ei sega õppimist. Generaatori juhe mahub arvuti kohvri komponentide paneeli vahelt läbi, ilma et oleks vaja paneeli pidevalt lahti hoida. Ainukene häiriv olukord on laadimise kontrollimine, mis nõuab, et õpilane ise teostab järelvalvet ja kontrollib, kas laadimine toimub. See tähendab akupanga ekraani pealt laadimise edenemise vaatamist. Selle häire saab eemaldada akupanga õppetööst eraldi laadimisega. Kui sama vahendit kasutada õppetöö kõrvalt laadimiseks, siis lisandub juurde ühe akupanga hind, kuid laadimist ei pea enam õppetöö kõrvalt kontrollima.

4.2 Isetehtav lahendus

Isetehtava variandi puhul saab kasutada väiksemaid päikesepatareiseid, et saada kätte piisavalt suur võimsus, või ühte suurtpäikese paneeli. Väiksemate kasutamisel on võimalust sama kompaktselt hoiustamiseks kui kokkuvolditaval päikesepaneeli puhul, kuid on tunduvalt raskem saavutada soovitud võimsus tulenevalt päikesepaneeli elementide erinevates väljundvoolust ja väljundpingetest [81], [82], [83], [84]. Suurem paneel ei ole kompaktne, aga valikus on võimalik saada kohe soovitud võimsus ilma, et peaks teisi paneele juurde ühendama [85]. Selle töö raames on odavam osta üks suur paneel. Väikestest paneelidest 18W võimsuse kättesaamine läheb tunduvalt kallimaks kui ühe täis paneeli ostmise. Sellele lisaks võib tekkida palju probleeme erineva voolu ja pingega patareide ühendamisel [86]. Peale päikesepaneeli valikut on vaja juurde lisada kontrolleri. Piisab sellest kui võtta võimalikult odav kontrolleri, mille maksimaalne väljundvool on vähemalt sama suur kui akupanga sisendvool. Akupanga spetsifikatsioonist on teada, et akupanga kõige suurem sisendvool on 3A. Controller SOL PWM on üks odav kontrolleri, mille väljundvool ulatub kuni 10A [87]. Kontrolleri on isegi sisseehitatud USB pistikud, mis teevad laadimise lihtsamaks. Samas on pistikute maksimaalne väljund 5V/2A. Et paremat väljundpinget saada võib kasutada pingemuundurit, et saada kontrolleri 12V väljundist vähemalt 5V/3A toidet [88]. Pingemuunduri külge ühendatud USB pistikust on võimalik saada vähemalt 15W väljundvõimsust, millega saab akupanka tunduvalt paremini laadida.

4.3 Laadimispunkt

Laadimispunkti kasutamine toimub samal põhimõttel, mis isetehtava päikesepaneeli kasutamine. On vaja päikesepaneeli, kontrolleri ja väljundi muundurit. Vahe on nüüd suurema päikesepaneeli kasutamises. Kui kasutada täpselt sama paneeli, kui isetehtavas variandis, siis ei pea midagi ümber muutma. Kui kasutada suurema väljundvõimsusega paneeli, siis on võimalik laadida mitut akupanka korraga. Vastavalt selle peab ka kontrolleri muutma, et kontrolleri maksimaalne väljundvool oleks kõrgem kui akupankade poolt tarbitav koguvool. Vastasel juhul tekib akupankade laadimisega probleeme.

4.4 Hinna ülevaade

Et saada parem ülevaade sellest, kui palju võib iga lahendus maksma minna tehti ülevaade iga lahenduse kogu masksumusest. Isetehtava lahenduse puhul arvestati ühe akupanga laadimisega ja laadimispunkti korral 4 akupanga laadimisega. Hinda pole sisse arvestatud vahepealseid osi, nagu juhtmeid, ega kinnitusi või raame, kuhu sisse osad paigaldada saaks. Hinnaks võetakse osa originaalne hind, ilma soodustuste või transpordi kuludeta. Antud tooted valiti ennekõike Eesti edasimüüjatelt. Kui puudus sobiv toode, siis uuriti välismaalt võimalikku asendust.

Tabel 1 Valmistatud lahenduse hinnakiri

Nimi	Hind, €
SunFlower FS-20W [89]	49,99

Tabel 2 Isetehtava lahenduse hinnakiri

Nimi	Hind, €
Päikesepaneel polükristall [85]	36
Controller SOL PWM 10A 2xUSB [87]	14,45
3PCS DC-DC 12V to 5V 5A Step-Down Converter, USB Buck Converter DC 9V-36V Step Down to USB 5V Transformer Dual Output Power Supply Module for Phone Fast Charging [88]	11,99
Kokku:	62,44

Tabel 3 Laadimispunkti hinnakiri

Nimi	Hind, €
Päikesepaneel 80W polükristall [90]	75
Controller SOL PWM 20A 2xUSB [91]	18,30
4-USB Port A5268 Step Down Voltage Regulator Buck Converter Power Transformer Supply DC 12V to 5V for USB Hub Phone Auto Car [92]	9,42
Baseus Bipow 30000mAh 4 tk [1]	107,96
Kokku:	210,68

Valmislahenduse eest peab maksma 49,99€, isetehtava eest 62,44€ ja laadimispunkti eest 210,68. Kui jagada laadimispunkti hind 4 akupanga vahel, siis saaks eeldada, et laadimispunkt maksab 52,67€ akupanga kohta.

Kui on vaja lihtsat lahendust, mis ei nõua muid lisa osi ning mille saab otse arvuti akupanga külge ühendada, siis kõige lihtsam on valida valmistehtud laadija kokkuvolditavatest päikesepatareidest. Need on disainitud ringiliikumisel kasutamiseks ja seega on need ehituselt kompaktsed ja lihtsasti kasutatavad. Isetehtav lahendus on üldiselt kallim kui valmistoode ja seega peaks ühe akupanga laadimiseks isetehtava vahendi kasutamise eest hoiduma ja valima muu variandi. Laadimispunkt on näiliselt teine kõige soodsam lahendus akupanga kohta, kuid see nõuab ülesättimist ning selle kasutus ei pruugi olla nii lihtne kui valmistootel. Kui arvestada juurde laadimispunkti kobakus, siis võib eeldada, et lahendus sobib ainult juhul kui saab mitut akupanka laadida ning ei ole vajadust laadimispunkti ringi liigutamiseks pärast selle üles sättimist. Hinna poolest jäävad arvuti kohvri hinna klassi valmistoode kui ka laadimispunkt, kui arvestada hinda akupanga kohta.

5 Analüüs

Eesmärgiks oli leida sobiv lõplahendus võimalike elektrienergia probleemide jaoks MATIK kohverarvutile. Lahendus pidi olema taastuenergia kasutav energiaallikas, mis suutis toota piisavalt palju elektrienergiat, et kohverarvutiga õppetöö sooritamise oleks võimalik muu elektrienergia puudumisel. Lõpptulemusena sai taastuenergia allika lahendusteks valitud valmislahenduse kujul kokkuvolditav päikesepaneeliga laadija ja isetehtav päikesepaneeliga laadimispunkt. Mõlemad lahendused täitsid sätestatud ootusi ning sobisid MATIK arvutikohvriga töötamiseks. Kahjuks tekkis töö käigus probleeme muude lahendustega ning nendest pidi loobuma. Kui oleks võimalik töö tingimusi muuta või lahendusi rohkem uurida, siis võib olla saaks isegi loobutud lahendusi kasutada.

5.1 Õppetööst eraldi laadimine

Esialgu sai püstitatud kolm varianti akupanga laadimiseks: õppetööst eraldi laadimine, õppetöoga samaaegne laadimine ja laadimispunkti kasutamine. Õppetööst eraldi laadimine ja laadimispunkti kasutamine sarnanesid oma laadimise põhimõtte poolest, kuid peamiseks erinevuseks oli see, et eraldi laadimise korral laeti kohverarvuti sisse paigaldatud akupanka, ilma et seda peaks eemaldama, ja laadimispunkti kasutamisel laetakse varu akupanka, mida vahetatakse arvutikohvris tühjaks saanud akupanga vastu. Tulenevalt laadimise piirangutest ei saanud kasutada õppetööst eraldi laadimise meetodit. Akupanga piiratud sisendi tõttu polnud võimalik rakendada ühtegi kiiremini laadivat energiaallikat, millega oleks saanud tühja akupanga piiratud aja jooksul täis laadida. Oli veel võimalust osaliselt tühja akupanga täis laadimiseks. Osaliselt tühja akupanga all arvestati akupangaga, mis sisaldas veel vähemalt 4 tunni tööks vajalikku laengut. Sellise osaliselt tühja akupanga laadimine oli võimalik, kuid see nõudis ideaalseid tingimusi: energiaallika väljundvõimsus pidi terve laadimise protsessi jooksul püsima akupanga sisendvõimsuse maksimumi juures. Ehk siis ei tohtinud olla ühtegi häirivat tegurit, mis energiaallika väljundvõimsust alla tõmbaks. Reaalsetes olukordades on väga ebatõenäoline, et mitte miski ei häiri energiaallika laadimist. Seega järeldati, et praktikas selline osaliselt tühja akupanga täislaadimine piiratud aja jooksul polnud võimalik. Probleemi saaks lihtsasti lahendada, kui saaks kasutada akupanka, mille sisendvõimsus oleks suurem. Suurem sisendvõimsus võimaldaks kiiremat laadimist. Kuna akupanga muutmine jäi selle töö ulatusest välja, siis seda lahendust rakendada ei saanud. Osaliselt

tühja akupanga täis laadimiseks saaks ka kasutada energiaallikat, mille väljundvõimsus on piisavalt suur, et tavapärastes oludes püsiks see akupanga sisendvõimsuse maksimumis. Probleem selle lahendusega on akupanga kahjustamine kui energiaallika väljundvõimsus tõuseb üle akupanga maksimaalse sisendvõimsuse.

5.2 Hübriid energiaallikas

Energiaallikad, mille põhjal lahendusi vaatama hakati olid tuule- ja päikeseenergia. Lõpplahenduse leidmiseks loobuti tuuleenergia kasutamisest, sest tuuleenergiaga võrreldes oli päikeseenergia kasutamisel rohkem eeliseid. Samas oleks olnud võimalust kasutada mõlemat energiaallikat korraga. Kuna päikeseenergial põhinev energiaallikas kaotab laadimise efektiivsust pilvisusega, siis samaaegselt tuuleturbiini kasutamine kataks päikeseenergia kaod. Vastupidiselt, kui peaks tuulevaikne ilm olema, siis päikesepaneel võimaldab veel osalisel määral laadimist. Hübriid energiaallika kasutamisele aitab kaasa ka see, et tulenevalt ilmast on tihti pilvistel päevadel rohkem tuult [93]. Seega on tuuleturbiini ja päikesepaneeli kasutatav hübriid laadija efektiivsem kui tuuleturbiin või päikesepaneel eraldi. Takistuseks on laadimismeetodi valik on piiratud ainult laadimispunkti kasutamisele. See tuleneb tuulegeneraatori piiratud lahenduste valikust, mis lõpptulemusena näitas, et ainukesed tuuleenergia realiseeritavad lahendused töötavad laadimispunktides. Hübriid laadija realiseerimist teeb keerulisemaks ka kahe erineva energiaallika samal ajal kontrollimine ning energiaallikate erinevate väljundite kombineerimine [94]. Peale selle on hübriid süsteem kallim kui eraldi lahendused. Kahjuks hübriid lahendust ei jõutud rohkem edasi uurida, kuid võib olla on võimalik kuidagi hübriid laadimispunkti rakendada efektiivsemalt kui ainult päikeseenergia lahendust.

5.3 Akupank

Terve energiaallika lahenduste uuring toimus ümber ühe konkreetse akupanga. Seda akupanka ei saanud muu akupanga vastu välja vahetada. Seetõttu oli lahenduste valik üksjagu piiratud. Energiat ei saanud toota rohkem kui akupank sai korraga sisse võtta ning akupanga maht tähendas seda, et laadimiseks oli alati vaja üksjagu aega kulutada. Kui oleks võimalust väljavahetada kasutatav akupank, siis saaks olla tunduvalt paendlikum lahenduste leidmisel. Näiteks väiksema mahu, aga suurema

sisendvõimsusega akupank sobib hästi kokku õppetöö kõrvalt laadimisega, kuna kohverarvuti tarbimisega võrreldes saab energiaallikas akupanka tunduvalt kiiremini laadida. Sarnaselt, oleks õppetööst eraldi laadimise realiseerimine võimalik. Suurem sisendvõimsus tähendab, et 4-6 tunni jooksul on võimalik akupank täislaadida. Suurema sisendvõimsusega akupangale vastandina saaks ka kasutada odavamalt akupanka, millel on väiksem sisendvõimsus. Kuna akupank on odavam, siis laadimispunkti kasutamine muutub selle võrra samuti odavamaks. Laadimispunkti jaoks vajalikud vahetus akupangad lisavad koguhinnale juurde. Kui saab kasutada odavamalt akupanka, mille madalama sisendvõimsusega laadimine toimib sama hästi kui suurema sisendvõimsusega, aga kallima hinnaga akupanga laadimine, siis lõpptulemusena saab selle pealt raha kokkuhoida. Üldiselt põhjustas kindla akupanga mudeli kasutamine tihti probleeme energiaallikate rakendamisel. Seega, kui oleks võimalik, võiks akupanka tulevikus väljavahetada, vastavalt kasutatavale energiaallika lahendusele.

5.4 Laadimise vähene uurimine

Akupanga laadimisel enamasti eeldati, et akupank peaks täiesti tühi olema. Ainult ühel juhul arvestati sellega, et akupank võib osaliselt tühi olla ning sellel puhul arvestati väga konkreetse akupanga laenguga. Akupanga laadimisel oleks pidanud rohkem uurima olukordi, kus akupank on osaliselt laetud. Tühjast täis laadimine teeb energiaallikaga arvestamise lihtsamaks, kuna siis saab arvestada, et igal juhul, kus akupank on osaliselt täis, toimub laadimise protsess kiiremini. Kuid kui vaadata olukordi, kus laadimine peaks toimuma pooltäis akupanga peal, siis oleks võimalik kasutada väiksema väljundvõimsusega energiaallikaid. Väiksem laetav maht tähendab nii seda, et laadimine saab sama võimsusega toimuda kiiremini kui muidu, kui ka seda, et sama laadimisaja jooksul on väiksema võimsusega võimalik akupank täis laadida. Kui oleks rohkem aega olnud, siis oleks sellist laadimise protsessi rohkem uurinud.

5.5 Laadimispunkti kasutamine

Lõpplahenduses jõuti järeldusele, et on võimalik kasutada laadimispunkti, millega saab õppetööd segamata laadida mitut akupanka korraga. Lahenduses toodi välja võimalikud komponendid, millest saab laadimispunkti kokku panna, kuid ei jäänud piisavalt aega, et vormistada kindel skeem komponentide ühendamiseks. Lisaks sellele puudu ka

struktuur, kuhu külge oleks võimalik kõik laadimispunkti komponendid küle monteerida. Kui võimalik, siis peaks tulevikus tegema ka näite laadimispunkti realiseeritavast lahendusest, mis demonstreerib komponentide vahelisi ühendusi kui ka komponentide üldist paigutust laadimispunktis.

5.6 Üldine hinnang

Leitud lõpplahendus on adekvaatne praeguse MATIK arvuti projekti jaoks. Valmistoodang on sobiv lahendus ühe arvutikohvri laadimiseks. Kokkuvolditavat päikesepaneeli saab väga lihtsalt kohverarvutiga koos kanda. Kui on vajadust päikesepaneeli kasutamiseks, siis saab päikesepaneeli lihtsalt lahti voltida ning pärast laadimist võib selle tagasi kokku pakkida. Valitud laadijal on kuni 20W väljundvõimsus, mis sobib akupanga 18W sisendvõimsusega. Kuna 20W on laadija maksimaalne väljund, siis võib oodata, et realselt on madalam. Seega ei peaks tekkima probleeme akupanga kahjustamisega liigese võimsuse korral. Laadimise teeb lihtsamaks ka see, et kokkuvolditava päikesepaneeli saab ühendada otse akupanga külge. Päikesepaneel on juba disainitud selleks, et sellega oleks võimalik kaasaskantavaid seadmeid otse laadida. Seega pole vaja muretseda päikesepaneeli väljundi kõikumise pärast. Lisaks sellele on akupangale sisseehitatud voolu ja pinget reguleerija, mis võimaldab lisa kihi kaitset võimsuse kõikumisel. Hinna poolest jäi valmistoodete kohverarvuti hinnaklassi, kuid võimalusena saab uurida veel odavamaid variante.

Laadimispunkti lahendus peaks teoorias sobima mitme akupanga laadimiseks, kuid lõpptulemus tuli liiga abstraktne. Leitud allikate järgi peaks komponentide ühendamine olema lihtne, kuid puudub selle jaoks reaalne skeem. Lisaks sellele on puudu plaan komponentide monteerimiseks. Oleks võinud uurida ka võimalikke juhte, kus laadimispunkti komponendid võivad tekitada langusi laadimispunkti väljundvõimsuses.

Kui tulevikus peaks midagi kasutatavas MATIK kohverarvutis muutuma, siis on vaja energiaallika lahendused üle kontrollida. Energiaallikad lahendused on valitud konkreetse tarbimise ning aku põhjal. Sõltuvalt muutusest võib energiaallikas liiga palju või liiga vähe elektrienergiat toota ning ei sobi enam MATIK kohverarvutiga kasutamiseks.

Kokkuvõte

Töö eesmärk oli uurida ja anda ülevaade võimalikest taastuvenergia lahendustest kohver arvuti akupanga laadimiseks lihtsasti kättesaadava elektrienergia puudumisel. Leitud lõpplahendus pidi olema kompaktne, odav ja õppetööd vähe häiriv, et see sobiks kokku MATIK arvuti kohvri projektiga.

Tulemusena leiti mitmeid erinevaid taastuvenergia allikaid. Iga energiaallikas töötas erineval alusel, mis pakkus suure valiku võimalikeks lahendusteks. Valikust leiti võimalikeks töötavateks variantideks tuule- ja päikeseenergia põhjal taastuvenergia allika kasutamist. Muudel variantidel esines piisavalt palju puudusi, et nende kasutamine antud töös väljastada.

Kahe taastuvenergia allika eeliste ja puuduste võrdlemisel jõuti järeldusele, et realiseeritav lahendus peaks kasutama päikeseenergiat varu energiaallikana olukordades, kus lihtsasti ligipääsetavale elektrienergiale juurdepääs puudub. Päikeseenergia kasutamine pakkus kõige mugava ja kohandatava lahenduse energiaallika probleemile. Leidus rohkelt informatsiooni energiaallika kasutuse kohta ja palju valmistooteid kui ka isetehtavaid projekte, mille põhjal sobivat energiaallikat realiseerida.

Realiseeritavate lahendustena sobisid valmistehtud kokkuvolditav päikesepaneelidega laadija ja laadimispunkt, mis suudab mitut akupanga samal ajal laadida. Valmistoode on hea sobitus ühe arvuti kohvri aku laadimiseks. See on kompaktne ja suudab toota piisavalt palju energiat, et sellega on võimalik õppetööga samaaegselt laadimist teostada. Laadimisele aitab kaasa päikesepaneelide vähesegav ehitus ja lihtne kasutus, mis võimaldab päikeseenergia laadijat ühendada otse arvuti akupangaga. Laadija ise nõuab minimaalset järelvalvet õpilase poolt. Hinna poolest maksab toode sama palju kui mõned kallimad arvuti kohvri komponendid. Selle põhjal saab eeldada, et valmistootest päikesepaneelidega laadija sobib töö lahenduseks. Alternatiivse variandina saab kasutada ka isetehtavat laadimispunkti. Lahenduse kokkupanek ja kasutus on keerulisem kui valmistootel, kuid selle tulemusena suudab laadimispunkt mitut akupanga korraga laadida. Laadimispunkti koguhind on mitu korda kallim kui ühe valmistoote hind, kuid kui arvestada hinnaga ühe akupanga laadimise kohta, siis maksab laadimispunkt ainult pisut rohkem kui üks valmis päikesepaneelidega laadija. Laadimispunkti eeliseks

valmistoote suhtes on õpilase poolt järelvalve puudumine. Seega laadimispunkti kasutamisel ei pea õpilase õppetööd kuidagi segama.

Lõpptulemusena sobivad mõlemad variandid taastuenergia allikatena arvuti kohvrile elektrienergia tootmiseks.

Kasutatud kirjandus

- [1] K. H. R. M. K. Sander Kommel, „MATIK arvuti“, Tallinn, 2023.
- [2] „Akupank Baseus Bipow 30000mAh 20W + USB-A - Micro USB 0.25m PPBD050402“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kaup24.ee/et/mobiiltelefonid-foto--videokaamerad/mobiiltelefonid-ja-aksessuaarid/akupank/akupank-baseus-bipow-30000mah-20w-usb-a-micro?id=14624686&mid=19054871>. [Kasutatud April 2024].
- [3] H. Glenn, „Can I Use Solar Panels Without Battery Storage?“, solar.com, 14 September 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solar.com/learn/can-i-use-solar-panels-without-a-battery/>. [Kasutatud April 2024].
- [4] „Midsummer Energy“, Midsummer Off-Grid Systems, [Võrgumaterjal]. Available: <https://midsummerenergy.co.uk/solar-panel-wiring-diagram>. [Kasutatud April 2024].
- [5] D. Hosfeld, „Off Grid Electricity: What You Need to Know“, An Off Grid Life, 25 June 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.anoffgridlife.com/off-grid-electricity-what-you-need-to-know/>. [Kasutatud April 2024].
- [6] bicycle-u, „Cycle for electricity – How pedal power can generate sustainable energy“, Bicycle & e-Bicycle, 8 December 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://bicyclepotential.org/blog/cycle-for-electricity-how-pedal-power-can-generate-sustainable-energy>. [Kasutatud April 2024].
- [7] C. Brooks, „An Introductory Guide to Hand-Crank Generators“, ThisGenerator, [Võrgumaterjal]. Available: <https://thisgenerator.com/an-introductory-guide-to-hand-crank-generators/>. [Kasutatud April 2024].
- [8] „Microhydropower Systems“, energy.gov, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/microhydropower-systems>. [Kasutatud April 2024].
- [9] „How Do Wind Turbines Work?“, energy.gov, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>. [Kasutatud May 2024].
- [1] „WINDEXchange: Small Wind Guidebook“, energy.gov, [Võrgumaterjal].
- [0] Available: <https://windexchange.energy.gov/small-wind-guidebook>. [Kasutatud May 2024].
- [1] „Why harvesting wind energy in Ghana is the route to take“, ESI Africa, 26 October 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.esi-africa.com/news/why-harnessing-wind-energy-in-ghana-is-the-route-to-take/>. [Kasutatud May 2024].
- [1] Keskkonnaagentuur, „Wind“, Keskkonnaagentuur, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/tuul/?lang=en>. [Kasutatud April 2024].
- [1] R. R. Mohammed Augustine Takase, „Annual average wind speeds data of the site over a monitored period“, January 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Annual-average-wind-speeds-data-of-the-site-over-a-monitored-period-12m-agl-35_fig3_367260074. [Kasutatud April 2024].

- [1] „Installing and Maintaining a Small Wind Electric System,“ energy.gov,
4] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/installing-and-maintaining-small-wind-electric-system>. [Kasutatud May 2024].
- [1] „Dump and Diversion Loads for Wind Energy Systems,“ Alternative Energy
5] Tutorials, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/dump-load.html>. [Kasutatud May 2024].
- [1] „Small Wind Turbines,“ EcoPowerShop.com, [Võrgumaterjal]. Available:
6] <https://www.ecopowershop.com/wind-turbines>. [Kasutatud May 2024].
- [1] R. S. Aouf, „Fold-up Shine Turbine offers "wind power that fits in your
7] backpack",“ dezeen, 7 June 2022. [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.dezeen.com/2022/06/07/shine-turbine-portable-wind-power-design/>.
[Kasutatud April 2024].
- [1] Shine Turbine, „Shine Essential Kit Portable Wind Power Starter Kit[Europe Pre-
8] Order],“ Shine Turbine, [Võrgumaterjal]. Available:
<https://shineturbine.com/collections/shine-bundles/products/shine-essential-kit-eu>.
[Kasutatud May 2024].
- [1] G. E. Inventions, „Harness the Power of Nature: Build Your Own Wind Turbine for
9] Free Electricity,“ Youtube, 25 November 2023. [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.youtube.com/watch?v=9oaTEp2JFIc>. [Kasutatud April 2024].
- [2] „The protection & safety systems of small wind turbine,“ Aeolos Wind Turbine,
0] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.windturbinestar.com/small-wind-turbine-safety.html>. [Kasutatud May 2024].
- [2] D. K. 00, „DIY Wind Generator,“ Autodesk Instructables, [Võrgumaterjal].
1] Available: <https://www.instructables.com/DIY-Wind-Generator/>. [Kasutatud May 2024].
- [2] L. Loperfido, „17 Brilliant DIY Wind Turbine Design Ideas For Living Off The
2] Grid,“ Homesteading, [Võrgumaterjal]. Available: <https://homesteading.com/diy-wind-turbine-generators-living-off-the-grid/>. [Kasutatud May 2024].
- [2] „How much energy could I generate with a diy wind turbine?,“ reddit.com, 15
3] February 2022. [Võrgumaterjal]. Available:
https://www.reddit.com/r/AskEngineers/comments/ssmzpw/how_much_energy_could_i_generate_with_a_diy_wind/. [Kasutatud May 2024].
- [2] „Small Wind Electric Systems,“ energy.gov, [Võrgumaterjal]. Available:
4] <https://www.energy.gov/energysaver/small-wind-electric-systems>. [Kasutatud May 2024].
- [2] nationalgrid, „How does solar power work?,“ nationalgrid, 16 May 2023.
5] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/how-does-solar-power-work>. [Kasutatud May 2024].
- [2] „Sunrise and sunset time in Tallinn,“ timeanddate, [Võrgumaterjal]. Available:
6] <https://www.timeanddate.com/sun/estonia/tallinn>. [Kasutatud May 2024].
- [2] „Sunrise and sunset times in Accra,“ timeanddate, [Võrgumaterjal]. Available:
7] <https://www.timeanddate.com/sun/ghana/accra>. [Kasutatud May 2024].
- [2] N. Rogai, „White Shark Cyberdeck,“ hackaday.io, [Võrgumaterjal]. Available:
8] <https://hackaday.io/project/187517-white-shark-cyberdeck>. [Kasutatud April 2024].
- [2] G. Halfacree, „This DIY 3D-Printed Solar-Capable Six-Display Raspberry Pi
9] Cyberdeck Is an Off-Grid Multitasker,“ hackster.io, 7 September 2022.
[Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hackster.io/news/this-diy-3d-printed->

- solar-capable-six-display-raspberry-pi-cyberdeck-is-an-off-grid-multitasker-857b016feac5. [Kasutatud April 2024].
- [3] „Simple Portable Solar Generator 1000W PureSine Wave Cyberdeck Build With
0] 40Ah 12v Lifepo4 Battery Pack & Pelican 1500 Hardcase For PC Desktop/Laptop/Tablet/Mini PC/Smartphone,“ reddit.com, 16 November 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.reddit.com/r/cyberDeck/comments/ywxc7i/simple_portable_solar_generator_1000w_puresine/. [Kasutatud April 2024].
- [3] „Choetech Kokkupandav päikeseenergia töötav laadija fotogalvaaniline 14W USB
1] 2.1A, 66x15cm, Choetech,“ Lemona Electronics, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lemona.ee/kokkupandav-paikeseenergia-tootav-laadija-fotogalvaaniline-14w-usb-2-1a-66x15cm-choetech.html>. [Kasutatud May 2024].
- [3] „Päikesepaneel Travel Solar 21W USB 5V 2.5A,“ Oomipood, [Võrgumaterjal].
2] Available: https://www.oomipood.ee/product/5tsolar021_paikesepaneel_travel_solar_21w_usb_5v_2_5a. [Kasutatud May 2024].
- [3] „DIY Solar: Your Ultimate DIY Solar Panel Guide,“ Unbound Solar,
3] [Võrgumaterjal]. Available: <https://unboundsolar.com/solar-information/diy-solar>. [Kasutatud May 2024].
- [3] D. i. m. m. name, „DIY Solar Panels,“ Autodesk Instructables, [Võrgumaterjal].
4] Available: <https://www.instructables.com/DIY-Solar-Panels-1/>. [Kasutatud May 2024].
- [3] Jennifer, „Why Solar Panels Can't Be Used Directly,“ Solar Line, 20 September
5] 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solarpanelproductionline.com/knowledges/Why-Solar-Panels-Cannot-Be-Used-Directly.html>. [Kasutatud May 2024].
- [3] J. Ayre, „Common Solar Panel Problems,“ ese, 15 March 2024. [Võrgumaterjal].
6] Available: <https://esegroup.co.uk/common-problems-with-solar-panels-every-homeowner-needs-to-know/>. [Kasutatud May 2024].
- [3] „How effective are solar panels on overcast days?,“ Quora, [Võrgumaterjal].
7] Available: <https://www.quora.com/How-effective-are-solar-panels-on-overcast-days>. [Kasutatud May 2024].
- [3] „Does solar power still work if it's cloudy and/or raining outside? What happens
8] during bad weather when there is no sun out at all?,“ Quora, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.quora.com/Does-solar-power-still-work-if-it-s-cloudy-and-or-raining-outside-What-happens-during-bad-weather-when-there-is-no-sun-out-at-all>. [Kasutatud May 2024].
- [3] O. Young, „Wind Turbines vs. Solar Panels for Home — Which Is Better?,“
9] Treehugger, 13 August 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.treehugger.com/wind-turbines-vs-solar-panels-for-home-5187949>. [Kasutatud May 2024].
- [4] „Invest in maintenance and save money,“ Repsol, 11 September 2023.
0] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/technology-and-innovation/solar-panel-maintenance/index.cshtml>. [Kasutatud May 2024].
- [4] D. M. Schwartz, „Beginners Guide to Wind Turbine Charge Controllers,“ Off Grid
1] permaculture, [Võrgumaterjal]. Available:

- https://offgridpermaculture.com/Off_Grid_Energy/Beginners_Guide_to_Wind_Turbine_Charge_Controllers.html. [Kasutatud May 2024].
- [4] „How Does a Solar Charge Controller Work?“, Morningstar, [Võrgumaterjal].
2] Available: <https://www.morningstarcorp.com/faq/how-does-solar-charge-controller-work/>. [Kasutatud May 2024].
- [4] „Can You Charge a Power Bank With a Solar Panel?“, Solairworld,
3] [Võrgumaterjal]. Available: <https://solairworld.com/can-you-charge-a-power-bank-with-a-solar-panel/>. [Kasutatud May 2024].
- [4] D. Markham, „Build This Open Source DIY Wind Turbine for \$30“, Treehugger, 6
4] December 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.treehugger.com/build-diy-wind-turbine-4858226>. [Kasutatud May 2024].
- [4] K. Thoubboron, „Home wind turbines: Overview, products, and costs“,
5] Energysage, 16 December 2023. [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.energysage.com/about-clean-energy/wind/small-wind-turbines-overview/>. [Kasutatud May 2024].
- [4] Sunstore, „DIY Solar Systems & DIY Solar Panels. UK-wide Delivery.“, Sunstore,
6] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sunstore.co.uk/product-category/solar-panel-kits/diy-solar-systems/>. [Kasutatud May 2024].
- [4] hastyhost, „How to Build a Solar Panel“, Autodesk Instructables, [Võrgumaterjal].
7] Available: <https://www.instructables.com/How-To-Build-A-Solar-Panel/>. [Kasutatud May 2024].
- [4] G. C. Catherine Lane, „What is a solar tracker and is it worth the investment?“,
8] SolarReviews, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>. [Kasutatud May 2024].
- [4] N. Sackeyfio, „Ghana’s electricity crisis is holding the country back - how it got
9] here“, The Conversation, 9 January 2024. [Võrgumaterjal]. Available:
<https://theconversation.com/ghanas-electricity-crisis-is-holding-the-country-back-how-it-got-here-217606>. [Kasutatud May 2024].
- [5] „Where wind power is harnessed“, eia.gov, 20 April 2023. [Võrgumaterjal].
0] Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/where-wind-power-is-harnessed.php>. [Kasutatud May 2024].
- [5] Britannica, „Estonia“, Britannica, 10 May 2024. [Võrgumaterjal]. Available:
1] <https://www.britannica.com/place/Estonia>. [Kasutatud May 2024].
- [5] H. H. Saltanat Berdikееva, „What Is Hybrid Wind and Solar Power Generation and
2] How Do They Work Together?“, SaveOnEnergy, 25 February 2022.
[Võrgumaterjal]. Available: <https://www.saveonenergy.com/solar-energy/hybrid-wind-solar-systems/>. [Kasutatud May 2024].
- [5] „Hydropower explained“, eia, [Võrgumaterjal]. Available:
3] <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/>. [Kasutatud May 2024].
- [5] Renewables First, „What is head?“, Renewables First, [Võrgumaterjal]. Available:
4] <https://renewablesfirst.co.uk/renewable-energy-technologies/hydropower/hydropower-learning-centreold/what-is-head/>. [Kasutatud May 2024].
- [5] „country_report_05_ghana.pdf“, March 2017. [Võrgumaterjal]. Available:
5] http://www.ecowrex.org/sites/default/files/country_report_05_ghana.pdf. [Kasutatud April 2024].

- [5] J. V. T. -. English, „Ultra-Small Water Power Generator,“ Youtube, 15 May 2019.
- [6] [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=XjEgFIngZ04>. [Kasutatud April 2024].
- [5] „Renewable energy: Micro Hydraulic Power Unit (Spiral Type Pico-Hydro Unit
- [7] “PicoPica10”, “PicoPica500”),“ UNIDO, [Vörgumaterjal]. Available: http://www.unido.or.jp/en/technology_db/5276/. [Kasutatud April 2024].
- [5] Blue Freedom, „Portable,“ Blue Freedom, [Vörgumaterjal]. Available: <https://blue-freedom.net/hydro/portable/>. [Kasutatud April 2024].
- [5] Tobias, „Blue Freedom USB hydropower plant test,“ pocketnavigation.de, 19
- [9] March 2016. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.pocketnavigation.de/2016/03/blue-freedom-usb-wasserkraftwerk-test/>. [Kasutatud April 2024].
- [6] D. News, „Energy to go: the world’s smallest hydropower plant | Eco-at-Africa,“
- [0] Youtube, 9 March 2017. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=iNuZaaJZd3w>. [Kasutatud April 2024].
- [6] OpenSourceLowTech, „The \$50 Water Turbine -Build Tutorial v1.0,“ Youtube, 22
- [1] November 2022. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=hJbiSY2CijE>. [Kasutatud April 2024].
- [6] Adwenpa News, „Ghana’s dying streams: A call for urgent action,“ Adwenpa
- [2] News, 14 February 2024. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.adwenpanews.com/2024/02/ghanas-dying-streams-call-for-urgent.html>. [Kasutatud April 2024].
- [6] „Geothermal Basics,“ energy.gov, [Vörgumaterjal]. Available:
- [3] <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-basics>. [Kasutatud May 2024].
- [6] K. Treece, „What Is Geothermal Energy? Definition, Examples, and How It
- [4] Works,“ Treehugger, 11 February 2022. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.treehugger.com/what-is-geothermal-energy-5105305>. [Kasutatud April 2024].
- [6] A. Richter, „Video: Introducing the small-scale geothermal solution of Climeon,“
- [5] Think Geoenergy, 27 March 2018. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.thinkgeoenergy.com/video-introducing-the-small-scale-geothermal-solution-of-climeon/>. [Kasutatud April 2024].
- [6] A. Richter, „Global map to identify areas suitable for geothermal power plants,“
- [6] Think Geoenergy, 3 June 2020. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.thinkgeoenergy.com/global-map-to-identify-areas-suitable-for-geothermal-power-plants/>. [Kasutatud April 2024].
- [6] „Geothermal energy,“ Energy Education, [Vörgumaterjal]. Available:
- [7] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Geothermal_energy. [Kasutatud April 2024].
- [6] GreatScott!, „Make your own hand-cranked Emergency Powerbank,“ Youtube, 25
- [8] November 2018. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=3fpsInXqo1E>. [Kasutatud April 2024].
- [6] „Could we make a hand crank generator large enough to power a whole house with
- [9] battery backup like a wind turbine or solar panels?,“ Quora, [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.quora.com/Could-we-make-a-hand-crank-generator-large->

- enough-to-power-a-whole-house-with-battery-backup-like-a-wind-turbine-or-solar-panels. [Kasutatud April 2024].
- [7 City Labs, „Nuclear Battery Technology: What Are Atomic Batteries?“, City Labs, 0] [Võrgumaterjal]. Available: <https://citylabs.net/nuclear-batteries/>. [Kasutatud May 2024].
- [7 Creative Design Network, „Thermocouples“, Creative Design Network , 1] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cdn-inc.com/thermocouples/>. [Kasutatud May 2024].
- [7 K. Hughes, „Nuclear power in your pocket? 50-year battery innovation“, CAS, 11 2] March 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cas.org/resources/cas-insights/sustainability/nuclear-power-your-pocket-50-year-battery-innovation>. [Kasutatud May 2024].
- [7 „Nuclear diamond batteries“, 26 July 2023. [Võrgumaterjal]. Available: 3] https://scienceforsustainability.org/wiki/Nuclear_diamond_batteries. [Kasutatud May 2024].
- [7 City Labs, „Products: Low-to-Medium Wattage Tritium Batteries & Betavoltaic 4] Batteries“, City Labs, [Võrgumaterjal]. Available: <https://citylabs.net/products/>. [Kasutatud May 2024].
- [7 V. Atkinson, „Tiny Chinese-made BV100 radioactive battery can last 50 years - 5] and it's coming in 2025“, Live Science, 24 January 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.livescience.com/technology/engineering/betavolt-bv100-radioactive-battery-can-last-50-years-coming-in-2025>. [Kasutatud May 2024].
- [7 „What is a Nuclear Microreactor?“, energy.gov, 26 February 2021. 6] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energy.gov/ne/articles/what-nuclear-microreactor>. [Kasutatud May 2024].
- [7 „Microreactors“, Idaho National Laboratory, [Võrgumaterjal]. Available: 7] <https://inl.gov/trending-topics/microreactors/>. [Kasutatud May 2024].
- [7 NANO Nuclear Energy Inc, „ANO Nuclear Energy Inc. Announces Designation 8] for Its 1st Generation Proprietary Portable and On-Demand Capable micro-SMR Nuclear Reactor as “ZEUS”,“ NANO Nuclear Energy Inc, 1 September 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://nanonuclearenergy.com/nano-nuclear-energy-inc-announces-designation-for-its-1st-generation-proprietary-portable-and-on-demand-capable-micro-smr-nuclear-reactor-as-zeus/>. [Kasutatud May 2024].
- [7 K. Houser, „These “microreactors” could be the future of nuclear power“, 18 9] February 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.freethink.com/energy/microreactors>. [Kasutatud May 2024].
- [8 „Kilopower“, Beyond NERVA, [Võrgumaterjal]. Available: 0] <https://beyondnerva.com/kilopower/>. [Kasutatud May 2024].
- [8 Oomi pood, „Päikesepatarei 0.5V/800mA SOL2N“, Oomi pood, [Võrgumaterjal]. 1] Available: https://www.oomipood.ee/product/sol2n_paikesepatarei_0_5v_800ma_sol2n. [Kasutatud May 2024].
- [8 Oomi pood, „Päikesepatarei 1V/200mA SOL3N“, Oomi pood, [Võrgumaterjal]. 2] Available: https://www.oomipood.ee/product/sol3n_paikesepatarei_1v_200ma_sol3n. [Kasutatud May 2024].

- [8 Oomi pood, „Päikesepatarei 2V/200mA SOL4N,“ Oomi pood, [Võrgumaterjal].
3] Available: https://www.oomipood.ee/product/sol4n_paikesepatarei_2v_200ma_sol4n. [Kasutatud May 2024].
- [8 G. C. Catherine Lane, „How to wire solar panels in series vs. parallel,“
4] SolarReviews, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solarreviews.com/blog/do-you-wire-solar-panels-series-or-parallel>. [Kasutatud May 2024].
- [8 Oomi pood, „Päikesepaneel polükristall 20W 18.2V 1.18A 435*356*25mm,“ Oomi
5] pood, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.oomipood.ee/product/cl_sm20p_paikesepaneel_polukristall_20w_18_2v_1_18a_435_356_25mm. [Kasutatud May 2024].
- [8 L. Pop, „Mixing solar panels – Dos and Don’ts,“ SOLAR POWER SECRETS ,
6] [Võrgumaterjal]. Available: <https://solarpanelsvenue.com/mixing-solar-panels/>. [Kasutatud May 2024].
- [8 Lemona Electronics, „Controller SOL PWM 10A 2xUSB,“ Lemona Electronics,
7] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lemona.ee/controller-sol-pwm-10a-2xusb.html>. [Kasutatud May 2024].
- [8 Amazon, „3PCS DC-DC 12V to 5V 5A Step-Down Converter, USB Buck
8] Converter DC 9V-36V Step Down to USB 5V Transformer Dual Output Power Supply Module for Phone Fast Charging,“ Amazon, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amazon.com/Step-Down-Converter-9V-36V-Transformer-Charging/dp/B09SLPJ2MN>. [Kasutatud May 2024].
- [8 kaup24, „SunFlower FS-20W kaasaskantav veekindel päikesepaneel USB-
9] laadimisega,“ kaup24, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kaup24.ee/et/sanitaartehnika-remont-kute/valgustus-ja-elektriseadmed/paikesenergiajaamade-osad/sunflower-fs-20w-kaasaskantav-veekindel-paikesepaneel-usb?id=11410926&feat=search&keyword=paikesepaneel>. [Kasutatud May 2024].
- [9 Agroshop, „Päikesepaneel 80W polükristall,“ Agroshop, [Võrgumaterjal].
0] Available: <https://agroshop.ee/paikesepaneelid/3475-paikesepaneel-80w-poluekristall.html>. [Kasutatud May 2024].
- [9 Lemona Electronics, „Controller SOL PWM 20A 2xUSB,“ Lemona Electronics,
1] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lemona.ee/controller-sol-pwm-20a-2xusb.html>. [Kasutatud May 2024].
- [9 Amazon, „4-USB Port A5268 Step Down Voltage Regulator Buck Converter
2] Power Transformer Supply DC 12V to 5V for USB Hub Phone Auto Car,“ Amazon, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amazon.com/Voltage-Regulator-Converter-Transformer-Supply/dp/B092C88J9X>. [Kasutatud May 2024].

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Sander Kommel

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „MATIK arvuti jaoks taastuenergia allikate uurimine ja rakendamine“, mille juhendaja on Edmund Laugasson
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

12.05.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.