

EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

VÄIKETUULIKU OPTIMAALSE MASTIKÕRGUSE ANALÜÜS



Jaanus Uiga

Alo Allik

Andres Annuk

Tartu-Pandivere-Upa 2013

SISSEJUHATUS

Väiketuulikuid paigaldatakse enamasti majanduslikel eesmärkidel, kuigi neid on paigaldatud ka tuginedes esteetilistele või emotsionaalsetele põhjustele. Kui tuulegeneraatori paigaldamise eesmärgiks on lisaks elektri tootmiseks taastuva energiaallika kasutamisele ka tulu teenida, on otstarbekas leida majanduslikult optimaalne lahendus. Optimaalse lahenduseni jõudmine hõlmab sealjuures mitmeid aspekte nagu soodsa asukohta, sobiliku tuulegeneraatori ja kasutatava masti kõrguse valikut.

Kuivõrd tuule kiirus ning kvaliteet (õhuvoo turbulentne voolamine) sõltuvad suuresti paigaldatava elektrituuliku kõrgusest, näeb just eriti väiketuulikute paigaldamisele mõeldes mõtet uurida piirkonna tuuleolusid ning leida tuulegeneraatorile õige kõrgus. Oluline on, et elektrituulik paikneks kõrgemal läheduses olevatest takistustest. Kui tuulikut tahetakse püstitada metsaga kaetud või hoonestatud alade ligidale, võib esialgselt soovitud elektritoodangu jaoks vajalik masti kõrgus kujuneda majanduslikult ebamõistlikuks. Masti maksumuse suurenemine on otseselt seotud masti kõrgusega.

Käesolev töö on koostatud Eesti Tuuleenergia Klatri tellimisel, eesmärgiga analüüsida kahe Eestis realselt töötava väiketuuliku tootlikkust paigalduskõrgusel ning võimalikku tootlikkust kõrgematel töökõrgustel. Analüüsi koostamisel on lähtutud Uulu Elekter OÜ poolt läbi viidud tuulekiiruste mõõtmistulemustest ning tuulegeneraatorite paigaldajaettevõtete Bakeri OÜ ning Konesko AS-i poolt edastatud andmetest elektrituulikute toodangute ning tehniliste parameetrite kohta. Tuulemõõtmised viidi läbi perioodil oktoober-detsember 2013. Tuulekiiruste mõõtmised ning arvutused on koostatud, lähtudes standardi EVS-EN 61400-12-1:2006 üldpõhimõtetest.

Analüüsis on kasutatud vaid kahte konkreetset asukohta, ajaperioodi ja tuulikut ning töö tulemusi ei ole võimalik üks-üheselt laiendada mistahes teise asukohta. Samuti ei olnud töö eesmärgiks anda uuringus kasutatud väiketuulikute omanikele indikatsiooni, kas neil oleks mõistlik vahetada olemasolev mast kõrgema vastu, vaid luua juhtumiuuring, mis näitlikustaks masti kõrguse valiku olulisust väiketuuliku toodangu juures ning millest saaksid õppida nii väiketuulikute müüjad kui ka väiketuulikute tulevased soetajad.

Töö autorid tahavad tänada Tuuliki Kasoneni ning Eesti Tuuleenergia Klatri, Keskkonnaagentuuri Ilmateenistust, Konesko AS-i ja Bakeri OÜ-d tõhusa kostöö eest andmete

väljastamisel ning Uulu Elekter OÜ-d ning Vello Selga ja Indrek Pertmann'i tuulemõõtmiste läbiviimise eest.

Analüüsi teostamist aitasid rahastada Euroopa Regionaalarengu Fond (läbi EAS-i) ning Tallinna Ettevõtlusamet.

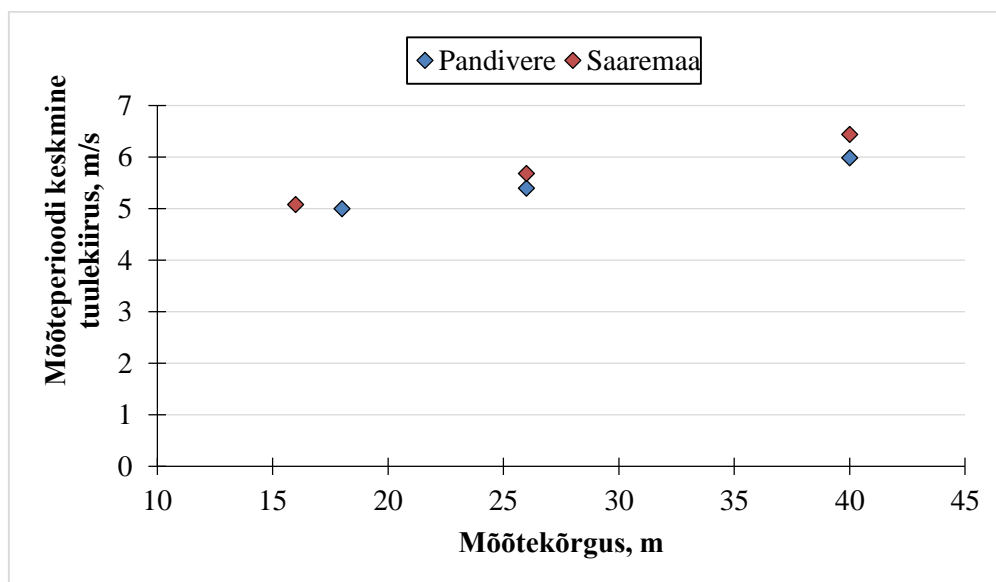
1. KOKKUVÕTE

Käesolevas töös analüüsiti kahe Eestis töötava väiketuuliku asukoha tuuleolusid ning elektrituulikute võimalikke toodanguid ja majanduslikku otstarbekust, kui need **oleks juba alguses olnud paigaldatud kõrgematele mastidele**. Analüüsi koostamiseks viis Uulu Elekter OÜ ajavahemikul oktoober – detsember 2013 läbi tuulekiiruste mõõtmised tuulegeneraatorite tiivikute rummude kõrgustel 26 m ja 40 m. Tuulekiiruste mõõtmistulemused väljastati **10 minuti keskmistena**.

Eelnimetatud elektrituulikute üks paiknes Mandri-Eestis ning teine Saaremaal, sealjuures on väiketuulikud paigaldatud erinevate ettevõtete poolt (vastavalt Konesko AS ning Bakeri OÜ). Tuulegeneraatorid on sama nimivõimsusega (10 kW), kuid erinevad üksteisest nii tehnilise spetsifikatsiooni kui ka paigalduskõrguse poolest. Mõlemad elektrituulikud on paigaldatud hüdrauliliselt tõstetavate ning langetatavate mastide otsa.

Pandiveres paikneva tuulegeneraatori tiiviku rummu kõrgus on 18 m ning Saaremaal paikneval tuulikul 16 m. Käesoleva analüüsi tulemusena esitatud soovitusel kehtivad eeltoodud põhjustel eelkõige vaid konkreetsete tuulikute, asukohtade ning mõõtmiste perioodide kohta.

Tuulemõõtmiste tulemused on kirjeldatud alljärgneval joonisel (joonis 1.1).

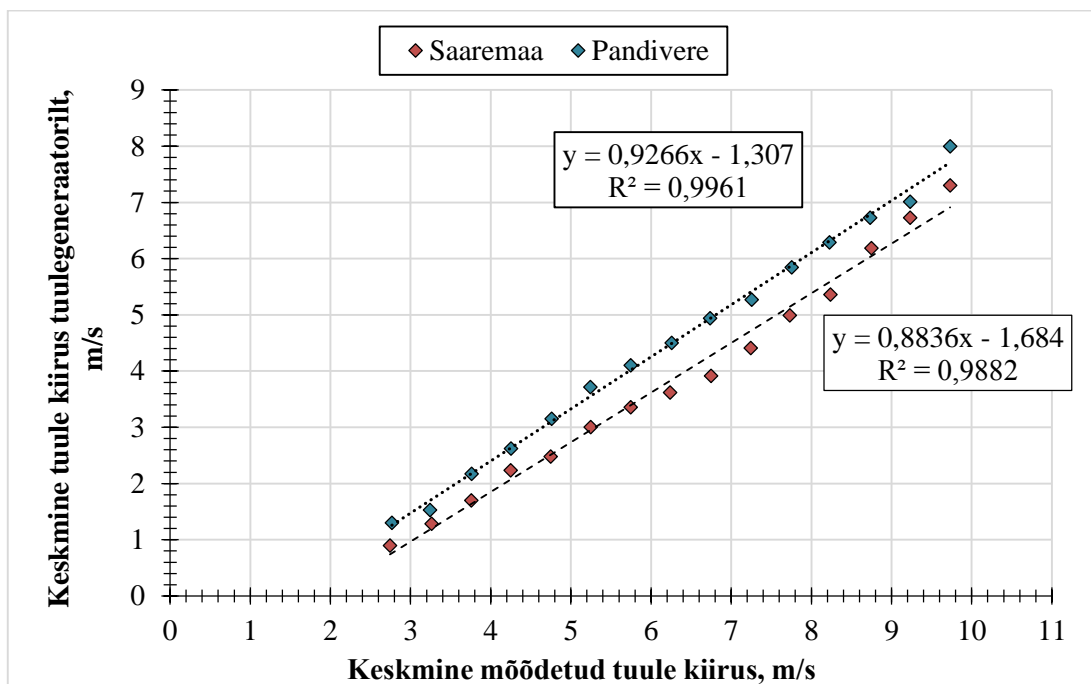


Joonis 1.1. Keskmised tuulekiirused tuulikute asukohtades mitmesugustel kõrgustel

Mõlemas asukohas teostatud tuulemõõtmiste tulemused on ootuspärased. Pandiveres jääb maapinna karedustegur vahemikku 0,15...0,2 ja Saaremaal paikneva tuuliku juures toimunud

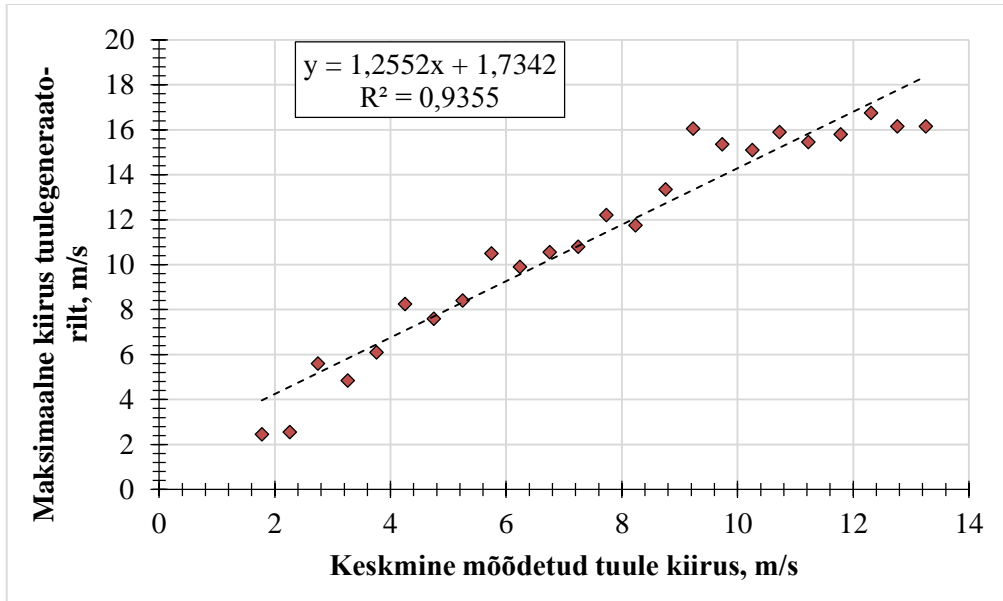
tuulemõõtmistest nähtub, et sealne maapinna karedustegur on suurem, jäädes vahemikku 0,25...0,30, kuid mõlemal juhul ühtivad tulemused kirjanduses antud väärtustega, mida omistatakse mõõtmiste asukohtades vaadeldud maastikutüübile.

Keskmine tuulekiirus mõõteperioodil mitmesugustel kõrgustel jäid vahemikku **5...5,99 m/s** (Pandivere) ning **5...6,44 m/s** (Saaremaa). Sealjuures tuleb arvestada, et tuulegeneraatoril paikneva tuulekiiruse mõõteseadme mõõtetulemused on mõjutatud tuulegeneraatorist ning elektrituuliku töötamisel ei kajasta tegelikke tuulekiiruste väärtusi (joonis 1.2).



Joonis 1.2. Keskmine tuule kiirus mõõdetuna tuulegeneraatorilt ning mõõtemastilt

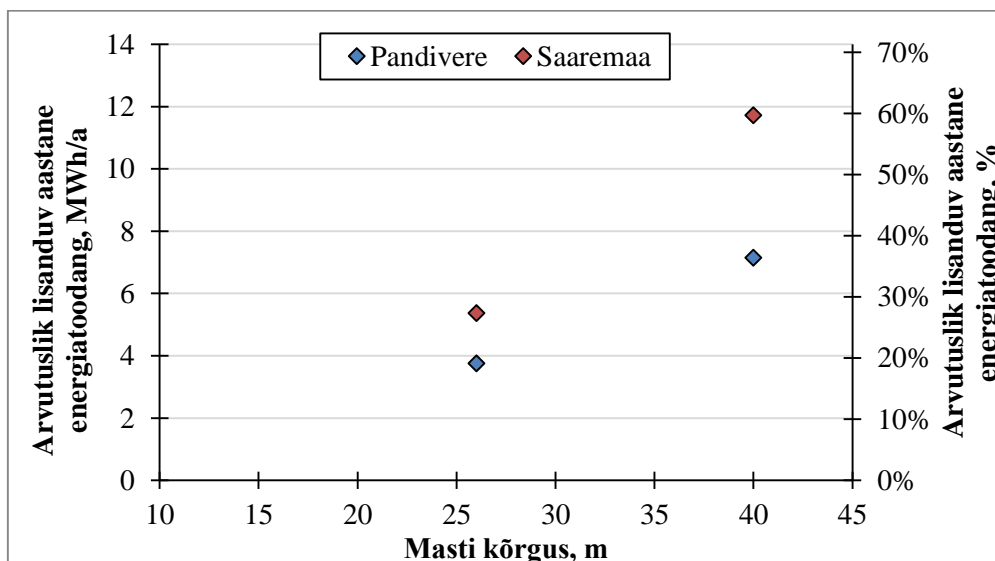
Ülaltoodud jooniselt on näha, et **olukorras, kus tuulegeneraator töötab, on tegelikud keskmised tuule kiirused märksa suuremad tuulegeneraatoril paikneva mõõteseadme näidust.** Sealjuures, juhul, kui tuule suund muutub ning tuulegeneraatori tiivik tuulest välja pöördub, **on tuulegeneraatoril paiknevalt mõõteseadmelt võimalik näha maksimaalväärtusi, mis tegelikku olukorda ei kirjelda** (joonis 1.3).



Joonis 1.3. Tuulegeneraatorilt nähtavaid maksimaalväärtusi ning 10 minuti keskmisi tegelikke tuule kiiruseid Saaremaal

Tuulemõõtmiste tulemuste usutavust kontrolliti statistiliste meetodite abil ning leiti, et mõõtetulemused on omavahel kooskõlas ja kasutatavad energiatoodangute ning majandusarvutuste lähteandmetena. Täpsemalt on tuulemõõtmiste tulemusi ning meetodikat kirjeldatud tervikdokumendis.

Kõrgema masti otsas paikneva tuulegeneraatori tõttu lisanduva aastase elektritoodangu (joonis 1.4) arvutamisel kasutati eeltoodud mõõtmistulemusi ning standardis EVS-EN 61400-12-1:2006 kirjeldatud aastase toodangu arvutusmeetodikat ja elektrituulikute teoreetilisi võimsuskõveraid.



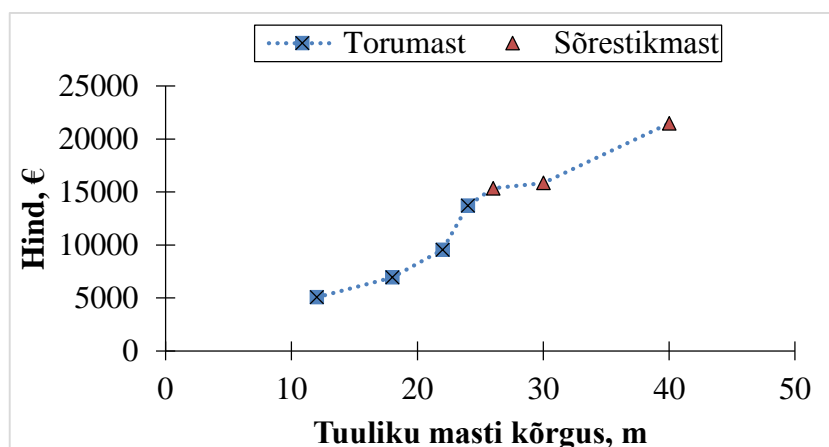
Joonis 1.4. Aastas lisanduv arvutuslik elektritoodang mitmesugustel kõrgusel

Tuules sisalduv energia on kuupsõltuvuses tuule kiirusest, mis tähendab, et olukorras, kus tuule kiiruse kasv ei pruugi tunduda märkimisväärne (joonis 1.1), siis toodangus toob see kaasa märkimisväärse muudatuse (joonis 1.4). Nagu näha, on tulenevalt suuremast keskmisest tuulekiirusest ning masti madalamast kõrgusest (16 m), Saaremaal paikneva tuuliku teoreetiline energiatoodangu kasv suurem kui Pandiveres paikneva tuuliku puhul.

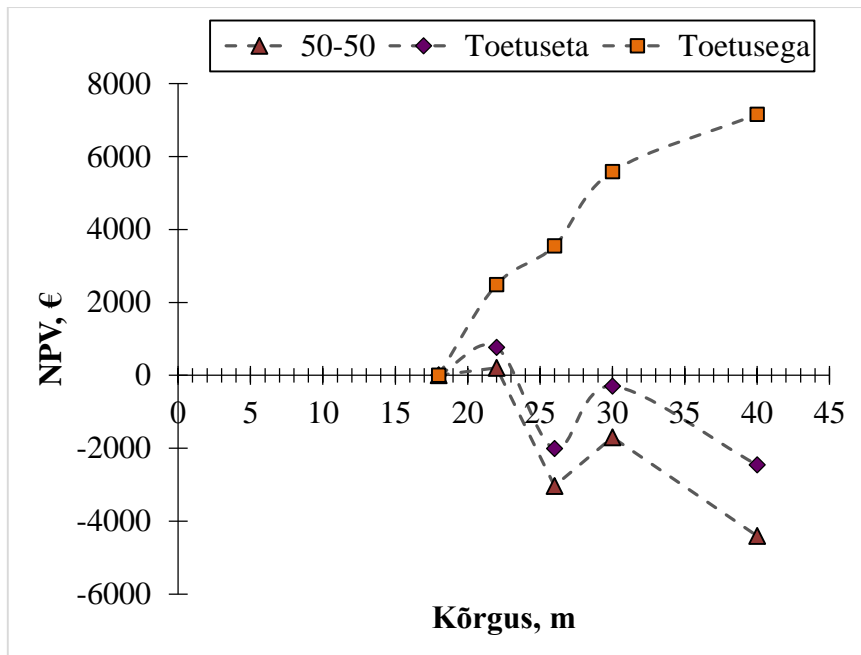
Käesoleva analüüsi lähteülesande kohaselt tuli leida kahe olemasoleva väiketuuliku jaoks optimaalne mastikõrgus, kasutades mõõdetud tuulekiiruseid ning tuulegeneraatorite arvutuslikke toodanguid mitmesugustel kõrgustel. Sealjuures lähtuti eeldusest, et **arvutused koostatakse olukorrale, kus kõrgema masti kasuks oleks otsustatud juba algsest.**

Majandusarvutused koostati, kasutades väiketuulikute aastaseid elektritoodanguid mitmesuguste mastikõrguste juures ning mastide orienteeruvaid maksumusi (joonis 1.5). Lisakulude (investeering) ning tulude (võrgust ostmata jääva elektri hind) põhjal arvatati lisainvesteeringu NPV (nüüdisväärtus) (joonis 1.6; joonis 1.8) ning IRR (tulu sisenorm) (joonis 1.7; joonis 1.9). Investeering on tasuv juhul, kui nüüdisväärtus on positiivne. NPV arvutamisel arvestati diskontoteguriks 6 %. Arvutused koostati järgmiste stsenaariumite jaoks:

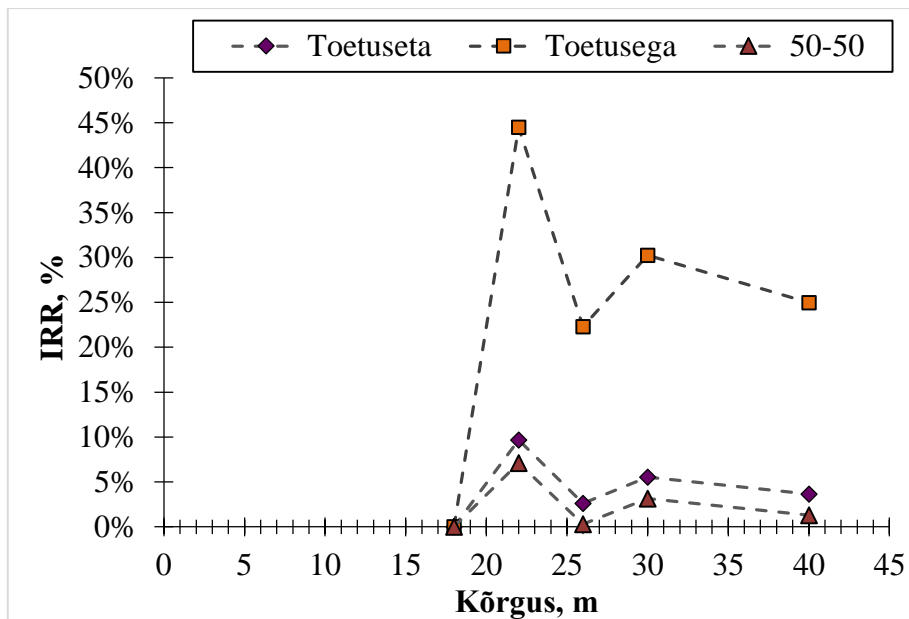
- toetuseta** – investeering tehakse täielikult omavahenditest, kogu toodang kasutatakse ära kohapeal.
- toetusega** – 70 % investeeringu maksumusest finantseeritakse toetuse abil, kogu toodang kasutatakse ära kohapeal.
- 50-50** – investeering tehakse omafinantseeringu abil, 50 % toodetud elektrist kasutatakse ära kohapeal, 50 % elektrist müüakse võrku (esimesed 12 aastat saadakse taastuvenergia toetust 53,7 €/MWh).



Joonis 1.5. Majandusarvutustes kasutatud mastimaksumused

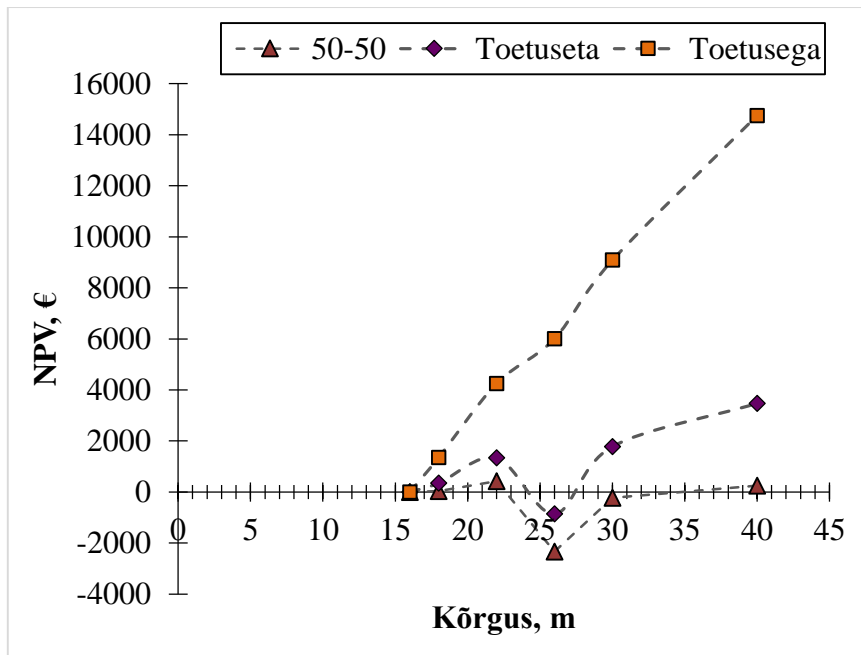


Joonis 1.6. Lisainvesteeringu NPV kõrgema masti kasutamisel Pandiveres

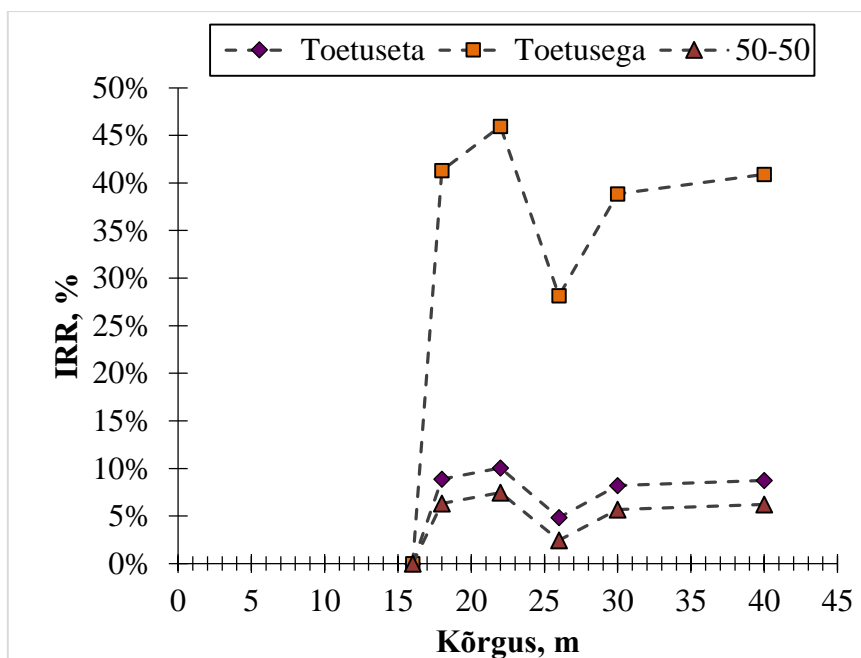


Joonis 1.7. Lisainvesteeringust saadava tulu sisenorm (IRR) kõrgema masti kasutamisel Pandiveres

On näha, et tulevalt kõrgemal sagedamini esinevatest suurematest tuulekiirustest (joonis 1.6), oleks ilma toetust kasutamata juba algselt kõrgema masti paigaldamisest tekkinud lisainvesteering olnud tasuv **19...23 m**-st masti kasutades (juhul, kui kogu toodang kasutatakse kohapeal). Kui investeering tehakse 70 %-lise toetuse abil, on NPV positiivne terve analüüsitava piirkonna ulatuses. Tulu sisenormi (IRR) väärtus oleks olnud suurim 22-m-se masti kasutamisel.



Joonis 1.8. Lisainvesteeringu NPV kõrgema masti kasutamisel Saaremaal



Joonis 1.9. Lisainvesteeringust saadava tulu sisenorm (IRR) kõrgema masti kasutamisel Saaremaal

Saaremaal paikneva tuuliku puhul (joonis 1.8), tulenevalt keskmise tuulekiiruse kasvust ilma toetuseta tehtud lisainvesteering olnud tasuv 17...23 m-st ning samuti 30...40 m-st masti kasutades. Toetusega investeering on sarnaselt Pandivere tuulikuga tasuv kogu analüüsitava kõrguste vahemiku ulatuses. Juhul, kui 50 % toodetud elektrist müükse võrku, oleks praeguste hindade ning toetuskeemi juures lisainvesteering tasuv olnud 22 ning 40 m-se masti paigaldamisel. Tulu sisenormi (IRR) väärtus oleks olnud suurim 22-m-se masti kasutamisel.

Optimaalne masti kõrgus sõltub suuresti kasutatavatest lähteeldustest ning analüüsitava piirkonna tuuleoludest. Töö koostajatele kasutada olnud kõrgemate **mastide maksumused olid suhteliselt suured ning vähendasid märkimisväärselt kõrgematel kõrgustel saadava lisatoodangu mõju.**

Käesolevas töös on leitud, et ilma investeeringutoetust kasutamata oleks analüüsitava objektide oleks analüüsitava objektide puhul **juba algselt tehtud lisainvesteering olnud optimaalne 22 m-st masti kasutades (Saaremaal ka 30 m-st masti kasutades).**

Investeeringutoetuse rakendamisel on kasutatud lähteelduste korral optimaalseks mastikõrguseks **30...40 m**. See tuleneb Eestis praegu kättesaadavate ning müüdavate hüdrauliliselt tõstetavate mastide maksimaalsest kõrgusest.

Maksimaalne tulu saadakse elektri tootmisest siis, kui kogu toodetud elekter tarbitakse ära kohapeal. Lisainvesteering ei oleks olnud tasuv enamike mastikõrguste juures olukorra jaoks, kus 50 % toodangust müüakse võrku. Seega on seega on mõistlik kasutada **tarbimise juhtimist** või valida juba algselt **tarbimismahtudele vastav elektrituulik**. Täpsem info majandusarvutuste aluseelduste ning tulemuste kohta on leitav analüüsi tervikdokumendist.