

Lauri Ulm

**Eksperthinnang Kräsuli saare elektrienergia vajaduse katmiseks vajaliku
tuuliku parameetrite kohta**



Lauri Ulm

Tallinn 2024

SISUKORD

1. Lähteülesanne	3
1.1. Situatsiooni kirjeldus	4
1.2. Hoonete võimalik elektrienergia tarbimine	5
1.3. Transpordivahendite võimalik elektrienergia tarbimine.....	6
1.4. Elektrienergia tootmine	7
1.5. Ruhnu saare kogemus	9
1.6. Kesselaiu kogemus	9
2. Kokkuvõte	10
LISAD	11
Lisa 1. Koormusgraafiku sisend	11
Lisa 2. 30 kW tuuliku võimsuskõver.....	11
Lisa 3. Lauri Ulm CV (inglise keeles).....	12

1. LÄHTEÜLESANNE

Viimsi vallavalitusele (edaspidi VV) esitati projekteerimistingimuste taotlus, mille kohaselt on taotleja soov püstitada Kräsuli saarele, Pendikse maaüksusele ranna- ja kaldakaitsevööndisse tuulegeneraator võimsusega 900 kW, mille kõrgus maapinnast on 75 m ja rootori diameeter 58 m.

Tulenevalt looduskaitseaduse § 38 lg 4 p 9 on ranna ja kaldakaitsevööndisse lubatud rajada erandina tehnovõrke ja -rajatise ainult olemasolevate ehitiste tarbeks. Olemasolevate ehitistena tuleb arvestada ehitistega, mis on saare peal juba olemas ning lisaks ka ajalooliste vundamentidega, mille peale on võimalik taastada vanad hooned eelnevas mahus.

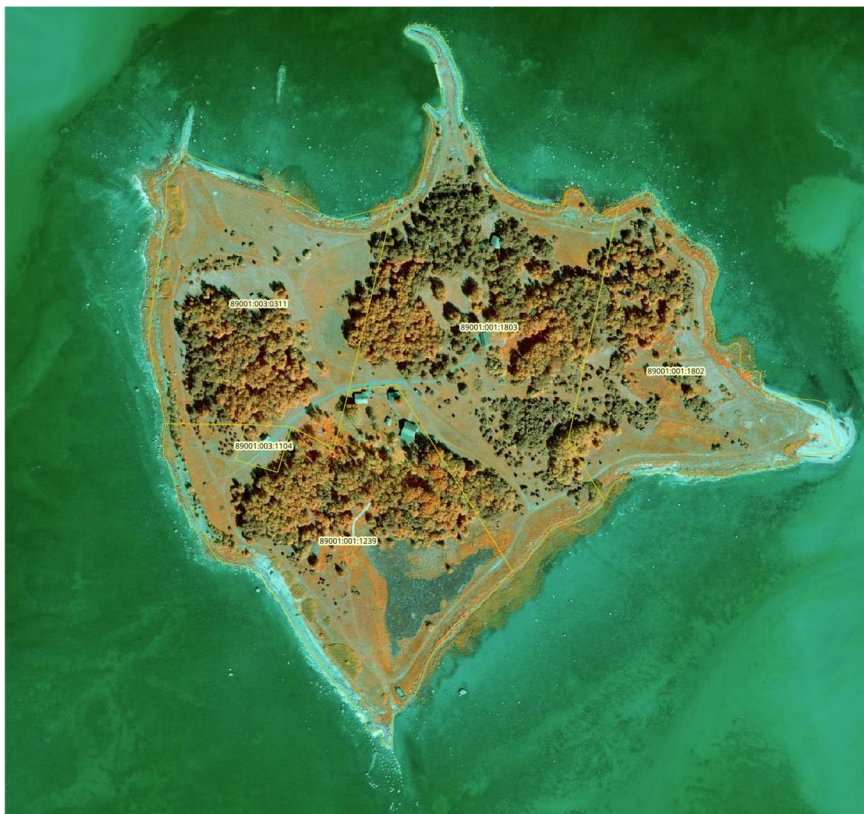
Viimsi vallavalitusel on otsuse tegemiseks vaja saada eksperthinnang, kus on välja toodud:

- milline on Viimsi vallas, Rohuneeme külas asuva Kräsuli saare kogu saare tarbeks vajaminev elektrienergia kogus, arvestades saarel asuvaid ehitisi ja nende elektrienergia tarbimist ning olemasolevaid ajalooliste hoonete vundamente ning nendele taastavate hoonete hinnangulist elektrienergia tarbimisvajadust.
- analüüs ja andmed selle kohta, milline peab olema Kräsuli saarele püstitatava tuulegeneraatori parameetrid - kõrgus, võimsus, rootori ja labade diameeter jms, et tagada tuuleenergiast toodetud elektriga kogu saare elektrienergia vajadus arvestades tuuliku asukohta, olemasolevaid ehitisi ja võimalikke taastatavaid hooneid.

1.1. Situatsiooni kirjeldus

Kräsuli saarel on 3 elamut, 2 abihoonet, kasvuhoone ja sadamarajatis (muul, sadamakai). Lisaks on olemas 6 abihoone vundamendid, kuhu on võimalik hooned taastada. Vastavalt VV esitatud andmetele oli 2023. aastal **kogu Kräsuli saare elektrienergia tarbimine 4 009 kWh, mis jaotub ühtlaselt kuude vahel**. Vastavalt VV esitatud informatsioonile on Kräsuli saare hooned plaanis tulevikus üle viia elektriküttele ning samuti võtta kasutusele elektrienergial töötavaid aluseid.

Kräsuli saar on ühendatud jaotusvõrguga Imatra AS elektrivõrgu kaudu ehk saarel on olemas püsiv ühendus elektrivõrguga. On olemas informatsioon peakaitsete kohta Kräsuli saarel, sh võimalike abihoonete peakaitsete osas. Üldjuhul on kinnistul üks liitumispunkt¹ ehk peakaitse hoonete kaupa ei oma tähendust. Peakaitse määrab milline on võimalik maksimaalne tipukoormus ehk võimalik elektriseadmete üheaegne kasutus ning kui peakaitse pole väga väike (20A või väiksem eramu puhul), siis üldjuhul ei oma peakaitse mõju tarbimisele (tarbijal on iga ajahetk võimalik tööle panna kõik seadmed, mis soovib). Sama loogika kehtib näiteks laadimistaristule, ehk laadimisvõimsus määrab kui kiiresti näiteks elektriauto või ka elektriga töötav veesõiduki aku täis laetakse, aga ei suurenda elektrienergia tarbimist.



Joonis 1. Kräsuli saar

Allikas: Maa-amet, 2024

¹ Imatra Elekter AS liitumistingimused p 4.9 https://imatraelekter.ee/media/IE-liitumistingimused_18.05.23-1.pdf

1.2. Hoonete võimalik elektrienergia tarbimine

Eksperthinnangu eesmärk on leida milline võiks olla sobiva elektrituuliku parameetrid kogu Kräsuli saare elektrienergia tarbimisvajaduse rahuldamiseks. Kuna antud ülesande lahendamiseks praeguses etapis, sh tuuliku valimiseks tuleb teha väga palju üldistusi, siis on mõistlik hinnata võimaliku elektritarbimist samuti väga üldisel tasemel.

Kräsuli saare eluhoonete võimaliku elektrienergia tarbimise arvutamiseks arvestame eeldusega, et eluhoonete aastane energiavajadus on 250 kWh/(m²a), mis vastab energiaklassile E. Tallinna Tehnikaülikooli koostatud aruande „Hoonete arvutuslike energiamärgiste vastavus tegelikule tarbimisele“ lõpparuande² järgi vastab 76% olemasolevatest hoonetest E või paremale energiatõhususeklassile. Antud arvutustes võetakse aluseks ehitusalune pind, mis on ca 10-30% suurem võrreldes köetava pinnaga, mis on aluseks energiakasutuse määramisel. Seega tinglikult võib antud juhul ehitusaluse pinna järgi leitud energiavajaduse lugeda energiatõhususeklassiks F (Tallinna Tehnikaülikooli töö alusel vastab vähemalt 94% hoonetest energiatõhususeklassile F). Antud juhul on eeldatud otse elektrikütet ehk kui kasutusele võtta soojuspumbad, väheneks elektrienergia vajadus oluliselt. Kokkuvõttes antud meetodika alusel leitud eluhoonete võimalik elektrienergia tarbimine pigem ülehindab hoonete reaalselt elektrienergia vajadust.

Abihoonete (näiteks kuur, garaaž, saun jm) on eeldatud 10% energiavajadust võrreldes eluhoonega ehk 25 kWh/(m²a) ehitusalusest pinnast, kuna üldjuhul on hooned kütteta ja ajutise elektrienergia vajadusega (valgustus, saun). Väikesadamal hooned puuduvad, kuid arvestatud on võimalusega, et paadid hakkavad kasutama kaldaelektrit ning alale paigutatakse valgustus. Kasvuhoonele on rakendatud sarnaselt hoonega 250 kWh/(m²a) kordajat arvestades võimalusega, et soovitakse hoida kõrgemat temperatuuri aastaläbi. **Saadud tulemused on toodud Tabelis 1, mille alusel Kräsuli saare hoonete aastane elektrienergia vajadus võiks olla kuni 61 992 kWh ehk ca 62 MWh, mis on üle 15 korra rohkem kui praegune kogu elektrienergia tarbimine saarel.**

2

<https://kredex.ee/sites/default/files/2022-08/Hoonete%20arvutuslike%20energiama%CC%88rgiste%20vastavus%20tegelikule%20tarbimisele%20uuring.pdf>

Tabel 1. Hoonete võimalik teoreetiline elektrienergia tarbimine

Asukoht	Ehitis	Ehitusalune pind	Elektrienergia tarbimine kWh/(m ² *a)	Aastatarbimine, kWh
Kaasiku	Üksikelamu	70	250	17 500
Kaasiku	Garaaž	137,1	25	3 428
Kaasiku	Abihoone	14,4	25	360
Kaasiku	Abihoone	60,7	25	1 518
Pendikse	Abihoone - vundament	74	25	1 850
Pendikse	Abihoone - vundament	67	25	1 675
Nõmme	Abihoone - vundament	54	25	1 350
Männiku	Väikesadam	3552	1	3 552
Männiku	Elamu	42,3	250	10 575
Männiku	Garaaž	62,4	25	1 560
Männiku	Abihoone - vundament	70	25	1 750
Männiku	Abihoone - vundament	94	25	2 350
Männiku	Kasvuhoone	13,6	250	3 400
Männiku	Abihoone - vundament	101	25	2 525
Nõmmemaja	Elamu	34,4	250	8 600
			Kokku, kWh	61 992

1.3. Transpordivahendite võimalik elektrienergia tarbimine

VV esitatud info alusel on Kräsuli saare elanikel soov saare hoolduseks kasutatav tehnika (UTV, traktor, niiduk) viia üle roheenergiale. Lisaks soovitakse kasutusele võtta mandril käimiseks elektrienergial töötavad alused. Saare elanike käsutuses on Alunaut AC-14 (2tk) alust, Buster-S, Hivus-10 ja merelaev Laine. Kräsuli saarelt mandrile on ca 3 km.

Alunaut AC-14 või Buster-S bensiinimootoriga alustel on võimalik kasutusele võtta elektrimootorid. Näiteks Torqeedo Cruise 12.0 RS TorqLink³ võiks pakkuda alternatiivi 25 HP võimsusega bensiinimootorile. Antud mootor suudab töötada ca 12 kW võimsusega, mis võiks tagada vähemalt 20 km/h kiiruse ehk 3 km läbimiseks kulub ca 10 minutit (1/6 tundi). Seega ühe 3 km sõidu energiakulu on $12 * 1/6 = 2$ kWh. Kui päevas tehakse 2 sõitu mandrile (edasi-tagasi, kokku 4 sõitu) ning seda 200 päeva jooksul aastas, siis oleks elektrienergia tarbimine aastas $2*2*200 = 1\,600$ kWh.

Lisaks on saarel kasutusel hõljuk Hivus-10⁴, mille tavapärane kiirus on 50 km/h ning antud kiirusel kütusekulu ca 20 l/h. Seega Hivus-10 kulub mandrile sõitmiseks ca 4 minutit, mille jooksul kulub

³ <https://www.torqeedo.com/en/products/outboards/cruise/cruise-12.0-rs-torqlink/1280-00.html>

⁴ <http://www.baikalex.com/transportation/hivus.html>

ca 1,5 l kütust. Diisli energiatihedus on ca 10 kWh/l ning diiselmootori efektiivsus on ca 35% ehk energiakulu on ca 5,25 kWh. Kuna elektrimootori efektiivsus on ca 90%, siis on ühe 3 km otsa elektrienergia vajadus ca 6 kWh. Eeldusel, et hõljukiga tehakse aastas 2 sõitu mandrile (edasi-tagasi, kokku 4 sõitu) ning seda 100 päeva jooksul aastas, siis oleks elektrienergia tarbimine aastas $6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 100 = 2\,400$ kWh.

Kasutusele on võimalik võtta elektriline murutraktor, näiteks Cub Cadet XT2 ES107, millel on 60 Ah 56 V aku ($60 \cdot 56 = 3,36$ kWh) ning tööaeg 90 minutit, peale mida on vajalik 4 tundi laadida. Seega oleks teoreetiliselt võimalik ühes päevas muru niita kuni 3 tundi, milleks kuluks elektrienergiat (arvestades laadimise efektiivsusega 90%) umbes 7,5 kWh. Antud ajaga saab näitena toodud murutraktoriga niita ca 2,4 hektarit, mis võiks olla piisav terve saare vajaduse täitmiseks. Arvestades niitmisega iga nädal 6 kuu jooksul oleks kordade arv 24 ehk elektrienergia kulu 180 kWh.

Kokkuvõttes on elektrisõidukite, töövahendite, niidukite jne elektrienergia kulu suhteliselt marginaalne. Eeldades kõikide transpordivahendite ja töövahendite elektrienergia tarbimiseks kuni 5 000 kWh/aastas peaks olema see piisav Kräsuli saare vajadusteks.

1.4. Elektrienergia tootmine

Mikrovõrkude arendamiseks ja optimaalse lahenduse arvutamiseks on levinud kasutada programmi Homer Pro⁵, mille abil on võimalik luua stsenaariume ja leida optimaalseim lahendus. Programm sobib nii võrgust eraldatud mikrovõrkude, kui ka võrguga ühendatud võrkude kalkuleerimiseks.

Homer Pro sisendiks on määratud aastane elektrienergia tarbimine 67 MWh, arvestades „Commercial“ tüüppoormusgraafikut.

Tuulekiiruse jaotuskõvera leidmiseks Kräsuli saarel kasutab Homer Pro NASA POWER tuulekiiruste andmebaasi, mis annab 30 aasta ajaloolise tuulekiiruse statistika. Kräsuli saare aasta keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel maapinnast on andmebaasi alusel 7,02 m/s, mis senise kogemuse põhjal võiks olla korrektne. Konservatiivsuse lisamiseks arvutustes vähendati aastane keskmine tuulekiirus 6,0 m/s peale.

Sobivaima tuuliku tüübi valimiseks analüüsiti Tabelis 2 toodud tuulikute tüüpe.

⁵ <https://homerenergy.com/>

Tabel 2. Analüüsitud tuulikute tüübid

Nr	Tuuliku tüüp	Võimsus, kW	Torni kõrgus	Laba diameeter
1	Tuge 10	10	18	10
2	Eocycle EO25	30	23	16
3	Tuge 50	50	36	16
4	Northern Power NPS100C-21	100	29	21
5	EWT DW 61	900	75	61

Analüüsitud tuulikutest on stsenaarium 5 sarnane tuuliku tüübile, mida VV põhjal on Kräsuli saare elanikel soov püstitada.

Tabel 3. Erinevate tuulikutega tootmise tulemused

Nr	Tuuliku tüüp	Aastane toodang, kWh	Aastane toodang tarbimisest	Võrgust ostmise vajadus
1	Tuge 10	34 920	52%	48%
2	Eocycle EO25 (30 kW)	115 614	173%	13%
3	Tuge 50	175 705	262%	8%
4	Northern Power NPS100C-21	291 293	435%	4%
5	EWT DW 61	3 277 115	4892%	0%

Saadud tulemused on toodud Tabelis 3. Analüüsi põhjal selgub, et stsenaarium 5 ehk 900 kW tuulik toodaks aastas 3 277 MWh elektrienergiat, mis on ca 49 korda rohkem kui teoreetiline aastane Kräsuli saare tarbimisvajadus (67 MWh). Võrreldes praeguse aastase elektritarbimisega (4 MWh) on vahe 820 kordne. Kuna tuul on varieeruv tootmisallikas, siis ei saa eeldada, et koguaeg on elektrienergia tuulikust olemas. Hoolimata sellest arvutuslikult 900 kW tuuliku püstitamisel suudetakse 99,9% ajast täita Kräsuli saare tarbimisvajadust, kuna tuulik ise on niivõrd oluliselt üledimensioneeritud, ning saare vajaduse täitmiseks on vajalik väga väikene tuulekiirus. Püstitades 10 kW tuuliku oleks aastane elektrienergia toodang ca 35 MWh, mis on ca 52% eelduslikust aastasest võimalikust tarbimisest. 30 kW tuuliku korral on eelduslik toodang ca 115 MWh, mis on 73% rohkem kui Kräsuli saare enda vajadus. 30 kW tuuliku püstitamisel tekib vajadus umbes 13% elektrienergiast osta võrgust, kuna tuult koguaeg ei ole. Selleks, et võrgust tarbimine viia ca 1% juurde tuleks täiendavalt paigaldada ca 250 kWh akupank või samas suurusjärgus PV park. Võimalik on ka nende kombinatsioon. Ülejäänud tuulikud 50 kW ja 100 kW toodavad juba kordades rohkem kui Kräsuli saare enda vajadus. Kuna Kräsuli saar ei ole võrgust lahti ühendatud, siis puudub otsene vajadus ja otstarbekus tagada, et võrgust tarbimist ei toimuks.

Kokkuvõttes Kräsuli saare potentsiaalse aastase elektrienergia tarbimise katmiseks tuulikuga piisab ca 20-30 kW tuulikust, mille torni kõrgus on 20-25 m ja laba diameeter ca 16 m. Kui eesmärk on võrgust võimalikult vähe elektrienergiat tarbida, siis tuleks lisada ca 200-250 kWh akupank, PV lahendus või nende kombinatsioon.

1.5. Ruhnu saare kogemus

Ruhnu saarel elab 166 inimest ning pindala on 1 190 hektarit (Kräsuli saare pindala on 16,9 hektarit). Ajalooliselt toodeti Ruhnu saarel elektrienergiat diisलगeneraatoriga ning mõningal määral tuulikutega, kuna saar ei ole ühendatud elektrivõrguga. Alates 2018. aastast kasutab saar moodsaid taastuvenergia lahendusi, mis koosneb TUGE 50 elektrituulikust (50 kW), 160 kW päikesepaneelidest, 222 kWh akupangast ja biodiislil töötavast diisलगeneraatorist. Ruhnu aastane elektrienergia tarbimine on ca 500-600 MWh ning taastuvenergia kohapeal tootmine annab sellest umbes poole.

1.6. Kesselaiu kogemus

Kesselaid asub mandri ja Muhu saare vahel ning on ca 175 hektarilise pindalaga. Kesselaiu elektrivarustust on lahendatud etappide kaupa ning algas juba 2012 aastal. Esimeses etapis rajati Kesselaiule kaks bensiinigeneraatorit, päikesepaneelid, väiketuulik ja akud. Osad süsteemid ehitati käepärastest vahenditest (autoakudest akupank) ja on osutunud mitte kõige töökindlamaks. Praeguseks on süsteemid kaasajastatud. Kesselaiul on kaks hoonete gruppi, mis mõlemad on autonoomsed üksteisest.

Praeguseks on Kesselaiule ehitatud:

- 2x5 kW tuulegeneraator;
- 16 kW + 3,3 kW päikesepaneelid;
- 2x5,5 kW bensiinigeneraator;
- 100 kWh + 72 kWh akupank.

Kesselaiu aastane elektrienergia tarbimine ei ole teada.

2. KOKKUVÕTE

Viimsi vallavalitsusele esitati taotlus püstitada Kräsuli saarele 900 kW võimsusega tuulegeneraator, mille kõrgus on 75 m ja rootori diameeter 58 m. Looduskaitseaduse kohaselt on ranna- ja kaldakaitsevööndisse tehnorajatiste rajamine lubatud ainult olemasolevate ehitiste tarbeks. Seetõttu oli vaja hinnata Kräsuli saare elektrienergia vajadust ja määrata milline võiks olla sobivate parameetritega tuulegeneraator.

Elektritarbimise prognoos:

Eluhoonete aastane energiavajadus on hinnanguliselt 250 kWh/m², mis teeb hoonete võimalikuks aastaseks elektritarbimiseks kuni **62 MWh**. Transpordivahendite (elektrilised paadid, murutraktor) aastane tarbimine oleks umbes **5 MWh**. Seega võiks saare kogutarbimine olla umbes **67 MWh** aastas.

Tuuleenergia tootmine:

Analüüsi erinevaid tuulikuid (10 kW kuni 900 kW):

- **10 kW tuulik** kataks 52% saare tarbimisest.
- **30 kW tuulik** toodaks 173% vajalikust energiast.
- **900 kW tuulik** toodaks üle 3 277 MWh, mis on ca 49 korda suurem kui saare teoreetiline tuleviku vajadus. Võrreldes praeguse vajadusega on vahe 820 kordne.

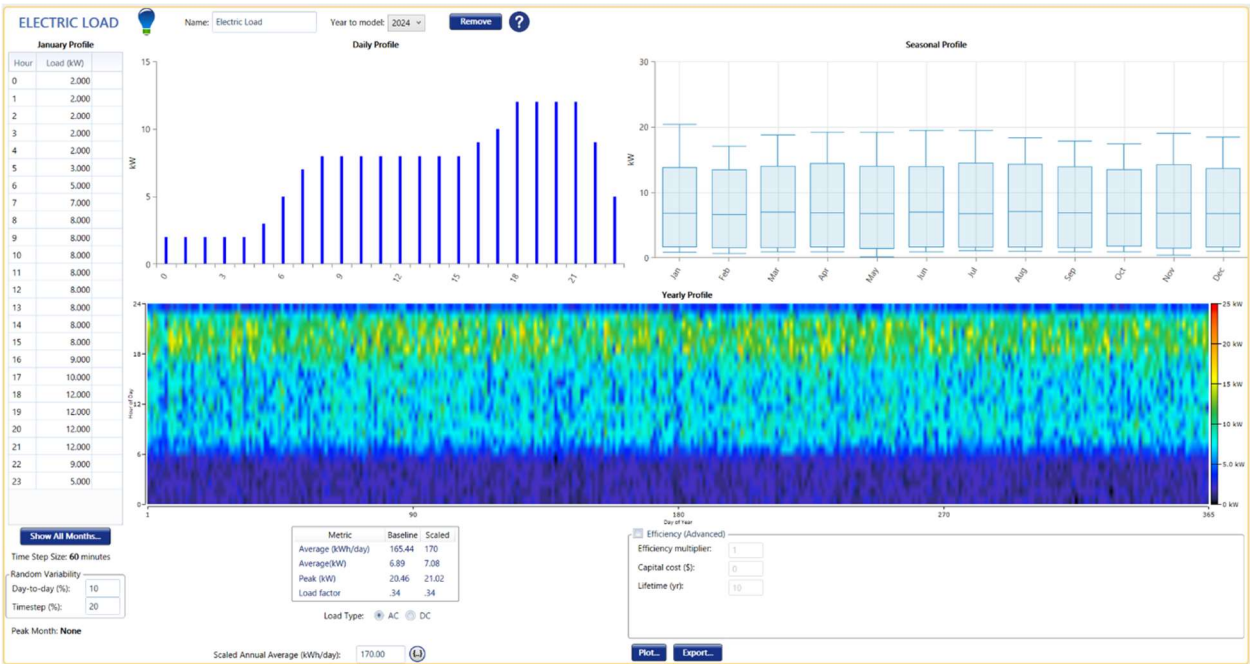
Optimaalne oleks **20-30 kW tuulik** kõrgusega 20-25 m ja rootori diameetriga umbes 16 m. Võrgust sõltuvuse vähendamiseks võiks lisada **250 kWh akupanga** või päikesepaneelid.

Järeldus:

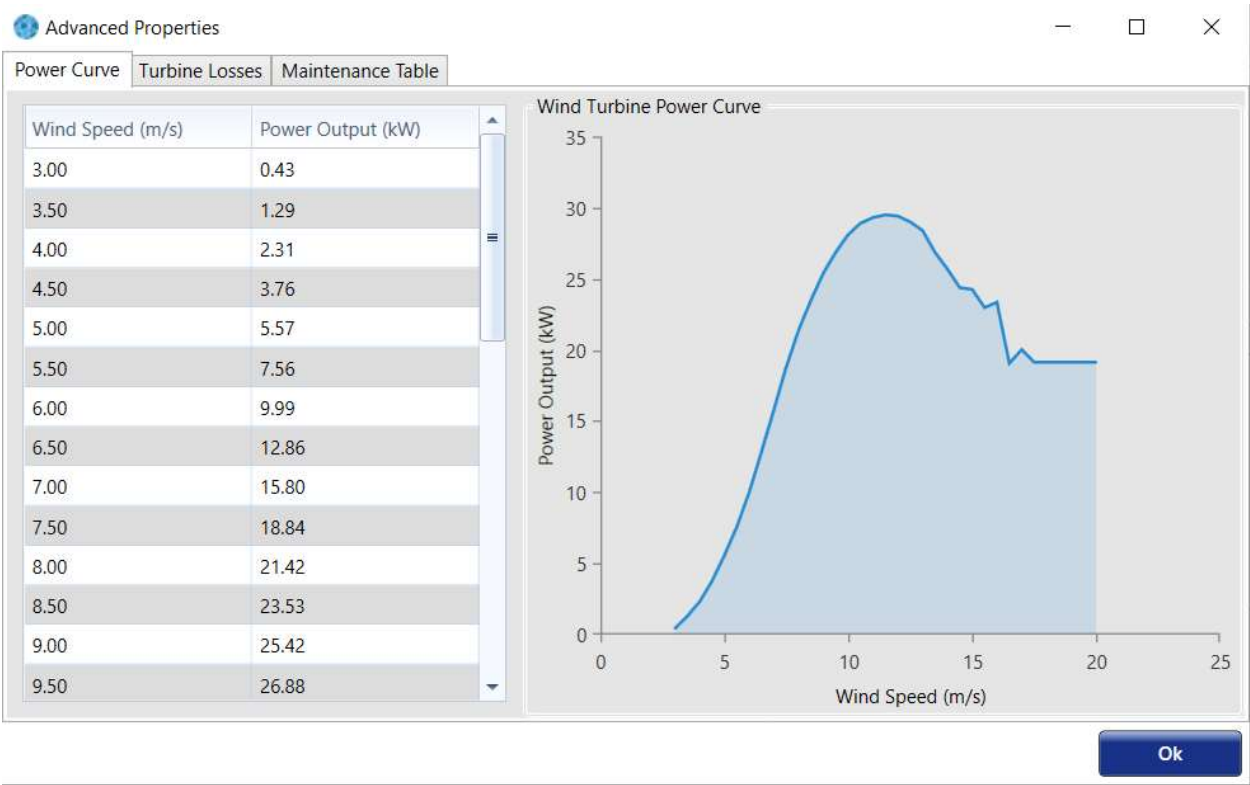
Kräsuli saare aastase elektrivajaduse katmiseks piisab **20-30 kW tuulikust** koos võimaliku energia salvestusega. **900 kW tuuliku** püstitamine oleks ülemäärane, tootes oluliselt rohkem energiat kui saar vajab. Soovitav on kaaluda väiksemat tuulikut koos akupanga või päikesepaneelidega, et tagada saare energiavajadus ja vähendada võrgust tarbimist.

LISAD

Lisa 1. Koormusgraafiku sisend



Lisa 2. 30 kW tuuliku võimsuskõver



Lauri Ulm - CV

Tallinn, Estonia

E-mail: Lauri.Ulm@gmail.com

Mob nr: +372 52 09 295

LinkedIn (<https://www.linkedin.com/in/lauri-ulm/>)



Professional profile

Optimistic, outstanding, and ambitious renewable development team leader with over 12 years of experience in renewables. Enjoys execution of large-scale projects out of the comfort zone. Experienced in M&A, project development, procurement, contracts etc. which has resulted in multiple renewable projects which are now under construction. Has been recognized by the employer with a performer of a year acknowledgement. Believes in lifelong education which has resulted in two master's degrees, one in technical field – Electrical Power Engineering, and other in business – MBA. Currently pursuing PhD degree from TalTech University. To develop variety of competences has passed multiple training and personal development programs and co-operated with mentor.

Work experience

Chief Technology Officer, Rail Baltic Estonia

11.2024 –

Responsible for leading the team who is responsible for assuring the execution of the project, compliance of the project, procurements etc.

Head of Wind Developments, Enefit Green AS

01.2021 – 10.2024

Responsible for leading the team who is responsible for all the wind developments of Enefit Green AS. In 2021 and in the beginning of 2022 me and my team managed to make investment decisions for 2 wind parks in Lithuania, 1 in Estonia and 1 in Finland with total capacity over 200 MW.

Head of Onshore Wind Developments, Eesti Energia AS

01.2017 – 12.2020

Responsible for wind development team from Estonia, Latvia and Lithuania. During that period Tolpanvaara project was acquired and acquisition of Purtse project started.

Senior Project Manager, Eesti Energia AS

12.2015 -12.2016

The focus was set to lead a team to execute the largest onshore project in Baltic countries on that time – Tootsi. Unfortunately, the process was stopped when the project was stuck in court appeals.

Head of Analysis and Project management department Renewable business unit, Eesti Energia AS

12.2014 -12.2015

Leading the development team to find new opportunities for construction of Co-generation plants, hydro plants and wind parks.

Renewable Energy Development Manager, Eesti Energia AS

07.2012 -11.2014

Development of wind parks, for example Tootsi and Liivi Bay offshore wind park.

Network Analyst, Elektrilevi OÜ

09.2010 -07.2012

Working out principles of technological solutions. Also determining where to invest, how to benefit most taken into account the constraints and what does it affect and mean for the company (goals).

Electricity Network Designer, Eesti Energia Võrguehitus AS

06.2007 -09.2010

Designing network (finding the optimum solution, making calculation, drawing it to Autocad), negotiating with landowners, interacting with local governments to get permit for construction.

Education

Doctor of Philosophy (PhD), Tallinn University of Technology

2013 -

Doctoral studies related to wind parks, integration to the power grid, power forecasting and forecasting error.

Strategic management (Master) - Aalto University School of Science Exchange studies for 1 semester	2012 - 2012
Master of Business Administration - MBA (Masters' degree). Tallinn University of Technology <i>Cum Laude</i>	2010 - 2013
Master in Electrical Power Engineering. Tallinn University of Technology	2008 - 2010
Bachelor in Electrical Power Engineering. Tallinn University of Technology	2005 - 2008