



Ottomar William Grün

VÄIKETUULIKUD EESTIS

LÕPUTÖÖ

Arhitektuuri ja keskkonnatehnika teaduskond
Tehnoökoloogia eriala

Tallinn 2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. VÄIKETUULIKUTEST EESTIS.....	6
1.1. Soovitused väiketuulikute paigaldamiseks.....	6
1.2. Asukoha valik Eestis	9
1.3. Turbulents.....	11
1.4. Kvaliteet.....	12
1.5. Maksumus.....	12
1.6. Väiketuulikute ühendamine.....	13
1.6.1. Autonoomne energiasüsteem ehk võrguühenduseeta energiasüsteem.....	13
1.6.2. Võrguga koostoimiv süsteem ehk võrguühendusega energiasüsteem	14
2. VÄIKETUULIKUTE EHITUS	16
2.1. Vertikaalse teljega väiketuulikud	17
2.1.1. Vertikaalse teljega väiketuulikute rootori tüübid	17
2.2. Horisontaalse teljega väiketuulikud.....	18
2.2.1. Horisontaalse teljega väiketuulikute rootori tüübid	18
2.3. Väiketuulikute mastide tüübid.....	19
2.4. Horisontaal- ja vertikaalteljega väiketuulikute võrdlus.....	21
3. VÄIKETUULIKUTE MÕJU.....	23
3.1. Müra.....	23
3.2. Varjud	24
3.3. Mõjud lindudele ja nahkhiirtele.....	24
KOKKUVÕTE.....	26
SUMMARY	28
VIIDATUD ALLIKAD.....	30
Lisa 1. Keskmised tuulekiirused Eestis.....	32
Lisa 2. Küsimustik.....	33

SISSEJUHATUS

Tuulikud ja tuulepargid, ühed mitmetest rohelise energia lipulaevadest, on tekitanud oma alguse ajast palju kõmu. Nende üle on olnud mitmeid arutelusid - alates tuulegeneraatorite efektiivsusest lõpetades mõjudega. Enim on meediakajastust saanud aga tuulikute mõju nii loomadele ja lindudele kui ka nende poolt tekitatavale mürale. Tuulikute ning tuuleparkide tekitatud müra on paljude arvates suureks miinuseks, kuna see häirib nende lähedal elavate inimeste elu.

Väiketuulikud on Eestis üsna uudne asi, neid igale poole veel püstitatud ei ole. Paraku ei ole võimalik neid ka igale poole püstitada, kuna vajalikud on teatud tuulekiirused, et tuulikust ka kasu oleks. See piirab omakorda väiketuulikute kasutajate sihtgruppi.

Väiketuulikuid on Eestis hetkeseisuga vähe. Põhilisi põhjusi on selleks kaks - sobiva tuulekiirusega piirkondi on Eestis üsna vähe ning tuulikute võrdlemisi kõrge maksumus. Väiketuulikud tegelikkuses maksavad küll palju, kuid nad tasuvad end õige paigutusega ära suhteliselt kiiresti. Väiketuulikud toodavad palju energiat, tihtipeale rohkem kui on elupaiga energiavajadus. Õnneks on võimalik väiketuulikute poolt toodetavat energiat salvestada akupankadesse või energia ülejääki müüa Eestis põhivõrku, mis aitab omakorda väiketuuliku soetamiseks kulunud raha kiiremini tasa teha.

Eestis on saartel ja rannikualadel palju potentsiaalseid asukohti, kuhu tuulikuid rajada. Nendel aladel on väga suurt potentsiaali muuta ka teatud Eesti piirkonnad ainult rohelist energiat tarbivateks piirkondadeks. Kui lähtuda Taastuvenergia 100 kavast, on võimalik muuta enamus Eestist või isegi terve riik ainult rohelist energiat tarbivaks, milles väiketuulikute osakaaluks on märgitud 0,3 %. Hetkel jääb aga väiketuulikute püstitamine ja kaasaitamine rohelisele energiale üleminekuks paraku tuulikute ja komponentide suure maksumuse ja arvatavasti ka inimeste vähese teadlikkuse taha. [1]

Töös käsitletakse tuulikute väiksemaid versioone ehk väiketuulikuid. Viimasest lisast leiab autori koostatud küsimustiku (Lisa 2), mille eesmärk oli teada saada inimeste teadlikkusest väiketuulikute Eestis: olemusest, mõjudest, väiketuulikute erinevatest tüüpidest ning eelistustes. Töös analüüsitakse üldlevinud väiketuulikute ehituslikke põhimõtteid, väiketuuliku

Eestis ning väiketuulikute võimalikke mõjusid. Teada saab üldisemalt väiketuulikute erinevatest ehitustest, erinevatest rootoritest, erinevatest masti tüüpidest, väiketuulikute Eestis, nende olemasolust, püstitamises ja tootlikkusest erinevate arvutuste läbi, nende kasulikkusest ning mõjudest Eestis elavale loomastikule ja linnustikule.

1. VÄIKETUULIKUTEST EESTIS

Väiketuulikud on mujal maailmas küllaltki levinud. Paljudes riikides on neid püstitatud koos suurte tuulikutega tuhandeid. Paraku ei saa aga Eesti kohta nii öelda. Mõningate allikate järgi on väiketuulikute arv Eestis 100 kuni 250, täpne andmestik nende kohta puudub. Arvestades lühikest aega vaba turumajanduse taastekkimisest seoses Eesti taasiseseisvumisega on see ka mõistetav. Aga miks siis neid siiski nii vähe on?

Põhjuseks võib olla inimeste vähene teadlikkus. Ka maailmamastaabselt on alternatiivsetest energiallikatest teavitamine, propageerimine ja nende kasutamine aktiveerunud alles viimastel aastakümnetel. Erandiks võiks näiteks pidada Madalmaid kus on tuuleenergia kasutamine on olnud traditsiooniline aastasadu. Väiketuulikud on Eestis üsna uudne trend. Elanikkonnal pole veel nende kohta piisavalt informatsiooni isegi sellest, et neid saaksid kõik elanikud vabalt püstitada ning kasutada vastavate kooskõlastuste ja vahendite olemasolul.

Seadusloomes pole peale põhiparameetrite klassifitseerimise väiketuulikud täpsemalt käsitletud. Ometi tohib neid rajada, kuid nad ei tohi olla vastuolus kehtestatud tuuleenergia kasutusele võtmise üldreeglitega.

Sellega seoses on aga probleem selles, et väiketuuliku planeerimiseks, ostmiseks ja ehitamiseks ei ole kindlaid juhtnööre ega ka kindlaid piiranguid. See omakorda tekitab palju küsimusi, sest kui väiketuulikute kohta ei ole väga palju informatsiooni, siis kuidas tuleks toimida? Tegelikuses on asi veidi lihtsam, kui see alguses paista võib. [2]

1.1. Soovitused väiketuulikute paigaldamiseks

Järgnevalt tuleb juttu soovituslikest etappides väiketuulikute püstitamise hõlbustamiseks. Olgu öeldud, et soovitustes mainitu legitiimsuse kinnitamisega ja ehitamiseks vajalike lubade poolega tegeleb kohalik omavalitsus. Väiketuuliku ehitamiseks on soovitatav läbi viia järgnevad sammud:

- Planeerimine - väiketuuliku püstitamiseks ei ole vaja planeeringut, küll on aga väiketuuliku püstitamiseks vaja taotleda planeerimistingimused. Keskkonnamõjude hindamist üldjuhul väiketuulikute püstitamiseks vajalik ei ole, välja arvatud juhul kui väiketuuliku lähedal asetseb mõni kaitseala.
- Asukoht - asukoha valikuks peab alustuseks mitmeid tuulekiiruse mõõtmisi läbi viima. Kui sobivaid tuulekiiruseid mõõtmiste käigus ei avastata, tuleks asukohta vajadusel muuta. Asukoha kirjeldus peaks asendiplaanil ja situatsiooniskeemil ära näitama paigaldatava tuuliku täpse asukoha ning ka kinnistu ja kinnistu piirid. Ideaalis tuleks lisada ka fotod planeeritavast asukohast.
- Projekt - väiketuulikute jaoks on piisav üheastmeline projekteerimine eelprojekti või põhiprojekti mahus. Projekt peab sisaldama kavandatava väiketuuliku põhilahendust. Vajalik on ka asendiplaan seletuskirjaga. Sellele vajalik dokumentatsioon (krundi plaan, omandiõiguse dokumendid, võrkude plaan, seletuskiri tehnilise kirjeldusega) lisatakse hiljem.
- Ehitusluba - selle taotlemiseks peab kohalikule omavalitsusele esmalt esitama projekti koos seletuskirjaga, asukoha kirjeldusega, planeeringuga ja kooskõlastusega (kooskõlastused määratakse detailplaneeringus ja/või projekteerimistingimustes). Oluline on omada täpset kirjeldust kavandatava väiketuuliku ehituse ja tehniliste parameetrite kohta.

Kui väiketuulik paigaldatakse naaberkinnistu lähedale on soovitatav naabreid sellest teavitada ning tuulikuga kaasnevad mõjud kohe selgeks teha. Kui seda mitte teha ja ehitada väiketuulik ilma nende kooskõlastuse ja arvamusega, võib tekkida olukord, kus naaber võib väiketuuliku omanikule kaebuse esitada või halvimal juhul kohtusse kaevata. [3]

Planeerides paigaldada väiketuulikut tuleks kindlasti arvesse võtta seda, et firmade poolt avalikkusele nähtavad tuulikute nominaalvõimsused ja aastased toodangud on enamasti kommertsparameetrid. Enne väiketuuliku soetamist on mõistlik üle arvutada tuuliku tootlikkus. „Kui puuduvad tuulekiiruste esinemise ajalised andmed aasta lõikes, on võimalik ligikaudsete arvutuste tegemiseks kasutada Rayleigh'i jaotust, mis on kaheparameetrilise Weibulli jaotuse erijuhtum. Kogu Põhja-Euroopa ulatuses on tuultele avatud kohtades Rayleigh'i jaotuse keskmiseks väärtuseks 2 (Eestis rannikualadel 2,1; mandril 1,9). Tuulegeneraatori aastase toodangu arvutamise valem, arvestades Rayleigh'i jaotust on järgnev“ [4].

$$Wh_{aastas} = \frac{1}{2}\rho * A * V^3 * C_p * 8760 * \text{Rayleigh'i jaotuse väärtus}, \quad [4]$$

- kus $\frac{1}{2}\rho$ - õhu tihedus $1,226 \text{ kg/m}^3 / 2 = 0,613$,
 A - tiiviku pindala ehk $3,14 \times (\text{tiiviku diameeter} / 2)^2$,
 V^3 - piirkonna keskmine tuule kiirus astmel kolm,
 C_p - tuulegeneraatori kasutegur (0,05-0,35 olenevalt tuulikust),
 8760 - tundide arv aastas,
 Rayleigh'i jaotuse väärtus - 2 (Põhja-Euroopa keskmine tuulte avatud kohtades),
 Wh_{aastas} - vatt-tundi aastas. Jagades vastuse 1000 saame tulemuseks kWh aastas.

Autori koostatud tabelis 1 on esitatud Ida-Virumaal paikneva talu päevane energiavajadus ning seejärel võimalikud väiketuuliku lahendused. Antud piirkonnas on aasta keskmiseks tuule kiiruseks 6 m/s ning seal paikneb palju lagedaid alasid. Arvesse tuli võtta omaniku soovi luua võrguga koostoimivat süsteemi ehk võrguühendusega energiasüsteemi, et üle jäänud elekter võrku müüa. Lahtiseks jäi aga küsimus, kas soovitakse päevane energiavajadus lihtsalt katta või toota suurtemates kogustes elektrienergiat võrku. Alla 11 kW-ste seadmete võrku ühendamisel klassifitseerib Elektrilevi elektrienergia tootja mikrotootjaks. „Lihtsustatud korras on võimalik jaotusvõrguga liituda alla 11 kW-ste väiketuulikutega. Liitumiseks on jaotusvõrgu poolne nõue, et ühendamiseks kasutatav inverter peab olema sertifitseeritud vastavalt standardile EVS-EN 50438:2008 ja Eestis kehtestatud lisatingimustele. Väiketuuliku ühendamiseks tuleb pöörduda kohaliku jaotusvõrgu ettevõtte poole, kes antud piirkonda teenindab“ [5].

Tabel 1

Päevane energiavajadus püsielupaigas Juhandra talus (*kWh/aastas)

Tarbija	Võimsus, P (W)	Tööaeg, t (h)	Päevatarve, E (Wh)
Puurkaevupump	750	0,4	300
Valgustus (LED)	120	3,0	360
Köögitehnika	1500	0,2	300
Internet	15	24,0	360
Tolmuimeja	1800	0,15	270
Külmik	310*		845
Pesumasin	1300	2,0	2600
Koduelektroonika	275	5,0	1375
Muu			250
Kokku	5760		6660

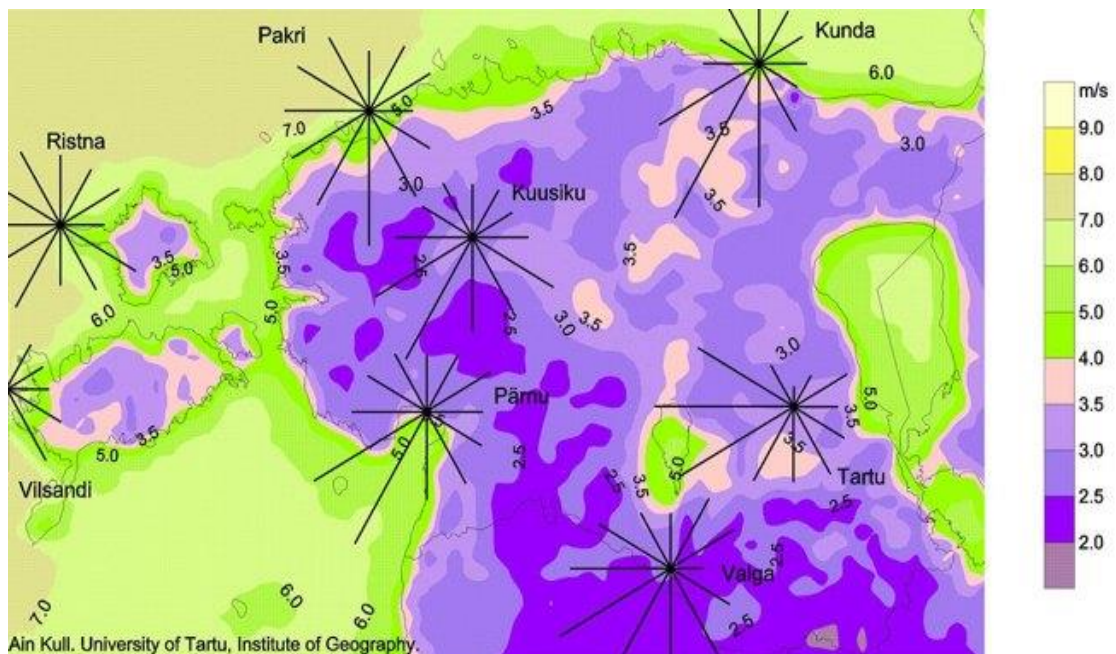
Kuna alla 11 kW-ste tuulikute võrku ühendamine on lihtsustatud korras ning päevane energiatarve püsielupaigas ei olnud kõige kõrgem (Tabel 1) soovitas autor omanikule esimese valikuna 10 kW-st

väiketuulikut 22 meetrise mastiga, mille aastane elektrienergia toodang tuulekiirusel 5 m/s on 14001 kWh aastas ning 6 m/s 20982 kWh aastas.

Kui aga omanik soovib võimsamat kui 11 kW-st väiketuulikut püstitada ning selle hiljem võrku ühendada klassifitseerub ta pisitootjaks, kelle tootmisvõimsus on 11 kW kuni 200 kW. „Suurematele väiketuulikutele kui 11 kW nimivõimsus kehtib jaotusvõrguga liitumisel võrgueeskiri, mille järgi tuleb elektrituulikudel esitada täiendavalt andmed tuulik ja selle lühise läbimise tüübikatsetuse kohta ning lühiseläbimise tüübikatsetuse kohta. Kui on plaanis sellise suurusega tuulikuga liituda, tuleb juba varajases faasis konsulteerida kohaliku võrgu ettevõttega, et veenduda tuuliku ja võrgu sobivuses liitumiseks“ [5]. Teise valikuna soovitas autor Eestis toodetavat 20 kW-st väiketuulikut 22 meetrise mastiga, mille aastane elektrienergia toodang tuulekiirusel 5 m/s on 1965 kWh aastas ning 6 m/s 32212 kWh aastas.

1.2. Asukoha valik Eestis

Väiketuulikute puhul peetakse heaks keskmiseks tuulekiiruseks 5 kuni 6 m/s. Eestis on kõige rohkem tuule rohkemad alad saartel ja rannikualal. Seega on parimad kohad ehitamiseks just need alad. Autor toob välja enda arvates parimad asukohad, kuhu väiketuulikut püstitada (Joonis 1).



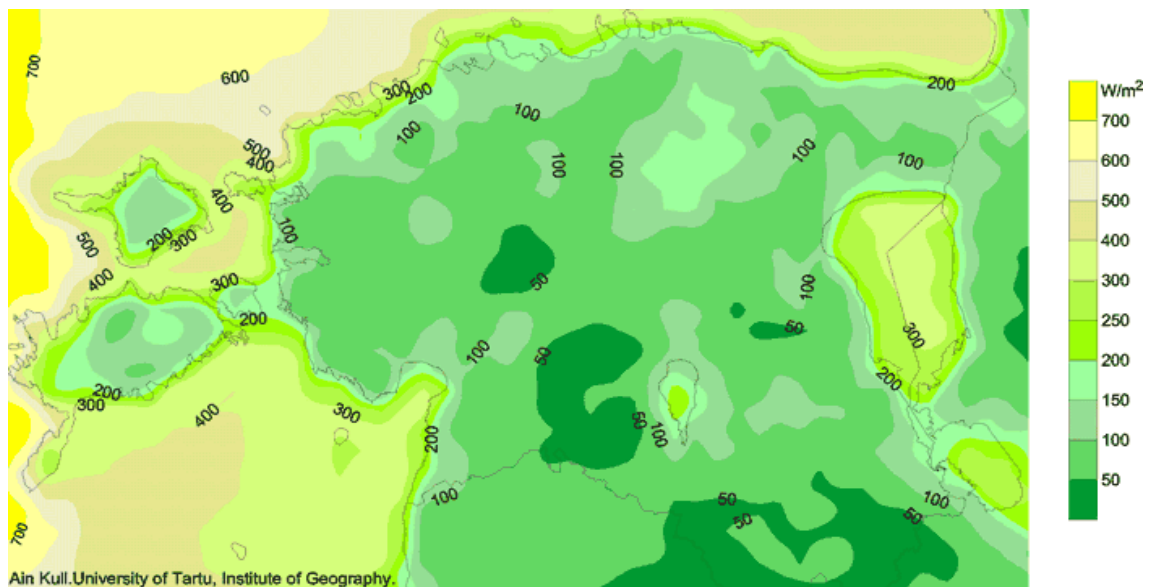
Joonis 1. Keskmise tuule kiirus aastas 10 meetri kõrgusel [6]

Antud joonisel on märgitud keskmine tuulekiirus aastas, mis tähendab, et tuulekiirused võivad olla mõnikord suuremad ja mõnikord madalamad. Nagu eelnevalt mainitud, on rannikualadel ja saartel

kõige suurem potentsiaal edukate väiketuulikute püstitamiseks. Märkimisväärne on Eesti kahe suurima järve, Peipsi järve ja Võrtsjärve kallaste äärsed roheliselt märgitud alad, kus aasta keskmine tuulekiirus on 5 m/s.

Andmestike ja tuulekaartide analüüsil põhjal võib öelda, et parimad tingimused tuuleenergia tootmiseks Eestis on Vormsi saarel, kuna seal on palju tuult, piisavalt tarbijaid ja suur potentsiaal minna täielikult üle tuuleenergiale energiaühistu vormis. Sama võib ka öelda Eesti enamiku asustatud väikesaarte kohta. Eesti tuulerikkaimad alad, kus aasta keskmine tuulekiirus ületab soovitusliku 5 m/s, on Vilsandi 6,6 m/s, Sõrve poolsaar 6,3 m/s, Kihnu 6,1 m/s, Kuressaare 5,3 m/s, Naissaar ja Pakri saar 5,2 m/s (Lisa 1).

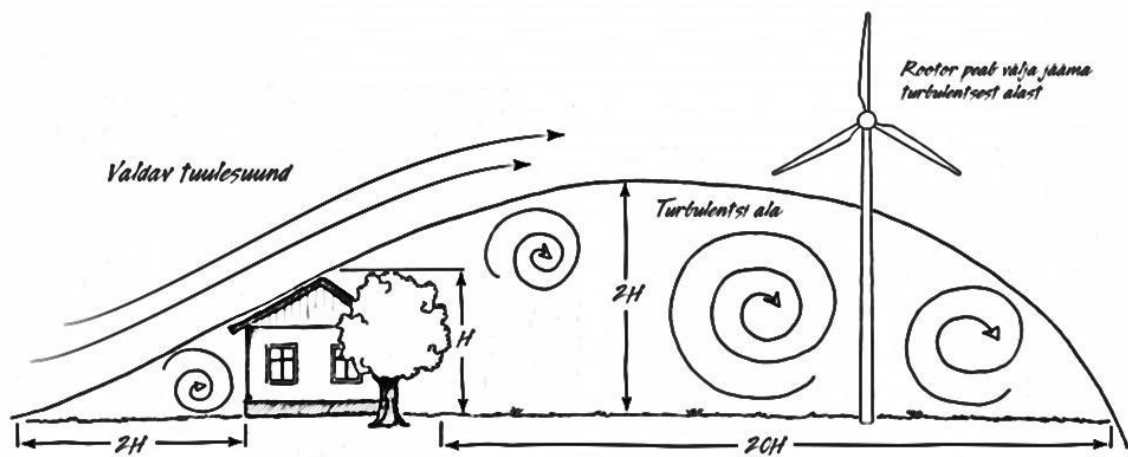
Tuulekiirust mõõdetakse kümne meetri kõrgusel. Kõrgusega tuulekiirus kasvab - 10 meetri kohta ligikaudu 10 kuni 20 % [7]. Tähtis on päevade arv kuus ja aastas, mil esineb tuult kiirusega üle 8, 15 ja 20 m/s (Lisa 1). Vaadeldes energiatihedust 30 meetri kõrgusel on näha, et väiketuulikut on võimalik kasutada praktiliselt kõikjal üle Eesti (Joonis 2). Näiteks suudab 10 kilovattine horisontaalne väiketuulik, mille rootori pindala on 42 m² toota energiatiheduse 50 W/m² puhul teoreetiliselt 2,1 kilovatti elektrienergiat, kuid see pole majanduslikust aspektist vaadeldes piisavalt kasulik. Parimate tulemuste saavutamiseks tuleb teostada mõõtmisi ning seejärel otsustada kui kõrget ja võimsat väiketuulikut on mõistlik soetada.



Joonis 2. Energiatihedus 30 meetri kõrgusel [6]

1.3. Turbulents

Väiketuuliku püstitamisel peab lisaks soodsale asukohale, vajalikule tuuleressursile ja väiketuuliku valikule arvestama ka turbulentsiga (Joonis 3). Turbulents on vedeliku või gaasi osakeste väga korrapäratu liikumine, mis võib sageli põhjustada keeriseid, ent samas liigub kogu aine mass voolu suunas, mis võib kahandada tuuliku tootlikkust. Just nimelt sellepärast tuleb väiketuulikute paigaldamisel tuleb arvestades ka võimaliku muutuva turbulentsiga (Joonis 3). [8, p. 14]



Joonis 3. Turbulentse tuule teke ja selle olemus [9]

Joonisel 3 kujutatud H on kas ehitise või ehitise ääres asuva kõrgeima mõne muu ehitise või puu kõrgus. Tuulesuund antud joonisel on näidatud vasakult paremale. Seega on turbulentsi suurem ala joonisel olevast majast ning puust paremal pool. Turbulentsi ala algab juba majale vasakult poolt kahe H ($2H$) kauguselt ja kestab paremale poole kahekümne H ($20H$) kaugusele. Turbulentsi kõrgpunktiks on samuti $2H$.

Võimaliku turbulentsi ala sisse väiketuuliku paigutamine ei ole otstarbekohane, sest turbulentsi alas ei ole tuulekiirus ühtlane ning seal võivad tekkida keerised, mis võivad väiketuulikule, eriti passiivse pööramisega väiketuulikutele, tekitada suuri probleeme just seetõttu, et võimalik tekkiv turbulents kahandab tootlikkust või koguni seiskab tuuliku. Sellisel juhul ei toodaks väiketuulik energiat.

1.4. Kvaliteet

Valmistootena väiketuuliku ostjale on tuuliku ehituskvaliteet tähtis, kuna investering on üsna suur. Võrreldes endiseaegsete, hobikorras ehitatud väiketuulikutega on praeguse aja väiketuulikute kvaliteet jõudsasti kasvanud. Tänapäeval kasutatakse väiketuulikute ehitamiseks kõrgeima kvaliteediga komponente. See tõstab küll hinna kõrgeks, aga samas tagab selle, et ei ole vaja väiketuulikut nii tihki hooldada ja parandada. Samuti tuleks tähelepanu pöörata osade odavtootjate väiketuulikute ostu puhul, et proportsioonid generaatori võimsuse ja rootori pindala suhtes ei oleks groteskselt nihkes. Näiteks võib välja tuua Hiina päritolu väiketuulikuid, kus on võimas generaator ja väike rootor või vastupidi, mis on teatud oludes võib olla vastuvõetav, kuid mitte Eesti keskmistes tuule oludes.

Mis puudutab komponentide materjali valikut, siis näiteks mastide valmistamiseks kasutatakse kõrge süsiniku sisaldusega teraseid, rootorite ja labade ehitamiseks klaaskiudu ning samuti erinevaid erimetalle [10]. Erinevate tootjate ja edasimüüjate poolt pakutavad väiketuulikud on muidugi tihti peale toodetud ja koostatud eraldi sõlmedes, erinevatest materjalidest. Tuuliku soetamisel on soovitatav üle vaadata firma ajalugu ja ka väiketuulikus kasutatavate komponentide nimekiri, mis tuleks alati üle kontrollida. Kuna Eestis tegutseb väiketuulikutega seoses palju firmasid, oleks kindlasti tark valida mõni firma, mille puhul on saadud inimestelt juba positiivset tagasisidet, sest firmasid, mis tegelevad väiketuulikute müügiga, on mitmeid ning mõned neist võivad tõstatada usaldusvääruse küsimuse.

1.5. Maksumus

Väiketuulikud on energia tootmise poole pealt kasulikud nii suurematele kui ka väiksematele majapidamistele. Maksumus on aga tuuliku püstitamiseks ja käima saamiseks küllaltki kõrge. Valdav enamus väiketuulikute ostmist ja püstitamist haarav töö on projektipõhine, mis võib hinda kõigutada alates 3 000 eurost kuni 150 000 euroni. Kõrge maksumus on aga paljudele inimestele suureks takistuseks. [11]

Täpsemaid hindu Eestis müügil olevatest tuulikutest palju ei leia, kuna firmad ei soovi väidetavalt spekuloida ja hindu ilma mõjuva põhjuseta avalikustada, kuna iga tuuliku puhul on tegu eriprojektiga, mille hind kujuneb vastavalt lõplike tööde mahule. Umbkaudseid komponentide hindu on võimalik küsida ainult läbi hinnapakumiste.

Autoril õnnestus leida paar hinda täpsustavat artiklit. Saarte Hääles avaldatud artikkel räägib sellest, kuidas Raivo Hein püstitas Selgase külas oma koduõuele 10 kW võimsusega väiketuuliku. Pikalt tuulikust juttu paraku ei olnud. Välja võis lugeda, et Raivo Hein arvab, et väiketuulik tasub ennast ära 15-17 aastaga. Maksumuseks oli antud väiketuulikul 17 000 eurot. [12]

Internetist leidis autor ka tehniliste andmete infovoldiku UGE-9M 10kW väiketuuliku kohta. UGE-9M väiketuuliku kohta on seal välja toodud igasugused spetsiifilised ja tehnilised andmed kui ka selle hind. Hinnaks UGE-9M 10kW võrguühendusega väiketuulikul koos kõikide komponentidega oli 99 175 USA dollarit (3. aprill, 2014 seisuga umbes 72000 eurot). Antud väiketuulikul on kõrge hind. Selle põhjuseks on kõrge kvaliteediga materjalide kasutus nii generaatoris, labades, kui ka mastis. [13]

1.6. Väiketuulikute ühendamine

Väiketuulikud toodavad palju energiat olenevalt asukohast, valitud väiketuulikust ja väiketuuliku generaatori võimsusest. Kõike toodetud energiat ei pruugi üks majapidamine täielikult ära kasutada. Sellele on välja pakkuda kaks lahendust - autonoomne energiasüsteem, kus talletatakse elektrienergia akupanka (*off-grid* süsteem) või võrguga koostoimiv süsteem (*on-grid* või *grid-tie*), kus elektrienergia ülejääk suunatakse põhivõrku. [14]

Mõlemal süsteemil on oma head ja oma vead. Järgnevad alapunktid räägivad mõlemast süsteemist lähemalt - miks neid vaja on, kuidas nad toimivad ja miks nad head on.

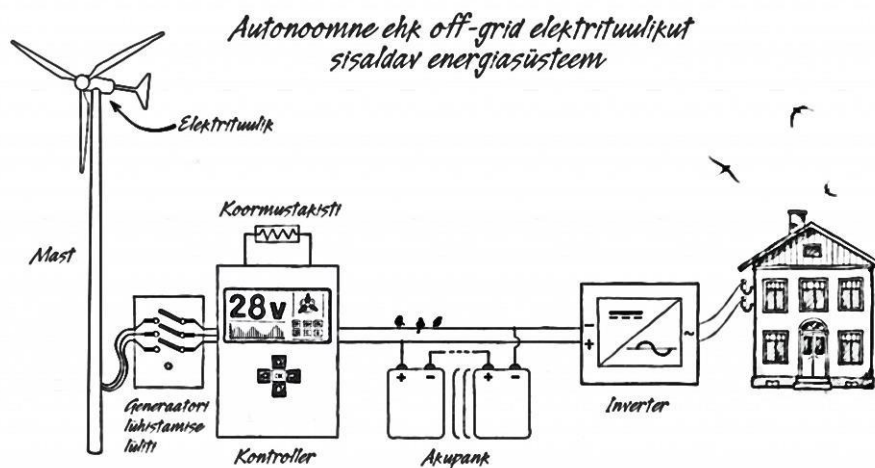
1.6.1. Autonoomne energiasüsteem ehk võrguühenduseta energiasüsteem

Autonoomne energiasüsteem ehk *off-grid* süsteem on süsteem, kus üleliigne elektrienergia talletatakse akudesse või akupankadesse (Joonis 4). Enamasti on autonoomsetes süsteemides parem valik kombineerida tuuleenergia ja ka päikeseenergia muundamise seadmeid. Olenevalt asukohast võib olla sisemaal targem mitte kasutada tuulikut, sest võib juhtuda, et tuulik ei tooda piisavalt energiat. Saarte puhul võib ühest väiketuulikust piisavalt olla.

Autonoomse energiasüsteemi puhul on vajalik akude või akupanga olemasolu, sest sellisel juhul on võimalik üleliigne energia talletada hilisemaks või ka tuulevaikse olukorra puhul kasutamiseks. Akude või akupankade olemasolu eeldab ka muidugi teatud korrektsioone väiketuuliku ehitusse, sest vaja on lisada mõningad lisaseadmed, et energia talletamine oleks üldse võimalik. Väiketuuliku generaatori väljundiks on üldiselt vahelduvvool, mis vajab alaldamist diodisilla ehk alaldi läbi. Alaldi võib olenevalt süsteemist paikneda enne kontrolleri või olla juba kontrollerrisse

integreeritud. Kontrolleriks nimetatakse süsteemi nutikat elementi, mille ülesandeks on jälgida seda, et tuulikul oleks pidev ja piisav koormus ning teiseks jälgida, et akupank oleks pidevalt optimaalselt laetud. Juhul kui akupank on täis ja on väga tuuline, siis lülitab kontroller tuuliku väljundisse lisakoormuseid, näiteks takistuselemendid, mis üleliigset energiat muundavad soojusenergiaks. Enne kontrollerit soovitatakse panna lüliti, mille abil on võimalik tuuliku generaatorile lühistamise teel tekitada vajalik koormus ning sellega välistada tuuliku rootoris võimalik aerodünaamilise tõstejõu tekkimine. [14, p. 81]

Akupangaga ühendatakse inverterseade. Selle eesmärgiks on muuta akude alalispingest elektroonika abil jaotusvõrku liikuva elektri parameetritega sarnase vahelduvpinge tekitamine. Sellesse süsteemi on võimalik lisada elektroonikakomponente, mis annavad ülevaate toodetud ja kasutatud energiast. [15]



Joonis 4. Autonoomne energiasüsteem [16]

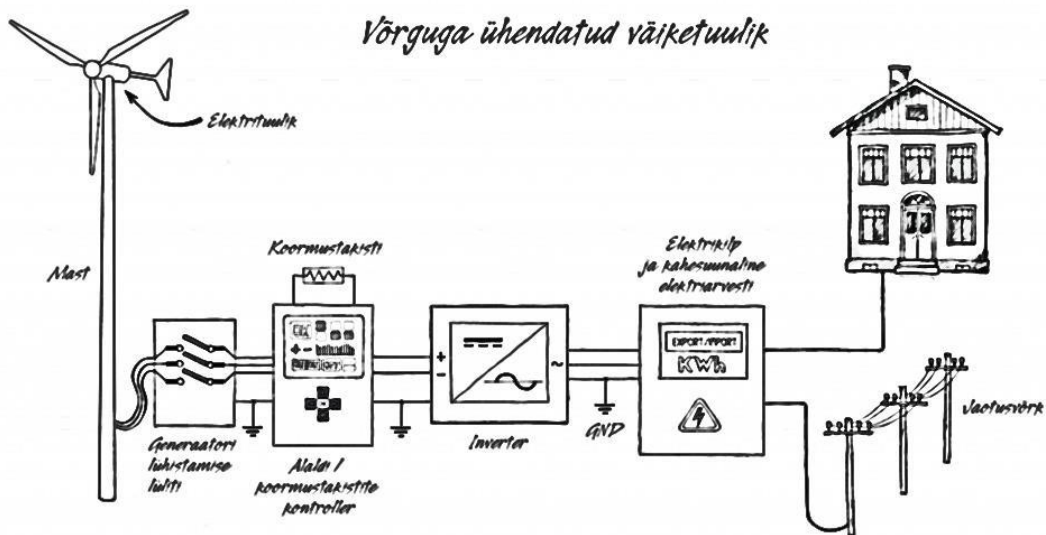
1.6.2. Võrguga koostööv süsteem ehk võrguühendusega energiasüsteem

Võrguühendusega süsteemi ehk *grid-tie* puhul ei ole süsteemis vaja akupanka, elekter on olemas pidevalt tänu välisele toitele (Joonis 5). Võrku ühendatud väiketuuliku puhul on väiketuulik ühendatud paralleelselt välise jaotusvõrguga ning kasutab võrguga koostöömiseks spetsiaalset ja sobivat standardite kohast inverterseadet.

Elektrienergia tootmises väiketuulikuga kasutatakse toodetud elektrit esmalt majapidamise tarbeks, asendades võrgust ostetavat võrguelektrit. Kui väiketuuliku tootlus on suurem, kui on majapidamise energiatarve, juhitakse elektrienergia ülejääk läbi elektriarvesti, mis töötab kahes suunas, võrku tagasi. Eestis ostab Eesti Energia elektrit Nord Pool Spot börsihindade alusel tunni hinnaga [17].

Inverterseadme ja tuuliku vahele ühendatakse alaldi ning inverterile kontrollerseade takistitega, mis kaitseb inverterit ülepinge eest. Samasugune kontrollerseade takistitega on kasutuses ka autonoomse energiasüsteemi puhul. [14, p. 91]

Paremaid ja täiuslikumaid inverterseadmeid „multiple power point tracking ehk MPPT“ on võimalik programmeerida vastavalt väiketuuliku näitajatele. See võimaldab sellistel inverterseadmetel muunduri poolt väiketuulikule avaldatavat koormust muuta, mis omakorda lubab väiketuulikut opereerida suure tuulekiiruste vahemikus ning aitab leida optimaalse tipukiiruse suhte. MPPT funktsioonide puudumisel on võimalik saavutada optimaalne tipukiirusesuhe vaid teatud disainiga labadega teatud tuulekiirusel. [8, p. 15]



Joonis 5. Võrguga koostööv süsteem [5]

2. VÄIKETUULIKUTE EBITUS

Tuulikuid on erinevaid tüüpe. Üldiselt on nende ehituse poolsed erinevused nii mastides kui ka võllides. Tuulikuid võib jaotada jõuvõlli konstruktsiooni järgi kahte rühma: horisontaalvõlliga tuulikuteks ja vertikaalvõlliga tuulikuteks.

Horisontaalvõlliga väiketuulikut saab veel jagada tuulde pööramise järgi veel edasi jaotada järgnevalt:

- passiivseteks tuulikuteks, kus pööramine käib tuule jõul,
- aktiivsed tuulikud, kus tuulde pööramine käib juhitava ajamiga,
- vastutuult tuulikud, kus tiivikud paiknevad tuulesuunas ehk generaatorist eespool,
- allatuult tuulikud, kus generaator paikneb tiivikutest eespool.

Tehnoloogia arenedes on hakatud rohkem kasutama aktiivseid pööramisega tuulikuid, kus ei käi tuulde pööramine tuule jõul vaid toimub see juhtiva ajamiga. Aktiivse tuuliku pööramise ajamid, automaatika ja andurid tarbivad energiat. [18] [15, p. 123]

Küll aga tänu elektroonilisele tuulde pööramise tuuleotsingu süsteemiga tagatakse stabiilsem käik ning suurem toodetav energiahulk. See tähendab, et võrgust võetav vähene energia, mis on hädavajalik automaatika töötamiseks, toob tuulikule kaasa suurema kasu, kui kahju. Energia tootlikkuse mõttes toodab aktiivse pööramisega tuulik siiski rohkem energiat ning vajalik elektrikulu on selle kõrval tühine.

Passiivse pööramisega tuulikud on tuulikud, mis töötavad tuule enda jõul ning piisava tuulekiiruse korral pöörab tuulik rootori õigesse tuule suunda. Siin on aga üks pisi probleem - kui tuulekiirus on liiga väike asendi korrigeerimiseks, siis rootori labad ei asetse soodsas asendis ja ei pruugi madala tuulekiiruse puhul tööle hakata või töötavad ebaefektiivselt. See tähendab, et rootori labad hakkavad pöörlema alles teatud piisava tuulekiiruse korral, mis pöörab rootori õigesse suunda. Autori arvates võiks kasutada selliseid tuulikuid suurema tuuleressursiga aladel, kuna madala tuuleressursiga aladel muutuksid nad oma passiivse käitumise poolest ebaefektiivseks. Antud tuuliku püstitamisel

võib juhtuda, et vähese tuule korral tuulikust üksi majapidamise varustamiseks energiaga ei pruugi piisata.

Vertikaalvõlliga tuulikud ehk rootortuulikud on veelgi lihtsamad. Neil pole eraldi vaja tuulde pöörata kuna labad on vertikaalselt ning nad on avatud mistahes suunas liikuvale tuulele. Nende miinuseks on aga see, et neile ei ole sisse ehitatud eraldi süsteemi, mis väga suurte tuulekiiruste juures nad tuulest välja keeraks või välja lülitaks. See eeldab, et vertikaalvõlliga tuulikute konstruktsioon peab olema väga tugev ja vastupidav ning omakorda tekib ka vajadus piduritele, mis ei laseks rootoril pöörelda liiga suurte kiirustel, kuna suurte tuulekiiruste puhul on oht, et tuulik saab üle koormatud. [19]

2.1. Vertikaalse teljega väiketuulikud

Vertikaalvõlliga väiketuulikud ehk vertikaalse teljega tuulikud on tuulikud, mille pearootor on püstne ning sellest tekib ka nende põhiline eelis - neil ei ole vaja tuulde suunamiseks mingit mehhanismi. Tänapäevases energiatootmises ei oma nad tegelikkuses siiski suurt rolli. Vertikaalse tuuliku üks eeliseid on veel võimalus generaatorit lihtsalt hooldada, sest see paikneb rootorist allpool, vertikaalvõlliga tuulikul on võrreldes horisontaalvõlliga ka väiksem müratase ja ehituse ning disaini poolest sobib paremini ka hoonestatud aladele.

2.1.1. Vertikaalse teljega väiketuulikute rootori tüübid

Vertikaalvõlliga ehk vertikaalse teljega tuulikute rootoreid on mitmeid erinevaid.

Savoniuse rootor - Savoniuse ehk S tüüpi rootor on rootor, mille leiutas Soome leiutaja S.J. Savonius. Tema tööpõhimõte on sarnane tuulekiiruse mõõtmiseks kasutatava anemomeetriga, kus kolm tühja poolkerataolist elementi pöörlevad olenevalt tuulekiirusest ja tuuletakistustegurist. Savoniuse rootor on sama tööpõhimõttega, küll aga Savoniuse rootori paneb pöörlema kaks silindriaadset laba, mis pealtvaates meenutavad S tähte. [14]

Darriuse rootor - Darriuse rootor on tänu enda välimuse saanud hüüdnime munavispel. Antud rootori tüüp on välja töötatud Prantsuse inseneri G. Darriuse poolt. Darriuse rootoriga töötavate tuulikute puuduseks on töötamise käigus tekkivad tsüklilised koormused, mis võivad ajapikku deformeerida või koguni lõhkuda tuuliku konstruktsiooni. [14]

H-rootor - Giromill ehk H-rootoriga tuulik on Darrius tuuliku derivaat, mille sirgeid labasid hoiavad peavõlli küljes horisontaalsed talad. H-rootoril on palju variatsioone. Näiteks võib tuua

Cycloturbine-i, mis on H-rootori erilahendus. *Cycloturbine*-i labad pöörlevad tänu spetsiaalsele mehhanismile ümber püstise telje. See võimaldab muuta rootori labade kohtumisnurka, muutes tuuliku pöörlemise efektiivsemaks ja ühtlasemaks. [14]

Spiraalne H-rootor - Spiraalne H-rootor on üks H-rootori variatsioon, mis võimaldab tänu spiraalsetele labadele suhteliselt ühtlast käiku. Samuti väldib see oma konstruktsiooni omapära tõttu ohtlikke pöörlemismomendiga tekkivaid pulsatsioone. Üks sellise rootori konstruktsiooniga tuulik on püstitatud Tartus Ahhaa keskuse ees. Sealse tuuliku aastane tootlikkus on küll väga madal (700 kWh aastas, tuulekiirusel 5 m/s), kuid siiski on see märkimist väärt, kui reklaam rohelisele energiale. [8, p. 8]

Lisaks loetletutele on olemas veel harvemini kasutatud või katsetatud rootori tüübid:

- „Teemantrootor“ – rootor, mis kuju poolest meenutab teemantit või rombi,
- „Y“ rootor – nagu nimi ütleb on rootor Y tähe kujuline,
- „Pii“ rootor – meenutab välimuselt kreeka tähte Pii.

2.2. Horisontaalse teljega väiketuulikud

Horisontaalvõlliga väiketuulikud ehk horisontaalse teljega tuulikud on tuuliku tüüpidest kõige levinumad kõikides tuulikute võimsusklassides. Suuremad tuulepargid ja tuulikud on ehitatud just sellise tehnoloogiaga. Seda tüüpi tuulikute paljusus on põhjendatud sellega, et antud konstruktsiooni kasutegur kineetilise energia muundamisel on osutunud efektiivsemaks. See lahendus suudab kineetilist energiat palju tõhusamalt elektrienergiaks muundada. Vertikaalvõlliga tuulikutel see potentsiaal nii suur ei ole. [14, p. 4]. Vastavalt maksimaalvõimsuse väärtuse kasuteguri väärtusnäitajad on väiketuulikutel, horisontaalse teljega väiketuulikute puhul 20 kuni 35 % ning vertikaalse teljega väiketuulikute puhul 5 kuni 20 % [15, p. 127].

2.2.1. Horisontaalse teljega väiketuulikute rootori tüübid

Horisontaalse teljega tuulikutel on palju erinevaid lahendusi. Nende rootorid võivad olla ehitatud ühe labaga, kahe labaga, kolme labaga ning rohkemate labadega. On olemas passiivsed rootorid, mis pööravad ennast saba abil, passiivsed rootorid, mis pööravad ennast sabarootori abil ning vastutuult seisvad rootorid automaatse elektroonilise tuulde pööramise süsteemiga. Olgu ka mainitud, et tiiviku labade arv ei muuda märkimisväärselt tuulegeneraatori võimsust. Suuremate rootori labade arvu puhul käivitub rootor hõlpsamini ka väiksematel tuulekiirustel, kuid rootori lõppkiirus on väheneb suuremate tuulekiiruste korral seoses õhutakistuse suurenemisega.

Kõige levinumaks rootoritüübiks võib lugeda kolme labalist kiirekäigulist tuulikut. Tuuliku laba on projekteeritud ja disainitud väga erilisel. Maksimalne tootlikkus saavutatakse tänu rootori labade kujust tekkiva aerodünaamilise tõstejõu kaasamisele energia tootmiseks. See aitab omakorda minimaliseerida tuuliku pöörlevate osade raskust ja massi, mis kannab sama võimsuse üle väikse pöörlemismomendi ja suure kiirusega. [14]

2.3. Väiketuulikute mastide tüübid

Järgnev alapealkiri räägib lähemalt levinumatest väiketuulikute mastitüüpidest, nendega seonduvatest valikulistest soovitudest ning tehnilistest parameetritest. Mastid on ehituselt üsna lihtsad ning ka otstarve on neil kõigil sama – kanda ja hoida tuulikut püsti.

Visuaalselt on ilmselt kõige pretensioonitum vabalt seisev torumast. Vabalt seisva torumasti eeliseks on veel tema poolt nõutav vähene maa-ala. Olles väga sale vajab antud mast suure nõtkekindlusega paksuseinalist toru, nii mõjub ta vähem häirivana, aga tõstab tuuliku hinda võrreldes tõmmitsatega torumastiga, mille toru on palju peenem. Tõmmitsatega torumastile tuulesurvest rootorile avalduv jõud hajutatakse mitme erineva külje peale masti külge kinnitatud trossidega, mis vähendavad oluliselt mastile mõjuvat painutavat jõumomenti, kuid vajavad maad masti ümbruses kinnitustrosside ankurdamiseks.

Sõrestikmaste tänapäeval tuulikutootjate poolt üldjuhul ei pakuta. Sõrestikmastid on küll kasutusel, kuid üldiselt võib sellist lahendust leida näiteks nõukogudeaegsete militaar- ja sideseadmete mastide süsteemidest valmistatud tuulikute mastide hulgast. Sõrestikmastid sobivad ideaalselt isetegijale, kes ei soovi ise hankida tuulikut ja masti tehastest või mõnelt pakkujalt [15, p. 37].

Masti valiku puhul tuleb arvestada lisaks kõigele muule ka tuuliku püstitamise lihtsusega ning hilisema langetamise lihtsusega seoses võimalike hooldus-või remonditöödega ja ka loomulikult maksumusega. Masti tüübist sõltub ka masti püstitusviis.

Iseseisvaid väiketuulikute maste püstitatakse kraanadega. On olemas ka hüdrauliliselt langetatavad ja püstitatavad mastid, mis oma keerulise ehituse ja mehhanismi poolest tõstavad tuuliku hinda veelgi. Küll aga hüdrauliliselt langetatava masti eeliseks on selle lihtsus näiteks hooldamiste käigus, kuna ei ole vaja tellida just selleks juhuks kraanat ning meeskonda, mis tõstab tuulegeneraatori võimalikke hoolduskulusid tulevikus. See võib pikemat perspektiivi vaadates olla soodsam lahendus, kui näiteks vabalt seisev või tõmmitsatega mast aga nagu öeldud on selle süsteemi algmaksumus suurem. Vanemad sõrestikmastid võivad olla ehitatud koos teenindusplatvormidega,

kuhu pääseb ligi sõrestikus asuva redeliga. Väiksemate tuulikute puhul võivad olla mastid väiksema diameetriga toruga, mis lubab tõmmitsatega tõsta või langetada masti isegi käsivintsiga. [14, p. 37]

Masti valimisel tuleb võtta arvesse palju olulisi tehnilisi parameetreid:

- generaatori tüüp, nominaalne võimsus ja tuuliku võimsuskõver,
- tuuliku maksimaalne kõrgus, rummu keskpunkti kõrgus maapinnast, rootori läbimõõt ja pindala,
- generaatori maksimaalne väljundpinge ja –voolutugevus,
- tormikaitsemehhanismid (kaitsesüsteemid liiga suurte pöörete eest),
- tuuliku tuuleklassile vastavus,
- tuulekiirus, mille juures tuulik tootma hakkab ja mille juures tootmise lõpetab,
- asukohaspetsiifiline energiasaagikus,
- müraemissioon sõltuvalt tuuliku kaugusest elamuteni.

Kõik need tehnilised parameetrid tuleb põhjalikult läbi vaadata ning sügavalt analüüsida. Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon soovib tuuliku ja masti valimisel kasutada ainult selliseid tuulikuid, mis on rahvusvaheliste standardite järgi sertifitseeritud. Standardite järgi on lihtne ja kindel kontrollida tuulikuid iseloomustavaid tunnusjoonte väärtusi, prognoosida tuulikute tõrgeteta töötamist pikemal ajavahemikul, tuulikute tekitatavat müra ja mehhanismide ning komponentide vastavust normidele ja ohutusnõuetele. [8, p. 11]

Rahvusvahelise elektrotehnikakomisjoni standardi IEC 61400-12 järgi peavad väiketuulikute tootjad ja vahendajad andma tuulikute nominaalvõimsuse kindlal tuulekiirusel, milleks on 11 m/s. Tuulikute soetajatele on palju olulisemaks näitajaks prognoositav keskmine aastane energiatootlikkus teatud tuulekiiruste juures. IEC 61400-12 järgi on selleks arvestuslikuks tuulekiiruseks 5 m/s. Tuulikute potentsiaalsele tootlikkusele avaldavad generaatori nominaalvõimsusest palju suuremat mõju tuulikute masti kõrgus ning rootori diameeter. Suuri tuulekiirusi 11 m/s ja rohkem Eestis tavapäraselt ei esine, mistõttu ei oma tuuliku tootlikkuse paremad näitajad suurtel tuultekiirustel märkimisväärset tähtsust. Lisaks ei ole väiketuuliku eesmärgiks elektri müümine, vaid pigem elektrienergia enda majapidamise jaoks tootmine ja tarbimine. [8, p. 10]

Suurte tuulekiiruste puhul on väga tähtis väiketuuliku tormikaitsemehhanismide töökindlus ja võime rootori pööreid ja potentsiaalseid konstruktsioonis esinevaid koormusi kontrolli all hoida. Mitte töökorras või parameetritele mitte vastava tormikaitse süsteemi töö tagajärg võib olla suurel

tuulekiirusel generaatorit ja sellega kaasnevaid süsteeme rikkuv või koguni katastroofiline kogu tuulikule.

2.4. Horisontaal- ja vertikaalteljega väiketuulikute võrdlus

Käesoleva peatüki eesmärgiks on tuua välja võrdlus vertikaalteljega väiketuulikute ja horisontaalteljega väiketuulikute vahel mõlema plusside ja miinuste näol. Võrdlus annab ülevaate sellest, milline väiketuulik vastavalt asukohale või inimese vajadusele paremini sobib.

Horisontaalse teljega tuuliku eelised:

- Kõrge masti põhi lubab horisontaalse teljega tuulikul vastu pidada tugevamate tuulte puhul kohtades, kus tuule kiirus ja suund võivad kiirelt ning tihti muutuda. Iga kümne meetri võrra kõrgemale minnes võib tuule kiirus suureneda 20 % võrra ja tänu sellele energia tootlikkus tõusta 34 % võrra, seda eriti kohtades, kus toimub palju tuule kiiruse ja suuna muutumisi.
- Kõrge efektiivsus tuleneb sellest, et tuuliku labad liiguvad alati tuulega risti, tõstes energia tootlikust terve pöörde käigus.

Horisontaalse teljega tuuliku puudused:

- Toetamaks raskeid tuuliku osasid (ehk labasid, generaatorit ja käigukasti) on vaja tugevamat masti.
- Nende suure kõrguse tõttu on neid väga kaugele näha, mis võib mingil määral rikkuda visuaalset vaatepilti maastikule.
- Allatuult töötavate rootoritega tuulikud võivad kannatada liiga suure koormuse all ja ehituslikud vead tulevad kiirelt välja tuuliku töötamisel tekkiva turbulentsi tõttu.
- Horisontaalse teljega tuulikud vajavad tuulde pööramiseks eraldi kas aktiivset või passiivset tuuldepööramise mehhanismi.
- Horisontaalse teljega tuulikud vajavad suurte kiiruste korral pidureid, mis takistaks tuuliku vigastumist või hävimist.

Horisontaalse teljega tuuliku puhul võib näha, et negatiivseid külgi on rohkem kui positiivseid. Negatiivsed küljed on aga mingil määral ebaolulised, kuna praeguse tehnoloogia juures on kõiki ohte vältivad või leevendavad süsteemid juba komplekselt ostetavate tuulikutega kaasas.

Vertikaalse teljega tuulikute eelised:

- Ei ole vaja spetsiaalset tuuldepööramise mehhanismi.

- Vertikaalse teljega tuulikuid on võimalik paigaldada maale lähemale, mis võimaldab ka kergemat ligipääsu hoolduseks või remondiks.
- Vertikaalse teljega tuulikute generaatori töö alustamiseks piisab väiksematest tuulekiirustest, kui seda on horisontaalse teljega tuulikutel.
- Vertikaalse teljega tuulikuid on võimalik ehitada sinna, kus kõrgemad rajatised on mingil põhjusel keelatud.
- Vertikaalse teljega tuulikud, mis on maale lähemal, saavad ära kasutada asukohti, kus näiteks katused, künkad ja tasandikud mis võivad moodustada tuule kanalid ja tuule kiirust sel moel suurendada.

Vertikaalse teljega tuulikute puudused:

- Enamik vertikaalse teljega tuulikuid on palju väiksema efektiivsusega, võrreldes horisontaalse teljega tuulikutega. Selle põhjuseks on roteeruvate labade poolt tekitatav õhutakistus. On olemas variante, kus vastavalt laba erikonstruktsioonile õhutakistus väheneb, ning tänu sellele tõuseb väiketuuliku tootlikus.
- Kuna rootorid on üldiselt maapinnale lähemal, kus tuule kiirus on madalam, mistõttu nad ei kasuta ära veidi kõrgemal asuvaid suuremaid tuulekiiruseid.
- Eelpool mainitud puuduste tõttu on neid vähem kasutusel.

Eelpool loetletut arvestades võib tunduda, et vertikaalse teljega väiketuulikul on eeliseid rohkem, kui miinuseid, kuid vertikaalse teljega tuulikud ei leia nii laialdast kasutust, kui seda teevad horisontaalse teljega tuulikud. Võtmesõnaks selles küsimuses on tootlikkus. Vertikaalse teljega tuulikud sobivad vähestesse kohtadesse ning seetõttu neist ei ole ka väga palju kasutusel. [20]

Horisontaalse teljega tuulikute eelis vertikaalse teljega tuulikute ees seisneb just selles, et nad praktikas toodavad palju rohkem energiat ning on efektiivsemad. Seetõttu on nad palju levinumad kui vertikaalse teljega tuulikud. Autor isiklikult eelistab samuti horisontaalse teljega tuulikuid vertikaalse teljega tuulikutele ning arvab, et vertikaalse teljega tuulikud oleksid sobivad näiteks mõne lihtsama ja väiksema majapidamise energiakulude vähendamiseks või näiteks eramajades kodumasinade ja valgustuse toiteks või soojusenergia tootmiseks.

3. VÄIKETUULIKUTE MÕJU

Käesolev peatükk käsitleb väiketuulikuid ja nende poolt tekitatavat mõju. Väiketuulikud on üldiselt kõige efektiivsemad ja toodavad kõige rohkem energiat tuulerikastel aladel (saared, rannikualad). Väiketuulikud ei too püstitamise ning töötamise käigus keskkonnale kaasa nii suurt mõju kui seda teevad suured tuulikud ning tuulepargid. Väiketuulikute püstitamisel on kaks kõige suuremat mõju, milleks on nende poolt tekitatav müra ja visuaalne mõju (üldiselt varjud). Linnustikule ja loomastikule ei ole ohud samuti nii suured, kui suurtel tuureparkidel.

3.1. Müra

Eesti välisõhu kaitse seaduse kohaselt on müra „inimtegevusest põhjustatud ning välisõhus leviv soovimatu ja kahjulik heli, mille tekitavad paigsed või liikuvad saasteallikad” [21].

Tabel 2

Keskmissed enam levinumad müraallikate müratasemed. Andmete allikas [15, p. 129]

Müraallikas	Müratase
Sosin 1m kauguselt	20 dBA
Praktiliselt vaikne ruum	40 dBA
Keskmise valjusega jutuajamine	60 dBA
Inimesi täis ruum ja enamik tootmistsehhe	75 dBA
Sõiduauto 15m kaugusel	75 dBA
Tiheda liiklusega tänav	80-90 dBA

Hetkel kehtiva sotsiaalministri määrusega müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid, seitsmendas paragrahvis mis käsitleb elamu välisterritooriumil sama hoone või läheduses olevate hoonete tehnoseadmed kohta, ei ole väiketuulikuid otseselt märgitud, kuna see on aastast 2002. Küll aga näevad normid ette maksimaalset mürataset päeval 50 dB ja öösel 45 dB, mis on kõrgemad näitajad kui väiketuulikute poolt tekitatav müra. Järelikult on see normide piiresse jääv müratase. [22]

Tuulikud, nii suured tuulikud kui ka väiketuulikud tekitavad vaieldamatult taustmüra. Üldiseid tuuleparkide ja väiketuulikute mürapõhjustajaid on üldiselt kaks:

- Tuuleturbiini mehhanismide poolt tekitatav müra - tuuleturbiini käigukast, mootor ja muud liikuvad osad.
- Rootori labadest läbi liikuv õhk ehk aerodünaamiline heli.

Väiketuulikud on lihtsalt võttes kõrgete tornide otsas seisvad masinad. Seetõttu on nende poolt tekitatav müra teatud kauguste tagant kuuldav. Väiketuulikute poolt tekitatav müra on küll võrreldes suurte tuulikute poolt tekitava müraga väiksem. Kaasaegsed väiketuulikud on üldiselt väga hästi disainitud ning tänu sellele on ka nende poolt tekitatav müra minimaalne. [14, p. 70]

Suuremate tuulekiiruste (8 m/s) puhul on tuule enda poolt tekitatav müra palju suurem, kui seda on väiketuulikute poolt tekitatav müra. See aga oleneb jällegi tuuliku ehitusest ja kaugusest inimasustusest. Ekstreemsete ilmaolude ja muude halbade juhuste kokkusattumisel võivad ka väiketuulikud kindlasti tekitada väga suurt müra, millega võib kaasneda inimeste rahulolematust. Küll aga on neid päevi Eestis vähe ja sellepärast ka vajadus teavitada lähedal elavaid kaaskodanikke väiketuuliku rajamisjärgsetest võimalikest mõjudest. [19]

3.2. Varjud

Kuna keskmised väiketuulikud on 10 kuni 24 meetri kõrgused ja ehituselt palju saledamad ning väiksemad kui suured tuulikud, mis võivad kerkida kõrgusesse 55 kuni 85 meetrit, siis ei ole nende poolt heidetavad varjud märkimisväärselt häirivad. Nii ei praktiseerita ka võimalike varjude modelleerimist asukoha kaardil nagu seda tehakse suurte tuulikute puhul. Kui lähimas ümbruskonnas puuduvad naabrid, ei tohiks varjud kedagi peale tuuliku omaniku segada.

Endiselt vajalik on naabrite olemasolu puhul kindlasti nende teavitamine enne väiketuuliku rajamast kodumajapidamise lähedusse.

3.3. Mõjud lindudele ja nahkhiirtele

Väiketuulikute otsesed mõjud linnustikule ja loomastikule pole märkimisäärsed võrreldes tuuleparkide või suurte tuulikute mõjuga. See üldiselt tuleneb nende väiksemast suurusest, kuna enamuse väiketuulikuid on 10 kuni 24 meetrit kõrged, rootori diameeter kuus kuni seitse meetrit. Statistiliselt on tõenäoline, et tuulikud, nii väikesed kui ka suured, tapavad mingil hetkel mõne linnu või nahkhiire. Oletada, et nad on sada protsenti ohutud, on täielikult vale. [14, pp. 70-71]

Väiketuulikute võimalikke mõjusid nii nahkhiirtele kui linnustikule on Eestis uuritud väga vähe. Veel vähem on uuritud nahkhiirte ja lindude suremust. See aga ei tähenda, et väiketuulikud ei oma lindudele ja nahkhiirtele mõju. „2010. Aasta kevadel otsiti ühel korral 30 Läänemaal asuva elektrituuliku alt ja leiti 12 hukkunud lindu üheksast liigist. Nahkhiirte hukkumist ei tuvastatud“ [23, p. 21]. Tegemist oli tuulikutega, mille võimsused jäid vahemikku 0,6-3 MW ning nad paiknesid tuuleparkidena.

Eesti Ornitoloogiaühingu poolt tehtud uuringus, mis hõlmas valikulist ühteteist väiketuulikut, ei täheldatud ühtegi linna surma. Autori arvates tundub, et üksikult paiknevate väiketuulikute mõju lindudele on väike, nähes kui väike suremus Eesti Ornitoloogiaühingu uurinutest välja tuli. [23]

Uuringus eelnevas lõigus juttu olnud üheteistkümne väiketuuliku kohta avaldati ka informatsiooni nahkhiirte kohta. Antud uuringu käigus ei leitud nende üheteistkümne väiketuuliku ümbrusest ühtegi hukkunud nahkhiirt. Autori arvates on see üsna tõenäoline, et üksikult paiknevad väiketuulikud ei oma ka nahkhiirtele suurt mõju. [23]

Autor julgeb nõustuda uuringu tulemustega, et väiketuulikute mõju lindudele ja nahkhiirtele on väga väike. Autori arvates näitab see, et üksikult paiknevad väiketuulikud on võrreldes suurte tuuleparkidega väga ohutud ning toetudes Eesti Ornitoloogiaühingu uuringule on see üsna kindel.

KOKKUVÕTE

Antud töö esimeses peatükis on antud ülevaade väiketuulikutest Eestis. Tähelepanu on juhitud soovitudele väiketuulikute paigaldamiseks, välja on toodud täpsemalt soovitatavad ja vajalikud tegevused tuuliku paigaldamiseks. Väiketuuliku paigaldamisel on kindlasti vajalik meeles pidada, et väiketuuliku püstitamiseks vajalike lubade ja normatiividele vastavuse kinnitamisega tuleb pöörduda kohaliku omavalitsusse, kust saab põhjalikumalt informatsiooni kogu vajamineva dokumentatsiooni ja tegevuste kohta. Samuti on esitatud mõningad arvutused aitamaks arvestada hüpoteetilist päevast energiavajadust. Veel käsitletakse peatükis asukoha valikuid Eestis, analüüsides Eesti tuulekaarti ning pakkudes välja piirkondi, kus oleks potentsiaalsemad alad väiketuulikute püstitamiseks. Esimeses peatükis käsitletakse lähemalt tuulikuid segavalt mõjutavaid tegureid – analüüsitakse turbulentsi ja selle mõjude võimalikku kahandamisest tuuliku püstitamisel. Väiketuulikute kvaliteedist ja nende ehitamiseks kasutatavatest materjalidest, väiketuulikute umbkaudsest maksumusest ning väiketuulikute ühendamise kohta. Väiketuulikute ühendamise alapeatükk hõlmab endas lühianalüüsi autonoomse energiasüsteemi ehk võrguühenduseta süsteemi ning võrguga koostoimiva süsteemi ehk võrguühendusega süsteemi kohta. Küsitlusega selgitati välja, et võrgusüsteemide valikul osutus populaarsemaks võrguühendusega süsteem ehk võrguga koostoimiv süsteem, ning et enamus vastanutest kasutaks peamiselt toodetud energiat oma majapidamise energiavajaduse katmiseks, mis ühtis ka autori arvamusel.

Teises peatükis käsitletakse väiketuulikute ehitust ja antakse ülevaade üldlevinud väiketuulikute erinevatest ehituslikest variantidest, milledest detailsemalt analüüsitakse vertikaalse ja horisontaalse teljega tuulikuid, nende rootorite tüüpe ja väiketuulikute masti tüüpe. Peatükis võrreldakse vertikaalse ja horisontaalse teljega väiketuulikuid, analüüsitakse põhjalikumalt vertikaalse ja horisontaalse teljega väiketuulikute eeliseid ja puudusi. Autori arvates oli võrdluse osa väiketuulikute ehituse peatükis vajalik, sest seeläbi sai välja tuua vertikaalse ja horisontaalse teljega tuulikute tüübipõhised eelised ja puudused ning nende üle ka arutleda, kumb neist millises olukorras parim on. Autori läbi viidud küsitluse tulemusel selgus, et inimestel on küll teadlikkus väiketuulikute eritüüpidest, kuid samas ei teata nende tüüpide eeliseid või puudusi.

Kolmandas peatükis on analüüsitud väiketuulikute mõju, mille all on vaadeldud väiketuulikute müra ja varje ning mõjusid linnustikule ja loomastikule. Autori hinnangul on negatiivsemaks kõrvalmõjaks müra ning mõju lindudele ja käsitiivalistele, kuna need on väiketuulikute mõjudest kõige häirivamad. Mõju lindudele ja nahkhiirtele oli oodatust väga palju väiksem. Küsimustiku tulemustest selgus, et keskmiselt 40 % vastanutest tähtsustasid samu probleeme.

Autor usub, et väiketuulikute suurem kasutusele võtmine ning inimeste parem informeeritus väiketuulikutest, nende olemusest ja mõjudest annab pikemas perspektiivis paremaid tulemusi üleminekul rohelisele energiale kui ka sõltumatumale energiapoliitikale.

SUMMARY

The subject of this diploma thesis is Small Wind Turbines In Estonia.

The first part of the thesis reviews small wind turbines in Estonia and brings attention to recommended activities for installing small wind turbines. The recommended activities chapter writes about recommended and necessary activities required to build and install a small wind turbine. The main thing to take note of when installing a small wind turbine is that the required permits are given out by the local authorities, who give out more thorough information about the required permits and actions that need to be taken before installing a small wind turbine. The chapter also brought out some calculations to help calculate and take into consideration the daily needs in an example. The first part analysed the wind map of Estonia to find the suitable and best locations in Estonia where it would be wise to install small wind turbines. Furthermore, the chapter included a small part about turbulence and the effects of turbulence when placing a small wind turbine, including a small schematic about the size of the area affected by turbulence, followed by the materials used to build and the quality of a small wind turbine. The final chapters of the first part included a small part of the approximate cost of the small wind turbines and also explained the off-grid and on-grid systems with explaining schematics.

The second part of the thesis reviewed the construction of the small wind turbines. It included all the different possibilities of small wind turbines, including the vertical and horizontal axis small wind turbines, the different possibilities for the turbine rotor types and the different poles used for installing and supporting the small wind turbines. The second part also included a comparison between vertical axis and horizontal axis wind turbines, which thoroughly analyses the positive and negative sides of both the vertical axis and horizontal axis wind turbines. The authors belief is that the comparison part was necessary, because it it helped bring out the positive and negative sides of both types of wind turbines and discuss which of the two are better in what situation.

The third part of the thesis analysed the effects of small wind turbines. The part included chapters of noise, shadows and the effects that small wind turbines may have on birds and bats. Author considered the most important chapters to be noise and the effects of small wind turbines on birds

and bats, because the two were the most interesting to the author. The effect the small wind turbines have on birds and bats came out to be a lot smaller than expected.

The author believes that putting more small wind turbines into use and informing people on the subject of small wind turbines, their being and effects would give a lot better results on the transition to green energy and also an independent energy politics.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] ETEK;EKO, „Taastuvenergia 100% - üleminek puhtale energiale,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2012/08/TE100.pdf>. [Kasutatud 20. Veebruar, 2014].
- [2] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, „Seadusemuudatus võib väiketuulikute arvu suurendada,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/2012/03/seadusemuudatus-voib-vaiketuulikute-arvu-suurendada/>. [Kasutatud 3. Märts, 2014].
- [3] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, „Väiketuulikud/Planeerimine ja load,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/vaiketuulikud/planeerimine-load/>. [Kasutatud 21. Veebruar, 2014].
- [4] Taastuvenergia OÜ, „Tuule kiirus Eestis/Tuulegeneraatori võimsus, kasutegur ja tootlikkus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuvenergia.ee/tuule-kiirus.html>. [Kasutatud 2. Aprill, 2014].
- [5] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, „Võrguga koostoimiv süsteem,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/vaiketuulikud/vorguga-uhendamine/vorguga-koostoimiv-susteem/>. [Kasutatud 8 Märts, 2014].
- [6] A. Kull, Eesti tuuleatlas, Tartu: Tartu Ülikool, Bioloogia-geograafiateaduskond, Geograafia instituut, 1996.
- [7] J. Õunapuu, Tuuleenergeetika hetkeolukord, arenguvõimalused ning kolme huvipoolse suhtumine tuuleenergia tootmisesse Eestis, Tallinn: Tallinna Ülikool, 2006.
- [8] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, Väiketuulikute ABC, Tallinn: Kala Ruudus, 2012.
- [9] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, „Asukoha valik,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/vaiketuulikud/asukoha-valik/>. [Kasutatud 15 Märts, 2014].
- [10] C. Wood, „Wind turbine blades: Glass vs. carbon fiber,“ Composites World, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.compositesworld.com/articles/wind-turbine-blades-glass-vs-carbon-fiber>. [Kasutatud 25. Märts, 2014].
- [11] All Small Wind Turbines, „Small wind turbines,“ [Võrgumaterjal]. Available:

- http://www.allsmallwindturbines.com/list_turbines.php?sort=power_a&page=7. [Kasutatud 1. Aprill, 2014].
- [12] Saarte Hääl, „Raivo Hein püstitab koduõuele tuuliku,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.saartehaal.ee/2011/10/20/raivo-hein-pustitab-koduouele-tuuliku/>. [Kasutatud 8. Veebruar, 2014].
- [13] Urban green energy, „UGE 9m 10 kw grid-tie,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ultrasolarandwind.com/solutions/wind/uge-9m-10-kw-grid-tie/>. [Kasutatud 16. Veebruar, 2014].
- [14] P. Gipe, Wind energy basics, 2 toim., Chelse Green Publishing Company, 2009.
- [15] M. Pinn, R. Pinn ja M. Pinn, Elekter päikesest ja tuulest, Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast, 2012.
- [16] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, „Autonoomne energiasüsteem,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/vaiketuulikud/vorguga-uhendamine/autonoomne-energiasusteem/>. [Kasutatud 7 Märts, 2014].
- [17] Nord Spool Spot, „Elspot Proces,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/EE/Hourly/>. [Kasutatud 30. Aprill, 2014].
- [18] Eesti Arengufond, „Elektrivõrgu tänane olukord. Võimalikud arengustsenaariumid,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/a/ae/Elektriv%C3%B5rgu_t%C3%A4nane_olukord.pdf. [Kasutatud 18. Veebruar, 2014].
- [19] D. Wood, Small Wind Turbines: Analysis, Design, and Application, Calgary: Springer, 2011.
- [20] Centurion Energy, „Types of Wind Turbines,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://centurionenergy.net/types-of-wind-turbines>. [Kasutatud 15. Märts, 2014].
- [21] Välisõhu kaitse seadus, 2004.
- [22] Müratase normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid, 2002.
- [23] Eesti Ornitoloogiaühing, „Väiketuulikute mõju lindudele ja nahkhiirtele,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.eoy.ee/sites/default/files/linnud/%2831032014_v%C3%A4iketuulikute_kirj_uuring%29.pdf.

Lisa 1. Keskmised tuulekiirused Eestis [4]

Keskmine tuulekiirus Eestis m/s (1975.a)

m/s	jaan.	veeb.	märts	apr.	mai	juuni	juuli	aug.	sept.	okt.	nov.	dets.	aasta
Jõgeva	3,4	3	3,3	3,4	3,2	2,9	2,5	2,5	2,9	3,3	3,5	3,5	3,1
Jõhvi	5	4,7	4,7	4,3	4	3,7	3,5	3,6	4,1	4,8	5	5,2	4,4
Kihnu	7	6	5,7	5	4,8	4,9	5,1	5,6	6,6	7,5	7,8	7,6	6,1
Kunda	5,3	4,7	4,5	4,2	3,9	3,7	3,6	3,9	4,5	5,1	5,4	5,6	4,5
Kuusiku	3,4	3,3	3,3	3,4	3,2	3	2,6	2,6	2,8	3,2	3,3	3,4	3,1
Kuressaare	5,9	5,4	5,4	5,1	5	5,1	4,8	4,8	5,2	5,7	5,9	5,9	5,3
Kärdla	4,8	4,4	4,4	4,3	4,1	4	3,6	3,7	4,2	4,5	4,8	4,8	4,3
Naissaar	6,2	5,1	4,7	4,5	4,1	4,2	4,1	4,8	5,6	6,2	6,5	6,7	5,2
Narva	4,4	4,1	4,1	3,7	3,5	3,4	3,1	3,2	3,7	4,3	4,5	4,6	3,9
Nigula	4,5	4,1	4,2	4	3,7	3,5	3,1	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4	3,9
Pakri	6,1	5,2	5,1	4,7	4,3	4,3	4,1	4,5	5,2	5,8	6,2	6,3	5,2
Pärnu	5,1	4,5	4,6	4,1	4,1	4,4	4,4	4,5	5	5,4	5,5	5,2	4,7
Ristna	5,1	4,4	4,2	3,8	3,5	3,6	3,8	4,1	4,8	5,3	5,4	5,3	4,4
Sõrve	7,2	6,3	6,1	5,7	5,5	5,4	5,3	5,5	6,6	7,3	7,7	7,5	6,3
Tallinn	4,8	4,5	4,5	4,4	4,2	4	3,7	3,8	4,2	4,7	4,7	4,9	4,4
Tartu	4,4	4,1	4,1	3,9	3,5	3,4	3,2	3,3	3,7	4,3	4,4	4,5	3,9
Tiirikoja	3,9	3,7	3,6	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1	3,4	3,9	4,1	4	3,6
Türi	2,9	2,7	2,8	2,8	2,6	2,6	2,3	2,3	2,5	2,9	2,9	2,9	2,7
Tõravere	4,3	4,2	4,2	4	3,8	3,4	3,2	3,2	3,7	4,3	4,4	4,4	3,9
Valga	3,1	3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,2	2,2	2,5	2,9	3,1	3,1	2,8
Viljandi	3	2,9	2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	2,3	2,5	2,9	3	3	2,7
Vilsandi	7,5	6,6	6,5	6,2	5,5	5,5	5,5	5,8	6,9	7,4	7,9	7,8	6,6
Virtsu	4,5	4,2	4,2	4,1	4	4,2	4,1	4,2	4,4	4,9	5,1	4,8	4,4
V Maarja	4,5	4,3	4,3	4,1	3,9	3,6	3,3	3,4	3,8	4,3	4,5	4,5	4
Võru	3,4	3,2	3,2	3,1	2,9	2,9	2,7	2,7	3	3,4	3,4	3,4	3,1

Päevade arv kuus ja aastas kui esineb tuult kiirusega üle 8, 15 ja 20 m/s (1975)

	jaan.	veeb.	märts	apr.	mai	juuni	juuli	aug.	sept.	okt.	nov.	dets.	aasta
Tallinn >8 m/s	16	13,9	15,3	15,4	15,6	13,7	12,1	13,3	15,2	17,6	17,5	17,9	184
Tallinn >15 m/s	3,7	2,6	3,1	2,9	2,5	1,8	1,2	2	2,7	3,4	3,4	4,2	34
Tallinn >20 m/s	1,07	0,27	0,93	0,47	0,47	0,6	0,4	0,33	1,2	0,67	0,93	2,13	9,27
Tartu >8 m/s	10,6	9,4	10,7	10,3	10,1	9,1	8,3	8,3	9,8	10,7	10,6	11	119
Tartu >15 m/s	2,3	1,2	1,8	1,7	1,4	1	1	1,3	1,8	1,7	2	2,3	20
Tartu >20 m/s	0,4	0,32	0,07	0,2	0,13	0,07	0,07	0,13	0,43	0,13	0,33	0,47	2,8

Lisa 2. Küsimustik

Küsitlus viidi läbi Connect veebikeskkonnas ning küsimustikule vastas 89 inimest. Küsimustiku eesmärk oli teada saada inimeste teadlikkusest väiketuulikutest Eestis: olemuset, mõjudest, väiketuulikute erinevatest tüüpidest ning eelistustes. Küsimustikus osalenute keskmine vanus oli 30,1 ning valdav enamus vastanutest oli meessoost (59).

1. Kas olete kokku puutunud väiketuulikutega (teoorias või praktikas) ?

Vastus:

Jah – 81 (91,1 %)

Ei – 8 (8,9 %)

2. Kas teie lähiümbrusesse on rajatud mõnda väiketuulikut ?

Vastus:

Jah – 7 (7,9 %)

Ei – 82 (92,1 %)

3. Kas olete teadlik väiketuulikute maksumusest ?

Vastus:

Jah – 22 (24,7 %)

Ei – 67 (75,3 %)

4. Kas olete eelnevalt kokku puutunud väiketuuliku võimalike mõjudega (müra, varjud, mõju lindudele ja nahkhiirtele) ?

Vastus:

Jah – 39 (43,8 %)

Ei – 50 (56,2 %)

5. Kas väiketuulikud tekitavad teie arvates palju müra ?

Vastus:

Jah – 34 (38,2 %)

Ei – 55 (61,8 %)

6. Kas olete täheldanud väiketuulikute poolt tekitatud varjude suuremat mõju (ka rootori poolt tekitatud viirelust) ?

Vastus:

Jah – 15 (16,9 %)

Ei – 53 (59,5 %)

Pole tähele pannud – 21 (23,6 %)

7. Kas olete kursis mõistega vertikaalse teljega või horisontaalse teljega väiketuulik ?
- Vastus:
- Jah – 64 (71,9 %)
- Ei – 25 (28,1 %)
8. Kas te eelistate vertikaalse teljega väiketuuliku või horisontaalse teljega väiketuuliku ?
- Vastus:
- Vertikaalse teljega väiketuuliku – 12 (13,5 %)
- Horisontaalse teljega väiketuuliku – 77 (86,5 %)
9. Kas olete kursis erinevate väiketuulikute tüüpide plusside ja miinustega ?
- Vastus:
- Jah – 23 (25,9 %)
- Ei – 66 (74,1 %)
10. Kas olete kursis väiketuuliku elektrisüsteemide lahendustega (võrguühenduse ja võrguühendusega energiasüsteem) ?
- Vastus:
- Jah – 69 (77,5 %)
- Ei – 20 (22,5 %)
11. Kumba energiasüsteemi te eelistaksite ?
- Vastus:
- Võrguühendusega energiasüsteemi – 59 (66,3 %)
- Võrguühendusega energiasüsteemi – 30 (33,7 %)
12. Kui valisite/oleksite valinud “Võrguühendusega” energiasüsteemi, siis miks ?
- Vastus:
- Peamiselt majapidamise energiavajaduse katmiseks – 48 (53,9 %)
- Elektrienergia põhivõrku müümise eesmärgil – 26 (29,2 %)
- Muu. Täpsustage: - 15 (16,9 %)
13. Kas olete teadlik väiketuulikutele mõjuvast turbulentsist ?
- Vastus:
- Jah, olen teadlik – 34 (38,2 %)
- Olen midagi kuulnud – 41 (46,1 %)
- Ei ole teadlik – 14 (15,7 %)

14. Taastuenergia 100 stsenaariumi järgi on aastal 2030 väiketuulikutest toodetava energia oskaal 0,3 %. Kas peate sedavõrd väikest osakaalu õigustatuks ?

Vastus:

Jah – 44 (49,4 %)

Ei – 19 (21,3 %)

Ei, teie poolt välja toodud suurus vahemikus (0,1-5 %): - 26 (29,3 %)

Küsimuses 12 „Kui valisite “Võrguühendusega” energiasüsteemi, siis miks ?“ vastusevarjandi „Muu. Täpsustage:“ kohta tuli peamiselt vastuseid (6), et soovitakse anda panus rohelise energia tootmisesse ja propageerimisse. Ühe vastanu jaoks oli antud küsimus puht eetiline. Leidus ka vastuseid (3), kus sooviti toodetud elektrienergiat jagada naabritega ning oli ka vastanuid, kes antud küsimuse kahe vastuse kuldse keskte kasuks otsustaisid (5).

Küsimuses 14 „Taastuenergia 100 stsenaariumi järgi on aastal 2030 väiketuulikutest toodetava energia oskaal 0,3 %. Kas peate sedavõrd väikest osakaalu õigustatuks ?“ vastusevarjandi „Ei, teie poolt välja toodud suurus vahemikus (0,1-5 %)“ kohta tuli vastuseid alates 0,2 % kuni 1,3 %-ni. Kõige populaarsemaks osakaalu vahemikuks jäi 0.4 % kuni 0,7 %.