

International Telecommunication Union

ITU-R
Radiocommunication Sector of ITU

Aruanne

ITU-R

SM.2391-0

(06/2016)

**Tuuleturbiinide mõjud fikseeritud
raadiopeilingaatoritele**

**SM-seeria
spektrihaldus**



International
Telecommunication
Union

Eessõna

Raadioside sektori ülesanne on tagada raadiosageduse spektri ratsionaalne, õiglane, tõhus ja säästlik kasutamine kõigi raadioside teenuste poolt, sealhulgas satelliitsideteenused, ning teha uuringuid ilma sagedusvahemiku piiranguta, mille põhjal rakendatakse soovitusel.

Raadioside sektori regulatiivseid ja poliitika funktsioone täidavad ülemaailmsed ja piirkondlikud raadioside konverentsid ning Raadioside Assamblee, mida toetavad uuringurühmad.

Intellektuaalse omandi õiguste poliitika

ITU-R poliitikat intellektuaalse omandi õiguste osas kirjeldatakse ITU-T/ITU-R/ISO/IEC ühtse patendi poliitikas, millele on viidatud ITU-R 1 otsuse lisas 1. Patendiomanike patenditaotluste ja litsentsiavalduste esitamiseks kasutatavad vormid on saadaval veebiaadressil <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, kus on saadaval ka ITU-T/ITU-R/ISO/IEC ühtse patendi poliitika rakendamise juhend ja ITU-R patenditeabe andmebaas.

ITU-R aruannete seeria

(saadaval ka veebiaadressil <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>)

Seeria	Pealkiri
BO	Satelliitside tagamine
BR	Salvestamine tootmise, arhiveerimise, esitamise jaoks; film televisiooni jaoks
BS	Ringhäälingu sideteenus (heli)
BS	Ringhäälingu sideteenus (televisioon)
F	Paikne sideteenus
M	Mobiilside, raadiolokatsioon, amatöör- ja seotud satelliitsideteenused
P	Raadiolaine levi
RA	Raadioastronoomia
RS	Kaugjuhitavad andursüsteemid
S	Fikseeritud satelliitsideteenus
SA	Kosmoserakendused ja meteoroloogia
SF	Sageduse jagamine ja koordineerimine paiksete kosmoseside ja paiksete sidesüsteemide vahel
SM	Spektrihaldus

Märkus. See ITU-R aruanne kinnitati inglise keeles ITU-R 1 otsuses kirjeldatud protseduuri uuringurühma poolt.

Elektroniline väljaanne
Genf, 2016

© ITU 2016

Kõik õigused kaitstud. Ühtegi selle väljaande osa ei tohi paljundada mis tahes viisil ilma ITU kirjaliku loata.

ARUANNE ITU-R SM.2391-0

Tuuleturbiinide mõjud fikseeritud raadiopeilingaatoritele

(2016)

Aruande kokkuvõte

Olenemata ITU spektri monitooringu käsiraamatu nõuetest, mille kohaselt peab raadiopeilingaatorite ja tuuleparkide ohutuskaugus olema vähemalt viis kilomeetrit, ei ole praeguseks tehtud ühtegi eraldi uuringut tuuleturbiinide erimõjude osas fikseeritud raadiopeilingaatoritele erinevatele ohutuskaugustel.

Selle aruande lisas 1 on esitatud üks uuring tuuleparkide mõju kohta raadiopeilingaatoritele, mida kasutatakse erinevatel kaugustel ja erinevatel sagedustel.

Lisa 1**Näide Saksamaal korraldatud uuringust tuuleturbiinide mõju kohta fikseeritud raadiopeilingaatoritele****Lisa 1 kokkuvõte**

Uue piirkondliku plaani eelversioonis on tehtud ettepanek tuuleenergia prioriteedi määratlemiseks Bundesnetzagentur raadiomonitoringu jaama ümbristseval alal Rheurdtis, Saksamaal.

See uuring tuvastas, et fikseeritud raadiopeilingaatorite lähedal asuvad tuulepargid põhjustavad märkimisväärseid häireid. Isegi 4,6 km kaugusel põhjustavad tuulepargid tulemuste kohaselt lubamatuid direktsiooninurga kõrvalekaldeid ja häiretasemeid.

Kindlad häired erinevad märgatavalt olenevalt tuulepargi kaugusest ja asendist ning lainepikkusest. Pika lainepikkusega VHF-sagedusalade puhul (4 m ja 2 m) esinevad häired tavaliselt igas suunas olenemata tuulepargi kindlast asendist. Tuulepargi lähedal oleneb häiretase lühikese lainepikkusega UHF-sagedusalade (eriti 23 cm ja 13 cm) puhul üksikute tuuleturbiinide asendist ning suurte kauguste puhul toimib tuulepark tervikuna peegeldava pinnana. Nendes sagedusalades esineb direktsiooninurkade puhul ka suurel määral kõikumisi.

Peilimisvead võivad esineda äärmiselt hajutatud peilimistulemustena kõigis neljas kvadrantis, mõne diskreetse peilimisvea või direktsiooninurga puhul, mis kõiguvad fiktiivse keskmise väärtuse juures.

Lühikese lainepikkusega peilingaator käitub tuulepargis kaootiliselt. Isegi kui tuulepark asub 2,5 km kaugusel, on nõuetekohased direktsiooninurgad teoreetiliselt võimalikud ainult tuulepargiga risti paiknevas kitsas sektoris. 4,6 km kaugusel olukord paraneb, kuna olulisi peilimisvigu tuvastati ainult tuulepargi suunas ja selle vastassuunas. Kuid antud uuringusse ei kaasatud mõjusid lühikese lainepikkusega peilingaatorite taevalaine vastuvõtule.

Kõigi sagedusalade puhul on tuvastatud peilimisvead suuremad kui $\pm 20^\circ$ (ja mõnel juhul on isegi pöörlevad). Isegi üle 2° peilimisvead takistavad häirete õigeaegset uurimist turvateenuste sagedustel (politsei-, aeronavigatsiooni raadio jne) ja sageduse kasutamise tõhusat määratlemist kas häirete korral või sageduse hõivatuse kontrollimisel.

Tuvastatud tasemete kõikumised kuni 40 dB (mis võrdub 99,99% signaalikaoga), muudavad kalibreeritud väljatugevuse mõõtmised võimatuks ning ohustavad analoogsete ja digitaalsete raadioedastuste võimalikku vajaminevat dekodeerimist.

Uuring näitab, et tuuleturbiinid ja fikseeritud raadiopeilingaatorid ei ühildu kuni vähemalt 4,6 km vahemaade puhul. Tuvastatud häired näitavad selgelt, et sellistel juhtudel ei oleks enam võimalik juhtida Bundesnetzagenturi raadio monitooringujaama vastavalt asjakohastele nõuetele.

Lisa 1 sisukord*Lk*

1	Sissejuhatus	4
2	Sagedusalad	6
3	Mõõtmiste tegemine.....	6
4	Mõõtmispiirkonnad	7
	4.1 Tuulepargi mõõtmised	7
	4.2 Võrdlusmõõtmised	8
5	Mõõtmisseadmestik	11
	5.1 Peilimissõiduk.....	11
	5.2 Edastussõiduk	11
6	Direktsiooninurga arvutamine	15
7	Peilingaatorite asukohad	15
	7.1 Peilingaator 0 – tuulepargi keskel	15
	7.2 Peilingaator 1 – tuulepargi servas	17
	7.3 Peilingaator 2 – 2,5 km kaugusel.....	18
	7.4 Peilingaator 3 – 4,6 km kaugusel.....	19
8	Mõõtmisteed	20
9	Peilimistulemused.....	
	22	
	9.1 Võrdlusmõõtmised	22
	9.2 Mõõtmiste seeriad	33
10	Tasemete mõõtmised	63
	10.1 Süsteemi tundlikkus	65
	10.2 Registreerimine ajadomeenis.....	65
	10.3 Tasemete analüüs	69

1 Sissejuhatus

Bundesnetzagentur (föderaalne elektri-, gaasi-, telekommunikatsiooni-, posti- ja raudteeamet) on eraldiseisev kõrgem föderaalamet, mis kuulub föderaalsete majandus- ja energiaministeeriumi tegevusalasse ning mille peakontor asub Bonnisis. Vastavalt telekommunikatsiooniseadusele kuulub selle ülesannete hulka sageduse reguleerimine Saksamaa Liitvabariigis, sageduse määratluse tingimustele vastavuse jälgimine, häirete uurimine seoses sageduse kasutamisega ja sellest tulenevate rikkumiste heastamine.

Seepärast juhib Bundesnetzagentur kogu Saksamaal seitset raadio monitooringujaama, mis on varustatud raadiopeilingaatorite seadmestikuga ning on registreeritud ja tunnustatud Rahvusvahelise Telekommunikatsiooni Liidu (International Telecommunication Union (ITU)) poolt. Need monitooringujaamad suudavad tuvastada raadioedastuse suuna oma asukoha suhtes. Seejärel saab antud teabe põhjal määratleda edastuse tõenäolise asukoha. Nendest seitsmest raadio monitooringujaamast on suurte kaasnevate investeerimiskulude ja nende seadmete asukoha topograafiliste nõuete tõttu ainult neli varustatud täiendavate lühikese lainepikkusega peilingaatoritega.

Raadio monitooringujaam Krefeld/Rheurdt



Lühikese lainepikkusega peilingaator



Üks selline asukoht on Rheurdti raadio monitooringujaam Krefeldi lähedal. Tänu homogeensele keskkonnale ning lisaks ümbritsevatest hoonetest tingitud valekiirguste ja peilimisvigade vältimiseks ehitati lühikese lainepikkusega peilingaator hoonest eemale, seda juhitakse kaugjuhtimise teel ning see paikneb tasasel maastikul, mida kasutatakse ainult põllumajanduse otstarbel.

Peilingaatori kasulikkus, mis põhineb täpsete peilimistulemuste tagamise kindlusel, on selle asukohast. Selle vastuvõtuväli ei tohi sisaldada takistusi ja seda ei tohi mõjutada ümbritsevatest struktuuridest tulenevad häired (nt inimtekitaatud müra tööstus- ja kaubanduspiirkondades). Kui vähegi võimalik, paigutatakse peilingaatorid arenenud piirkondadest kaugemale.

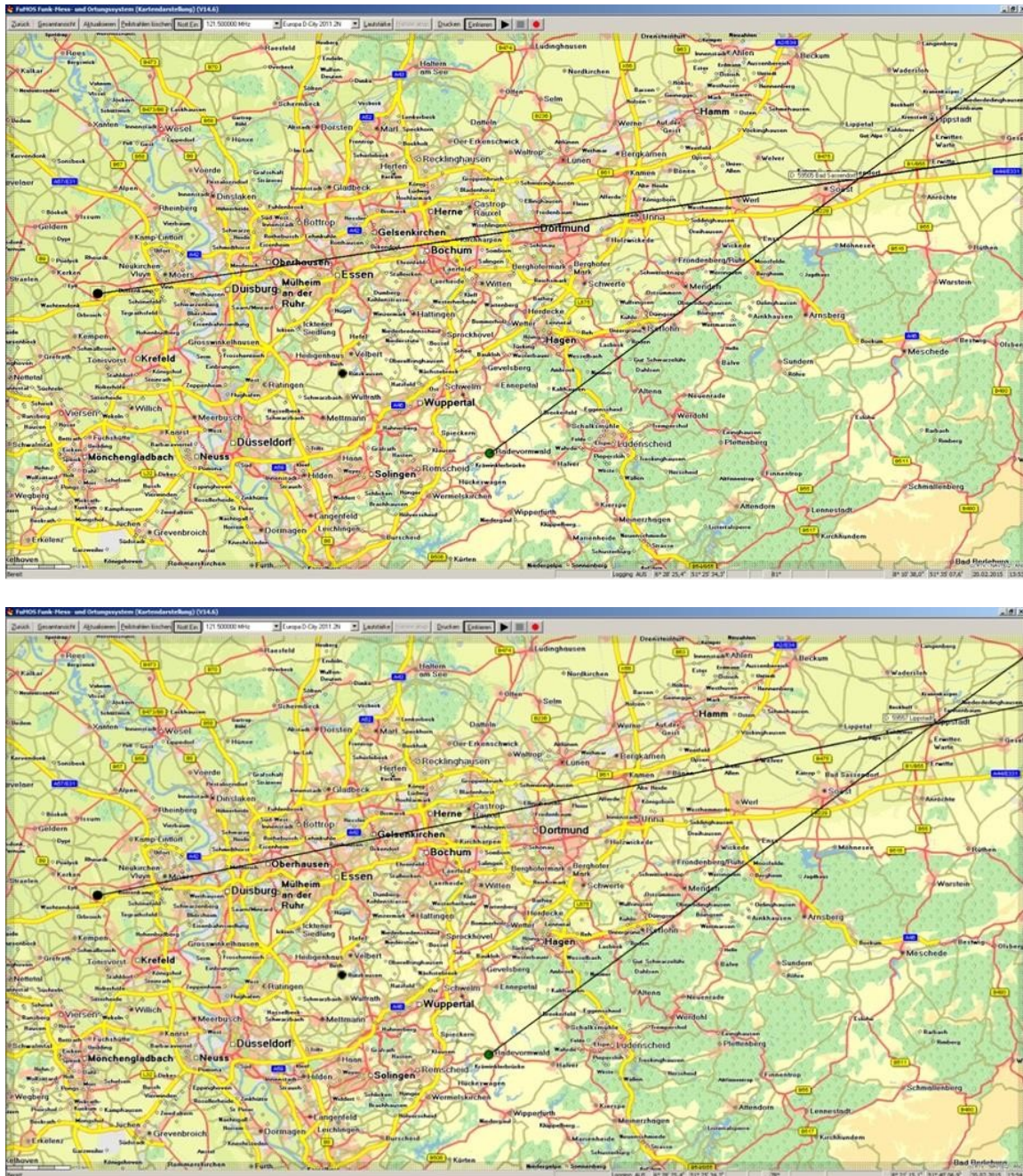
Peilimissüsteemide tootjad määratlevad süsteemi nõuetekohaseks toimimiseks vajaliku takistuste puudumise kvaliteedi vastavalt kokkulepitud tingimustele. Lisaks arvestatakse süsteemioperaatori nõuetega, mis on loetletud vastavalt asjakohaste sagedusalade tähtsusele. Turvateenustel, nagu aeronavigatsiooni raadio, politseiraadio ja päästeteenistus, on kõrgem prioriteet ning neid tuleb uurida palju kiiremini kui teisi sagedusalasid, nt amatööraradio, mille puhul kasutatakse raadiosagedusi ainult vabaaja otstarbel.

Krefeldis/Rheurdtis kasutatava lühikese lainepikkusega peilingaatori puhul ütleb tootja (ettevõtte Plath, mis asub Hamburgis), et takistusi ei tohi olla 2000 m raadiuses, mis on kujutatud koonusega 3° tõusunurgaga peilingaatori keskosast. See tähendab, et 2000 m ulatuses võivad olla hooned maksimaalse kõrgusega umbes 105 m ($2000 \text{ m} \times \tan 3^\circ \approx 105 \text{ m}$). Tuuleparkide puhul tuleb

arvestada ka laba tipu maksimaalse kõrgusega, kuna pöörlemiskiirus ja pöörlemissuund mõjutavad määra, mille võrra laba pöörlemisala raadiovastuvõttu takistab. Lühikese lainepikkusega peilingaatorite puhul moodustab umbes 3,8 km takistusteta ala lubatud vahemaa, kuhu on planeeritud tuuleturbiinid kõrgusega 190 m.

200 km kaugusel põhjustab kõigest 3° peilimisviga 10,5 km direktsiooninurga kõrvalekalde ja sellest tulenevalt võimaldab tuvastada asukohta, kust edastus tehti.

Peilingu väärtus muutus 81°-lt 78°-le Rheurdlist



Kõigest 3° peilimisvea näite põhjal nihkub sihtala Soesti linnast Lippstadti linna 10 km kaugusel.

Sellest tulenevalt soovib ITU spektri monitooringu käsiraamat (mis hõlmab ülemaailmselt kohaldatavaid suuniseid raadio monitooringujaamade püstitamiseks) tagada raadio monitooringujaamade ja üksikute tuuleturbiinide puhul 2000 m vahemaa ning ohutusala tuuleparkidest 5000 m ulatuses ümber raadio monitooringujaama.

Selle uuringu läbiviimise põhjuseks oli planeeritud tuuleenergia eelisala määramine Rheurdtis asuva fikseeritud raadio monitooringu ja raadiomonitooringu ja järelevalveteenuse vastuvõtusüsteemi ümber vastavalt Düsseldorf piirkondliku administratsiooni piirkondliku plaani ettepanekule. Antud uuringu eesmärgiks on tuvastada ette nende kõrgsageduse (HF) ja ülikõrge sageduse / ultrakõrgsageduse (VHF/UHF) peilingaatorite plaanide võimalikud mõjud ning määratleda kriitilise tähtsusega kaugus tuuleturbiinidest, alates millest on need mõjud lubatud.

2 Sagedusalad

Uuringu käigus vaadeldi kõiki asjakohaseid VHF-/UHF-sagedusalasid. Järgmises tabelis on toodud ülevaade üksikutest sagedusaladest ja nende peamistest kasuteguritest.

Sagedusala	Lainepikkus	Raadiokasutuse tüüp
65–87,5 MHz	4 m	Ühiskonna turvalisusega seotud ametivõimud ja organisatsioonid (politsei, tuletõrje, päästeteenistus), kaitsevägi, raudteed, suletud raadioside (PMR), kohapealne kaugotsing, abiringhääling
108–174 MHz	2 m	Aernavigatsiooni raadio, ühiskonna turvalisusega seotud ametivõimud ja organisatsioonid, kaitsevägi, taksoraadio, ettevõttesisesed raadiorakendused, liikuv mereside ja siseveeteede sideteenus, amatöör raadio
400–470 MHz	70 cm	Ühiskonna turvalisusega seotud ametivõimud ja organisatsioonid, analoogne ja digitaalne magistraal-mobiilside, ettevõttesisesed raadiorakendused, amatöör raadio, mobiilse andmeside teenused,
800–1100 MHz	30 cm	Mobiilside, kaitsevägi, aeronavigatsioon, raadiolokatsioon, radioastronoomia
1200–1400 MHz	23 cm	Raadiolokatsioon (radar, GPS, Galileo), satelliitside, amatöör raadio
2000–3000 MHz	13 cm	Mobiilside, WLAN, ühiskonna turvalisusega seotud ametivõimud ja organisatsioonid, raadiorelee, satelliitside, kaitsevägi, aeronavigatsioon, raadiolokatsioon, radioastronoomia, amatöör raadio

Märgitud lainepikkusi tuleks vaadata eraldi sagedusalade näidetena.

3 Mõõtmiste tegemine

Mõõtmistel osalesid järgmiste osapoolte erinevad kombinatsioonid:

- Darmstadt raadiomonitooringu ja järelevalveteenus
- Rheurdti raadiomonitooringu ja järelevalveteenus
- tarkvaraarendus „GPS_Azimuth“ (vt § 6).

Mõõtmised tehti vahemikus 26. kuni 30. jaanuar 2015 ja 5. kuni 8. veebruar 2015 tuulepargis ja selle ümber Harenis (Ems) ning võrdlusemõõtmised tehti vahemikus 18. kuni 20. veebruar 2015 avatud maastikul Kerken-Aldekerki lähistel.

4 Mõõtmispiirkonnad

4.1 Tuulepargi mõõtmised

Enne mõõtmisi tuli leida föderaalset territooriumil tuulepark, mis vastaks järgmistele kriteeriumitele:

- piisavalt suur arv uusima põlvkonna tuuleturbiine;
- tasane maastik;
- vähearendatud maa tuulepargist 5 km raadiuses;
- lehiste puude mõjude puudumine.

Kokkuvõttes valiti tuulepark Harenis (Emsland), kuna see paistab vastavat kõige paremini ülaltoodud kriteeriumitele. Tuulepark Harenis koosneb 29 tuuleturbiinist, see kuulub Hareni/Emsi linna piirkonda ja asub Rütenmoori rajoonis Hollandi piiri vahetus läheduses. Puhastatud ala, mis oli varem nõmm, on umbes 296 ha suurune ja seda kasutatakse praegu aktiivselt põllumajanduse otstarbel.

Tuulepark Harenis (Ems)



Tuuleturbiinid 29 ENERCON E-70-4 efektiivvõimsusega 2 MW ja tuuleturbiinid ENERCON E-66-1 efektiivvõimsusega 1,8 MW ehitati tuulepargi territooriumil. Kõigi turbiinide rummu kõrgus on sama (98 m). Turbiinid on varustatud tiptasemel rootorilabade (teravnevate otstega), mis tagavad parema tuuleenergia kasutuse.

Tuulepark Harenis
(sinised täpid tähistavad tuuleturbiinide asukohta)



4.2 Võrdlusmõõtmised

HF-vahemiku ja VHF-/UHF-vahemiku jaoks mõeldud peilimisantennide tootja tehniliste andmete kohaselt on maksimaalne lubatud peilimisviga on $\leq 2^\circ$ RMS-i.

1.3 Tehnilised andmed

Sagedusvahemik (kahe alamvahemikus)	VHF / UHF I UHF II	20 MHz kuni 1300 MHz 1300 MHz kuni 3000 MHz
Antenni tüüp	VHF / UHF I UHF II	1 üheksa elemendiga ja 1 kaheksa elemendiga ringmassiiv
Polarisatsioon		vertikaalne
Nimitakistus		50 Ω
Peilimisviga ¹		≤ 2° RMS
Peilimistundlikkus ² (vt joonist 4-1)		12 μV/m kuni 1,0 μV/m tüüpiline < 2 μV/m tüüpiline 2,5 μV/m kuni 10 μV/m tüüpiline
Antenni faktor (vt joonist 4-2)	20 MHz kuni 200 MHz 200 MHz kuni 1300 MHz 1300 MHz kuni 3000 MHz	vt ka liidese kirjeldust 4071.4004.01 SB
Lineaarsus		IP2: 65 dBm tüüpiline IP3: 30 dBm tüüpiline
Ühendused	DF1 DF2 DF3 CAL juhtimine ja toiteallikas kompassi ühendus	N-tüüpi emane N-tüüpi emane N-tüüpi emane N-tüüpi emane SJT-07GS-12-35P-014 SJT-07GS-10-35S-RF45
Toiteallikas (peilimise protsessori poolt)	pinge vool	15 V alalisvool kuni 18 V alalisvool < 1,6 A
Mõõtmed	läbimõõt kõrgus piksevarda pikkus	u 1,1 m u 0,45 m u 1,4 m koos piksevardaga u 1 m

¹ Mastil peegeldusvabas keskkonnas. RMS-i väärtus on arvatud peilimisväärtuste põhjal, mis on keskmistatud asimuudile ja sagedusele. Õhukestel mastidel (4 kuni 8 m) võib sagedusvahemikus 20 kuni 40 MHz tekkida täiendavad peilimisvead kuni 2° võimaliku iseresoneerimise tõttu.

² Peilimise ribalaius 0,6 kHz, keskmine aeg 1 s, peilimisvead ≤ 2°.

Selle teabe kinnitamiseks tehti HF- ja VHF-/UHF-antennide võrdlusemõõtmised mehitatud raadio monitooringujaama lähedal tasasel maastikul, mida kasutatakse põllumajanduse otstarbel, Kerkeni küla lähistel.

HF-i ja VHF-/UHF-i võrdlusmõõtmised



Need mõõtmised näitavad, et homogeenses keskkonnas, mida mõjutab ehitistest, nagu tuuleturbiinid, tulenevad häired, on üsna võimalik püsida tootja märgitud maksimaalse peilimisvea $\pm \leq 2^\circ$ RMS-i piires. Lisateavet vt § 9.1.

5 Mõõtmisseadmestik

5.1 Monitooringu sõiduk

Poolfikseeritud peilingaatorina oli monitooringu sõiduk Mercedes Sprinter varustatud peilimissüsteemi ja peilimisantennidega (sagedusalad 30 kuni 3000 MHz ja 1 kuni 30 MHz). Peilimisantenne kasutati teleskoopmastil 8 m kõrgusel maapinnast.

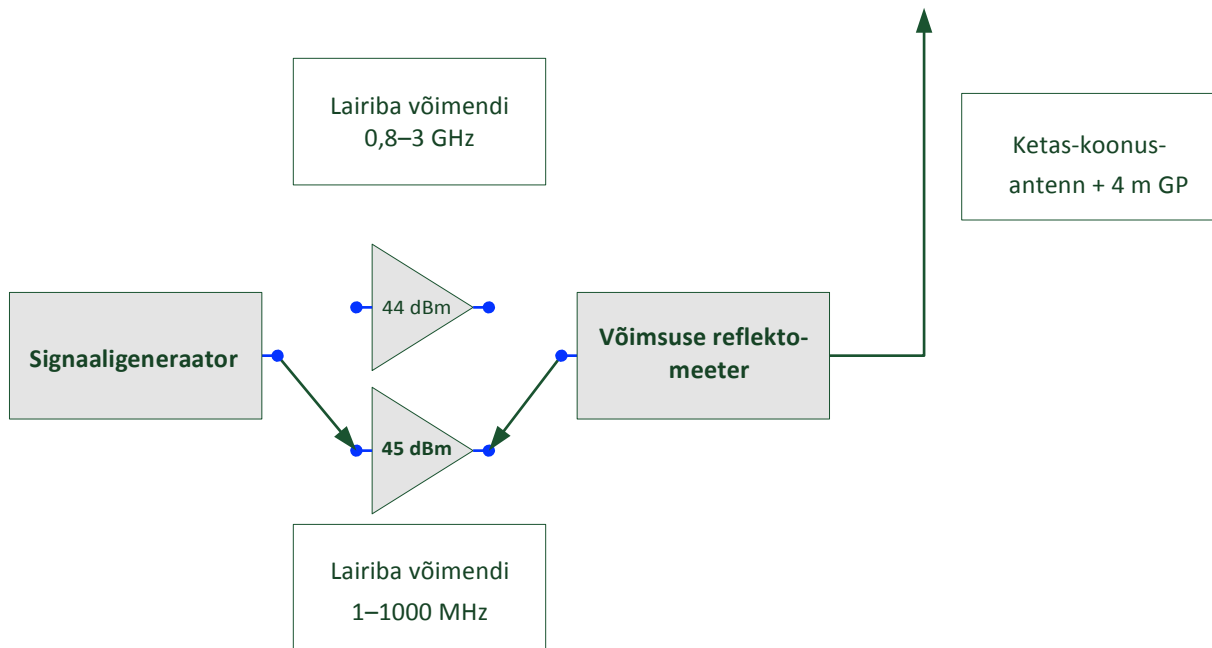


Siseside jaoks kasutati sama tootja kaasaskantavaid raadiosaatjaid ja relee lõppseadet.

5.2 Edastussõiduk

Edastussignaali tekitamiseks kasutati signaaligeneraatorit ja vajaduse korral võimendati edastusvõimsust lairiba võimendite abil kuni 25 W-ni. Sageduste 146, 440, 971, 1300 ja 2400 MHz puhul kasutati edastusvõimelist lairiba ketas-koonusantenni ning sageduse 87,45 MHz puhul veel ühte maanduspinna antenni. Mõlemaid antenne kasutati 10 m teleskoopmastile paigaldatuna Mercedes Sprinteri monitooringu sõidukis.

VHF-/UHF-saatja plokkiskeem



Monitooringu sõiduk 10 m masti ja saateantenniga

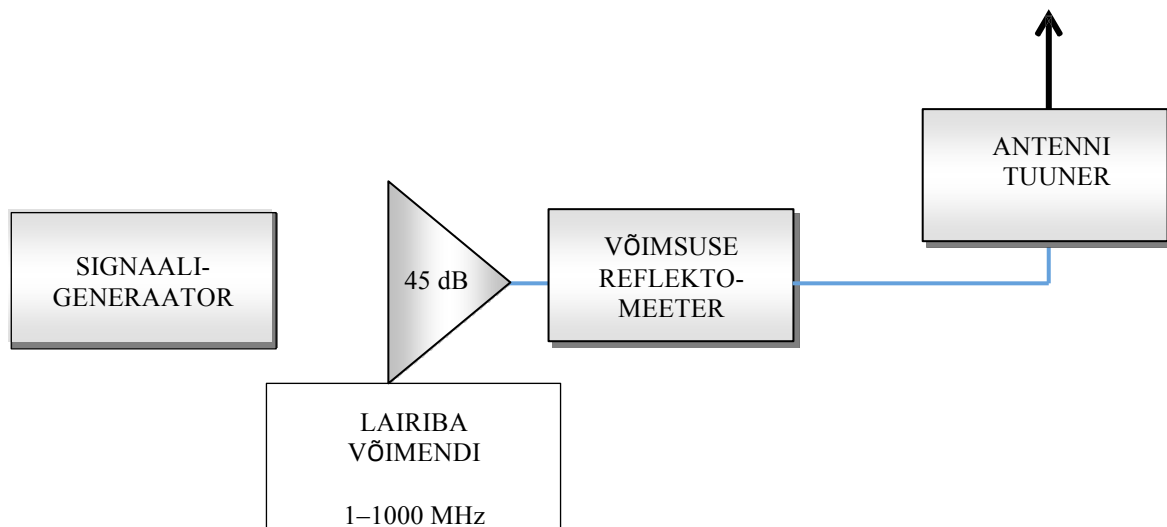


Võimendid



Pärast võimendust (kui vaja) tehti HF-vahemiku edastused (5,46, 14 ja 28 MHz) antenni häälestusseadme (ATU) ja umbes 3 m pikkuse vertikaalantenni abil.

HF-saatja plokk skeem



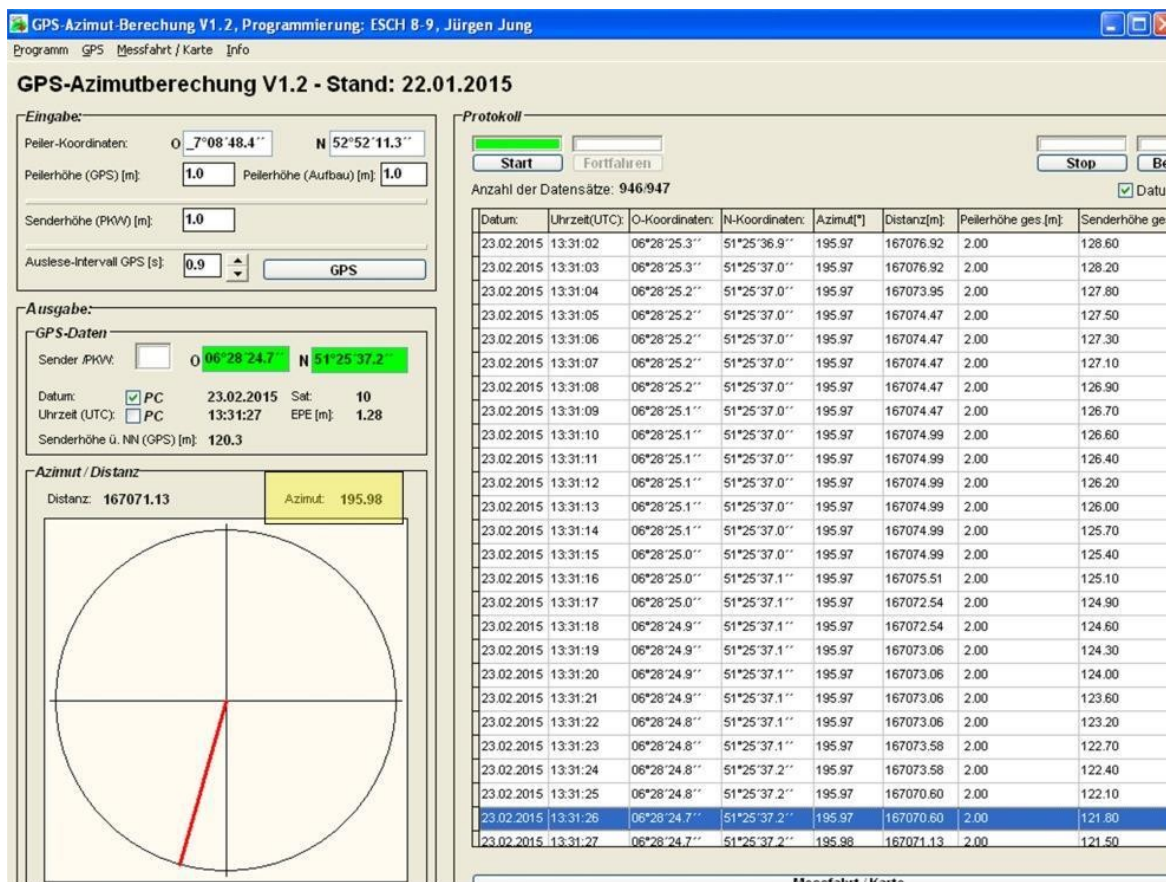
Monitooringu sõiduk vertikaalse HF-antenniga



6 Direktsiooninurga arvutamine

Bundesnetzagentur ettevõttesiseselt arendatud programmi „GPS_Azimut“ kasutati asimuudi arvutamiseks peilingaatorist saatjani (siht direktsiooninurk) edastussõiduki iga asukoha puhul. See arvutab automaatselt direktsiooninurga peilingaatori koordinaatide ja sõiduki koordinaatide põhjal vastavalt GPS-vastuvõtja andmetele.

Programmiüides „GPS_Azimut“ (direktsiooninurk märgitud kollaselt)

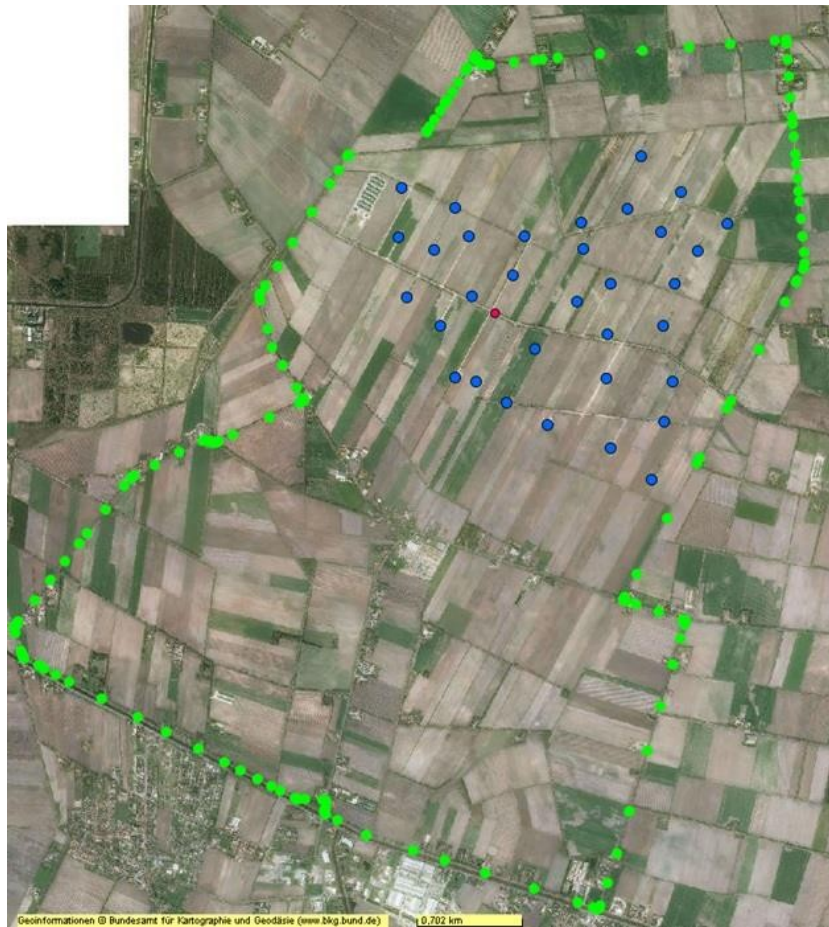


7 Peilingaatorite asukohad

7.1 Peilingaator 0 – tuulepargi keskel

Tuulepargi keskel asuva peilingaatori asukoha valik vastab olukorrale, mida on oodata, kui piirkondliku administratsiooni kavatsetud piirkondlik plaan tuuleenergia eelislala „Ker_Wind_007“ määratlemiseks rakendatakse ettepaneku kohaselt. Sellisel juhul on peilingaator igast küljest tuuleturbiinidega ümbritsetud. Mõõtmistulemused on esitatud § 9.2.1.

Peilingaatori asukoht (punane punkt), mida ümbritsevad tuuleturbiinid (sinised punktid)



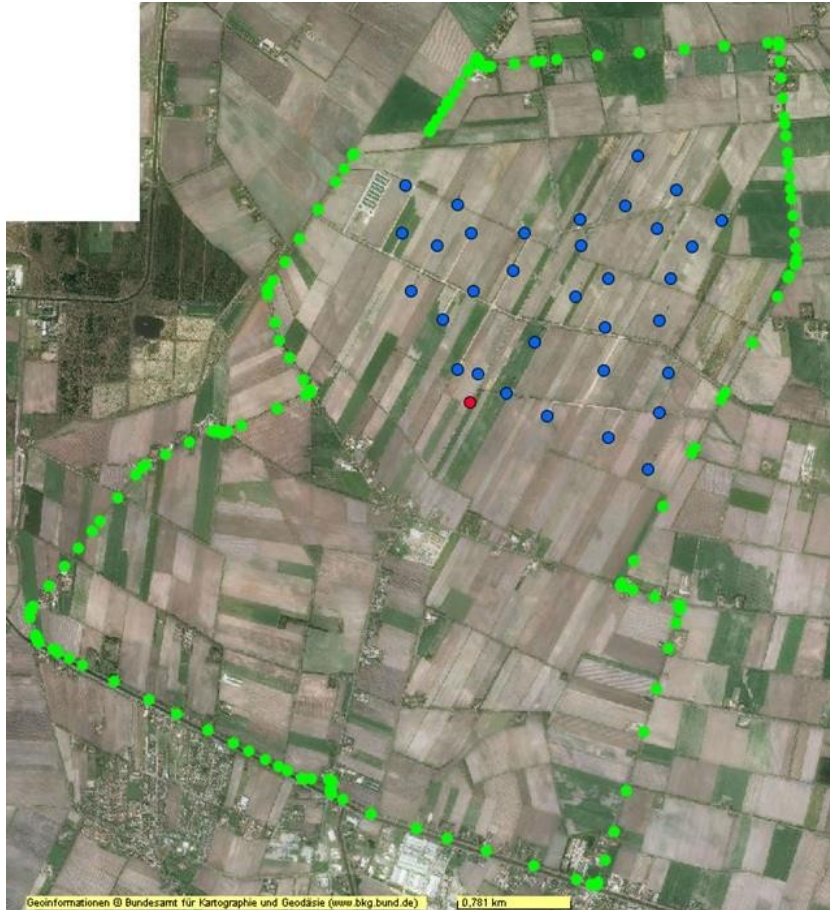
Peilingaatori asukoht tuulepargis



7.2 Peilingaator 1 – tuulepargi servas

Peilingaator asub tuulepargi servas, kus lõuna suunas on tagatud takistusteta vaade ja põhja suunas jäävad tuuleturbiinid. Mõõtmistulemused on esitatud § 9.2.2.

Peilingaatori asukoht (punane punkt) tuulepargi servas (sinised punktid)



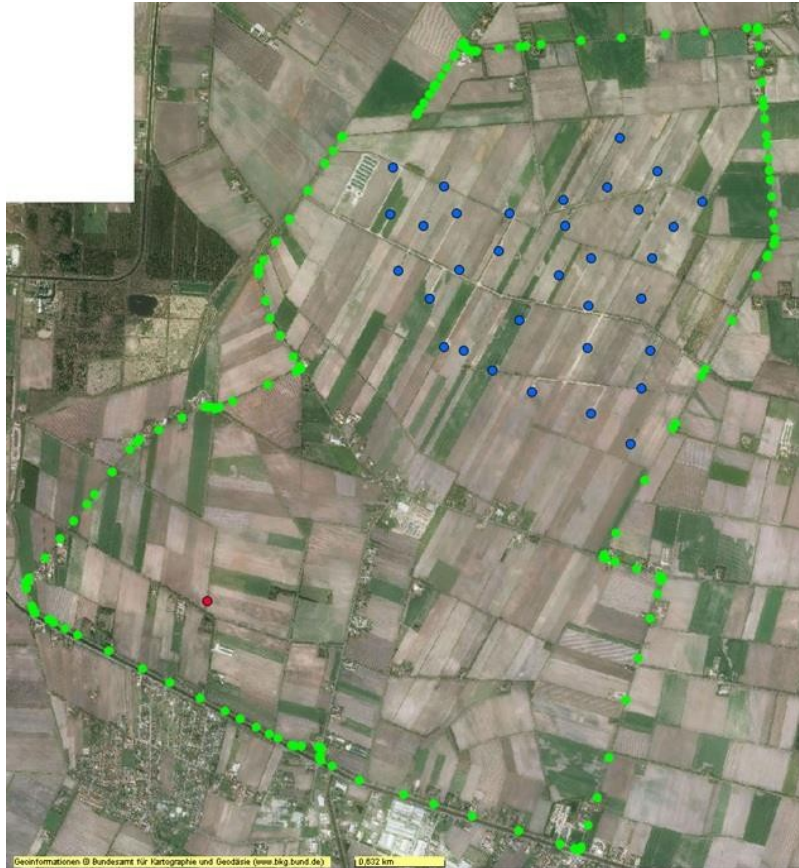
Peilingaatori asukoht tuulepargi servas



7.3 Peilingaator 2 – 2,5 km kaugusel

Peilingaator asub umbes 2,5 km kaugusel, kus kirde suunas on tagatud takistusteta vaade. Mõõtmistulemused on esitatud § 9.2.3.

Peilingaatori asukoht (punane punkt) tuulepargist edelas (sinised punktid)



Peilingaator 2,5 km kaugusel tuulepargist (nähtav taustal)



7.4 Peilingaator 3 – 4,6 km kaugusel

Peilingaator asub tuuleturbiinidest kõige kaugemal (4,6 km). Mõõtmistulemused on esitatud § 9.2.4.

Peilingaator (punane punkt) 4,5 km kaugusel tuulepargi servast (sinised punktid) linnulennult



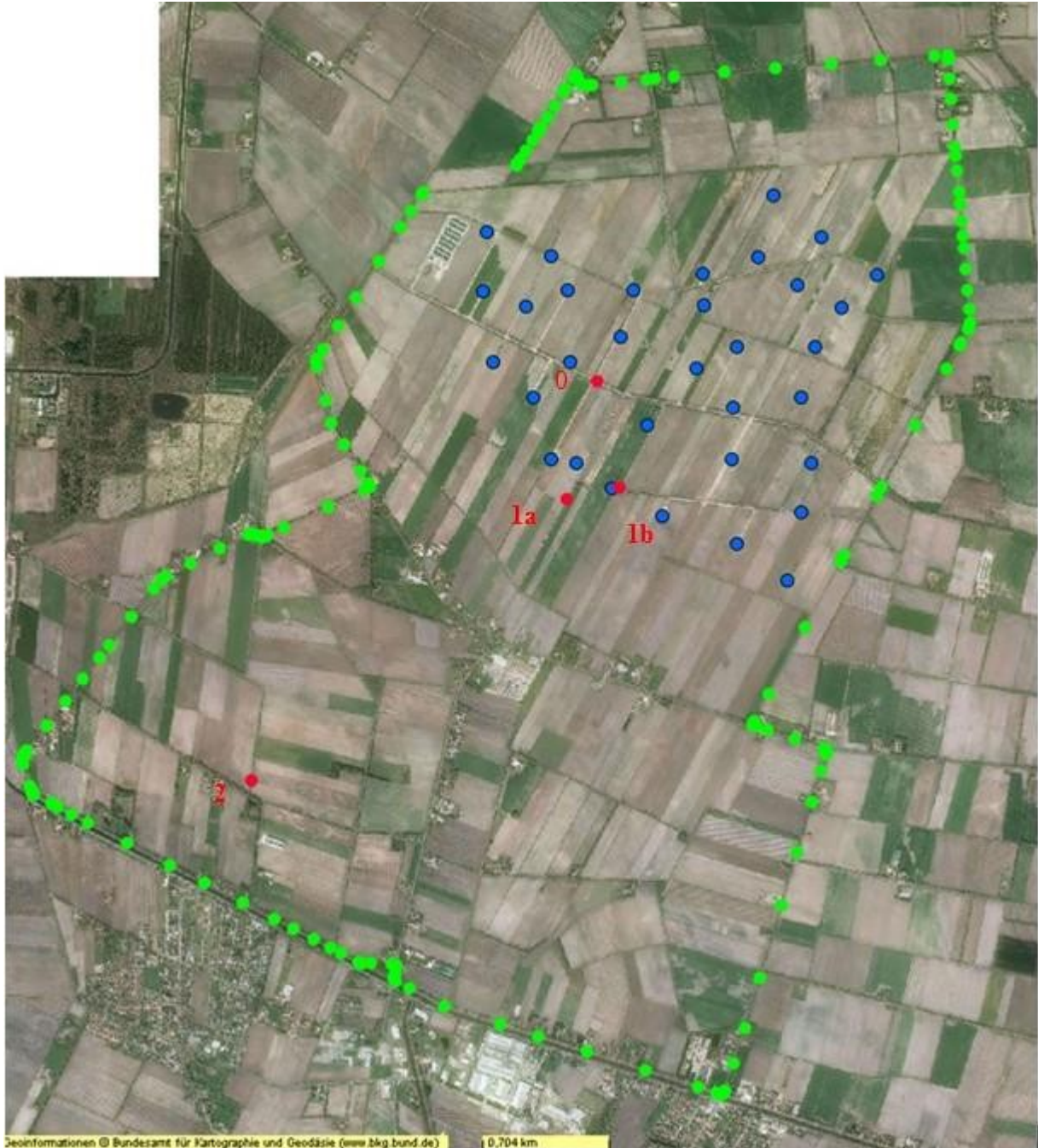
Peilingaator 4,6 km kaugusel tuulepargist



8 Mõõtmisteed

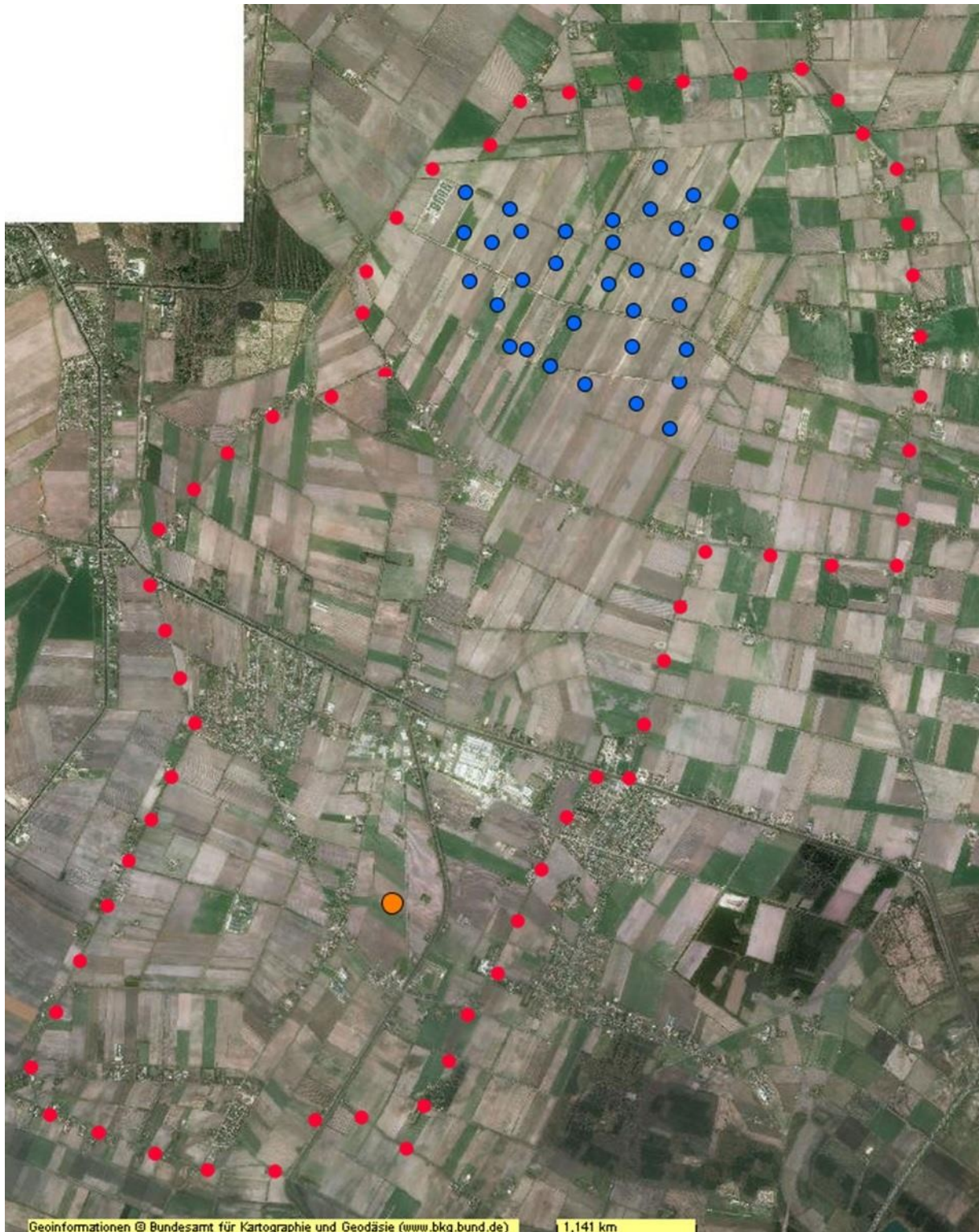
Edastussõidukit Mercedes Sprinter liigutati 10° sammuga peilingaatori ja tuulepargi asukoha ümber mööda roheliste punktidega näidatud teed. Marsruudi planeerimisel tuli arvestada olemasoleva taristuga. Mõned lõigud ei olnud sillutatud ja neile pääses ligi ainult Mercedes Sprinteri neljarattaveo režiimi abil.

Edastustee (rohelistel punktidel) tuulepargi ja peilingaatorite 0–2 ümber



Peilingaatori 3 puhul tuli edastusteed (punaste punktide joon) oluliselt pikendada, et peilingaator ja tuulepark jääksid mõõtmisalasse.

Mõõtmistee (punased punktid) tuulepargi ja peilingaatori 3 ümber



9 Peilimistulemused

9.1 Võrdlusmõõtmised

Järgmistel lehtedel toodud graafikutes on raadiomonitoringu ja järelevalveteenuse fikseeritud peilingaatorite kõrvalekalde vahemik märgitud värviliselt. Ennekõike on see arvatud peilimissüsteemi tehniliste andmete (vt § 4.2) ja peilimisvigade mõjude (vt § 1) põhjal.

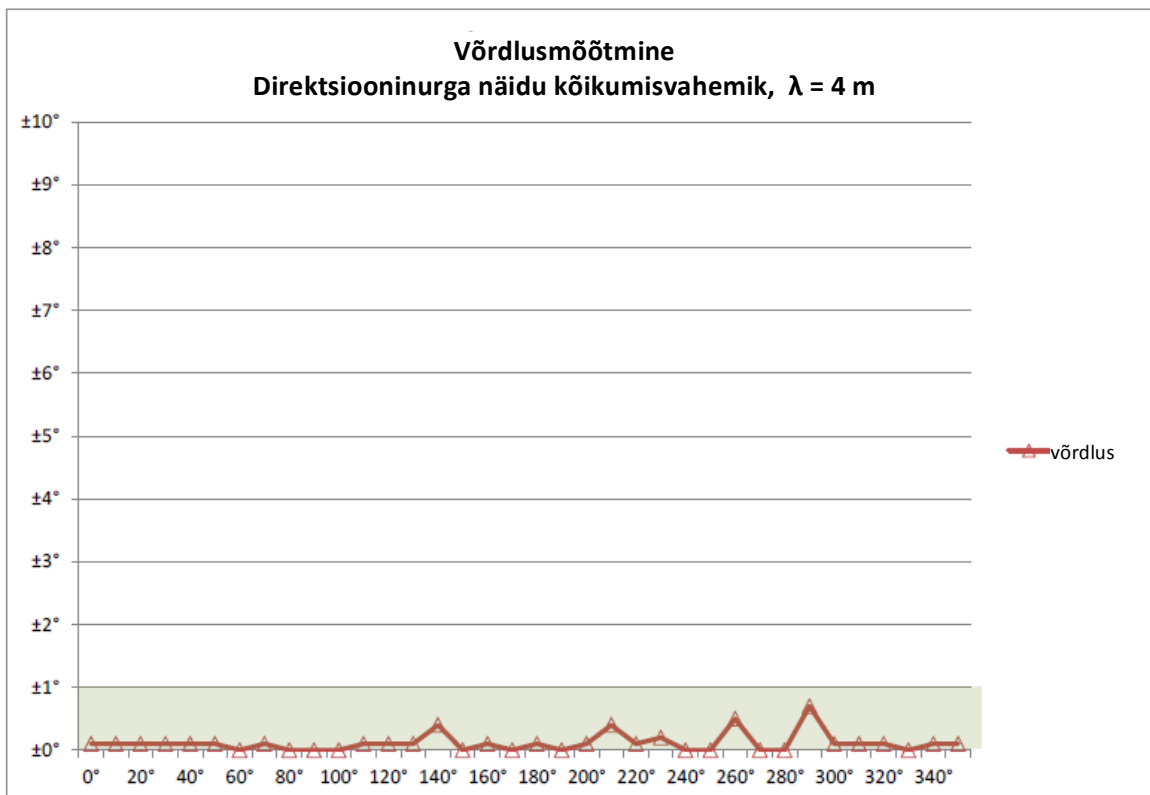
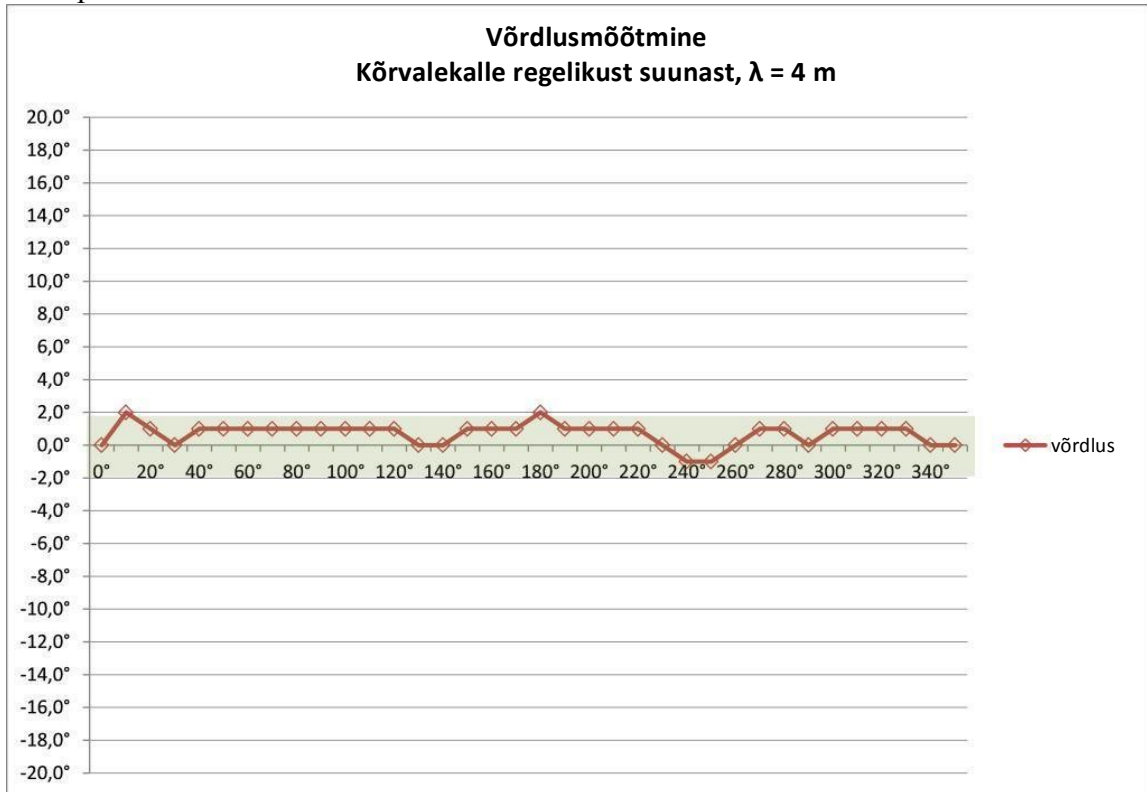
Nagu eelnevalt mainitud, tuleb fikseeritud raadiopeilingaatorid paigaldada piisava kõrgusega mastidele, mis on paigutatud oma funktsiooni täitmiseks takistusteta asukohta. Seda arvestades seisneb väljakutse selles, kuidas neid tingimusi kaasaskantava mõõtmisseadmestiku abil korrata, nii et piiratud kuludega oleks võimalik teha uuringuid, mille tulemusi saaks fikseeritud peilingaatorite puhul kohaldada.

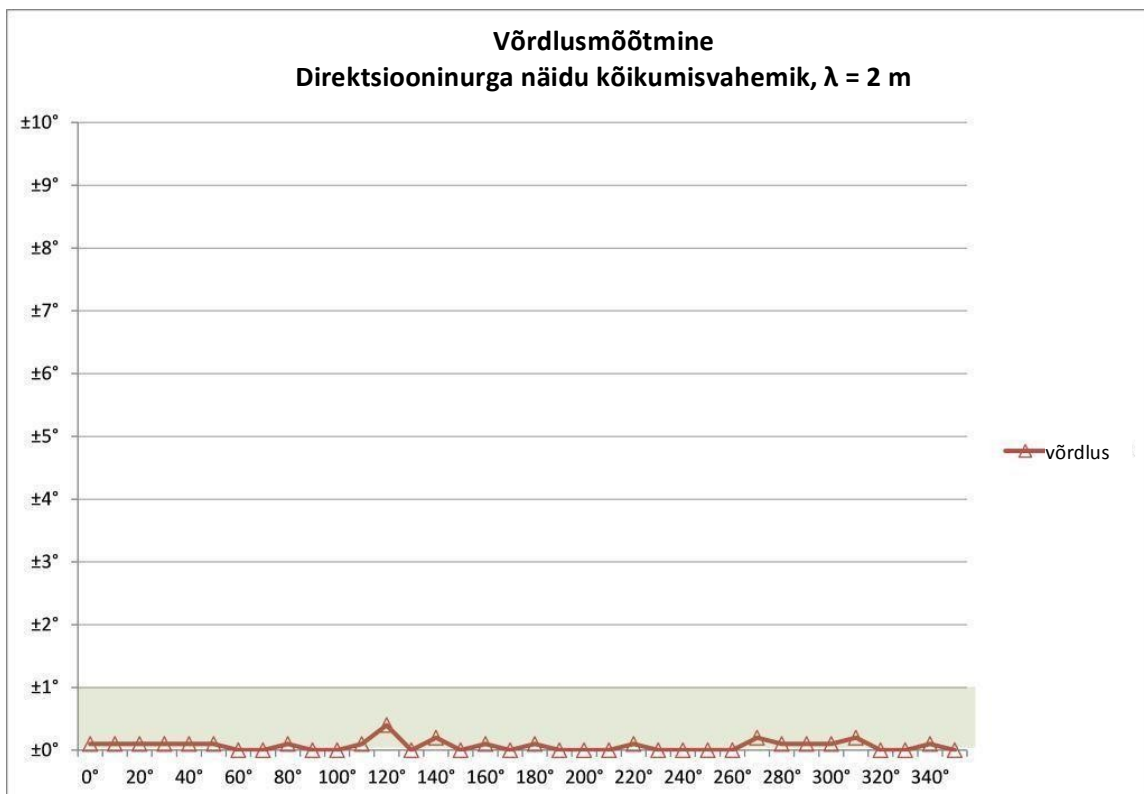
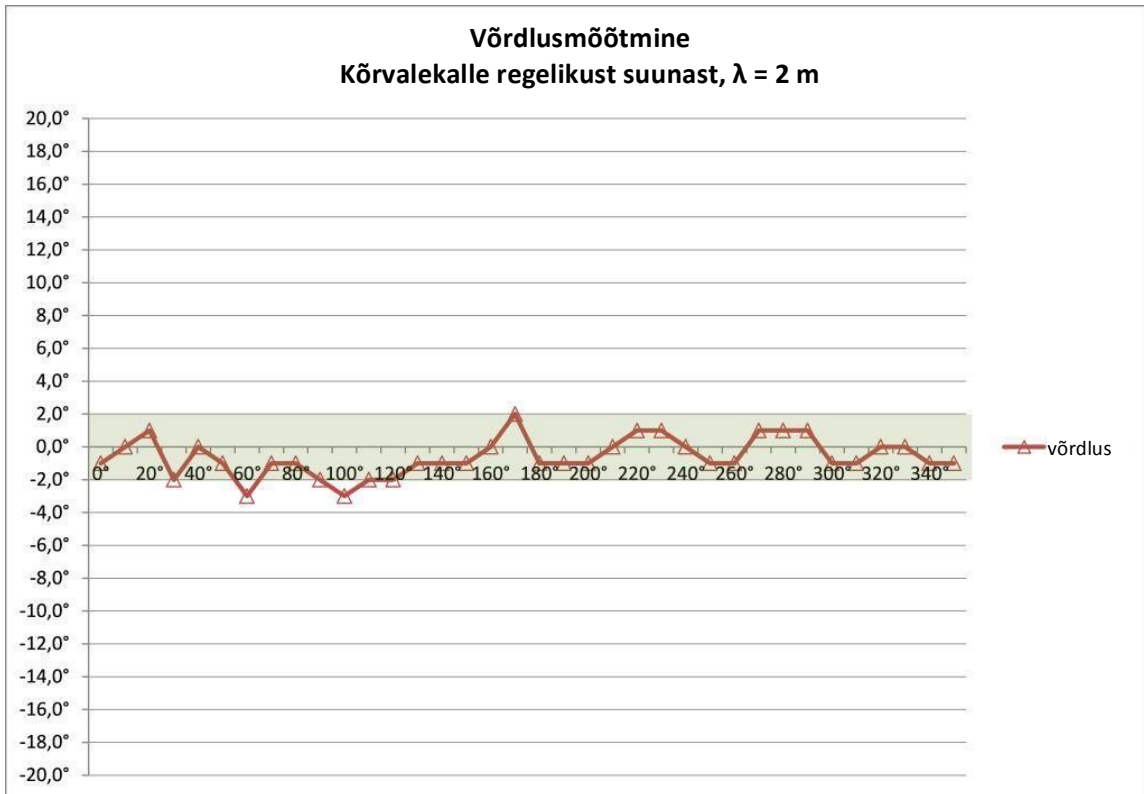
Mõõtmiste tegemine avatud maastikul Kerkeni lähistel

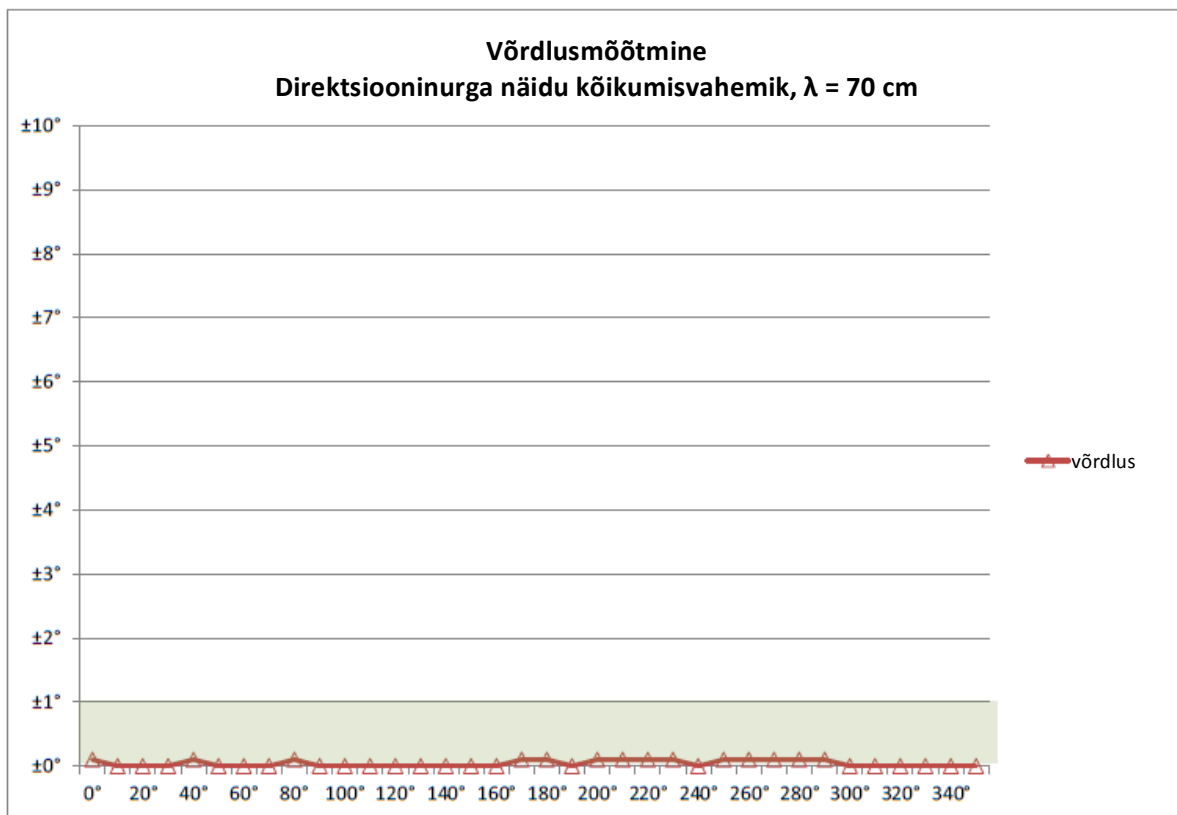
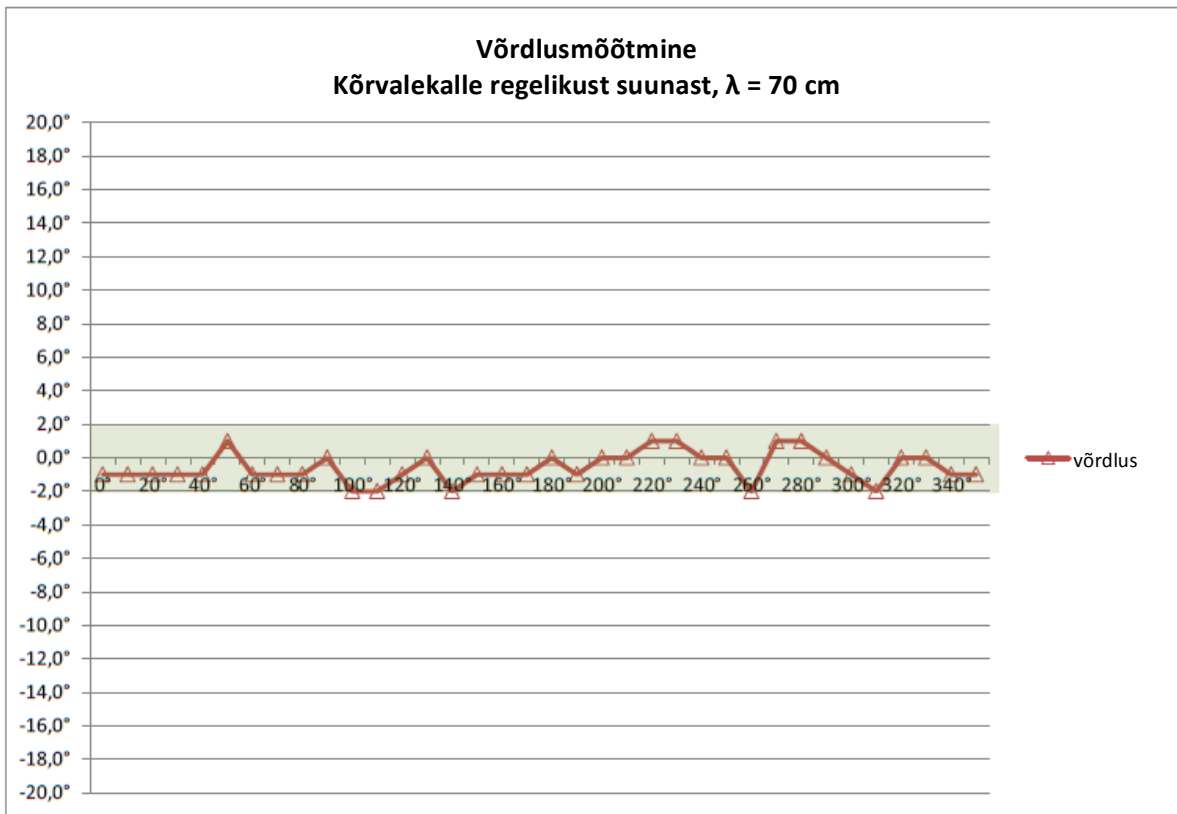


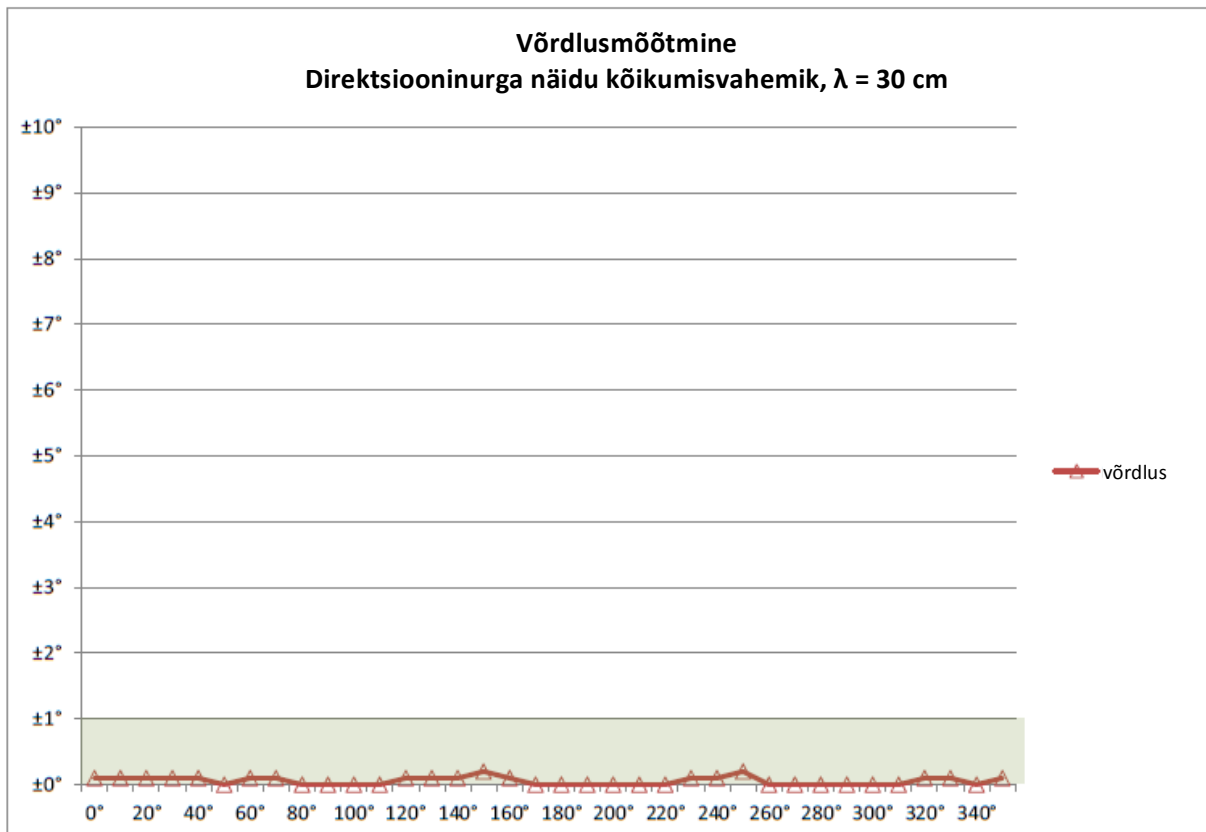
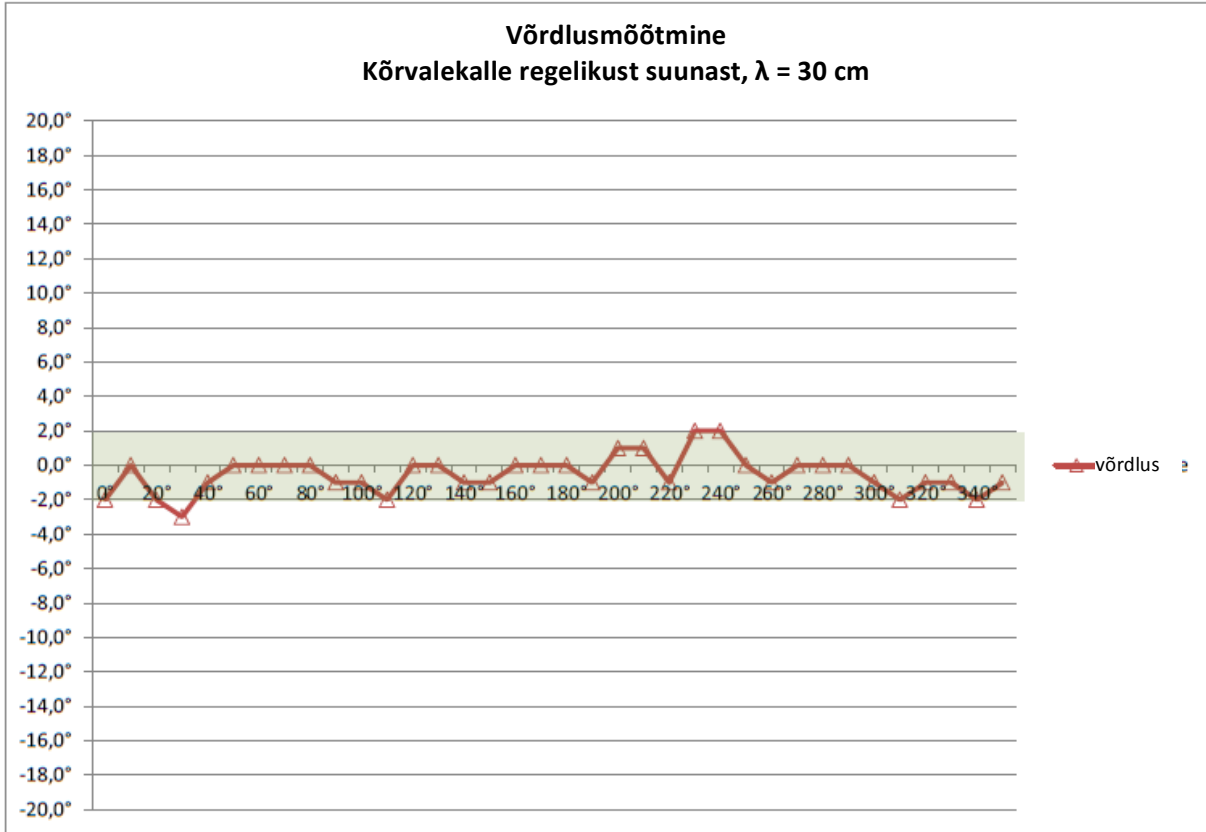
9.1.1 Ülikõrge sagedus / ultrakõrgsagedus (VHF/UHF)

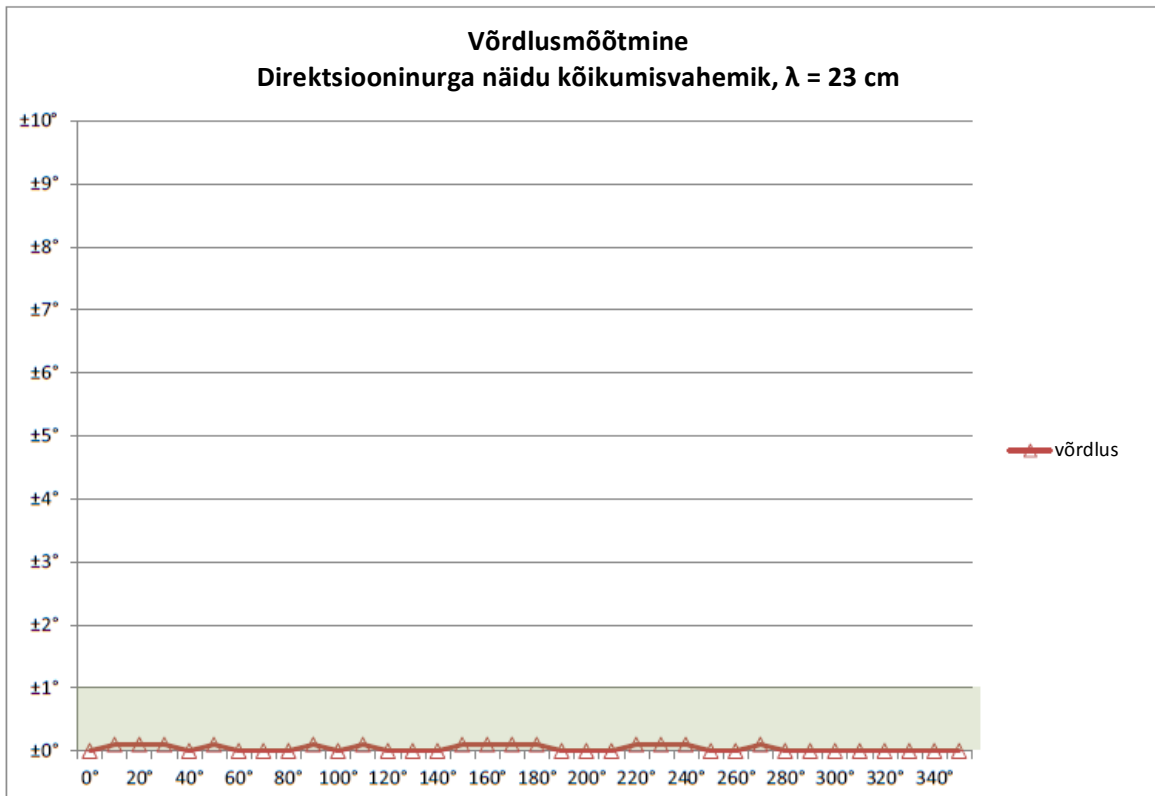
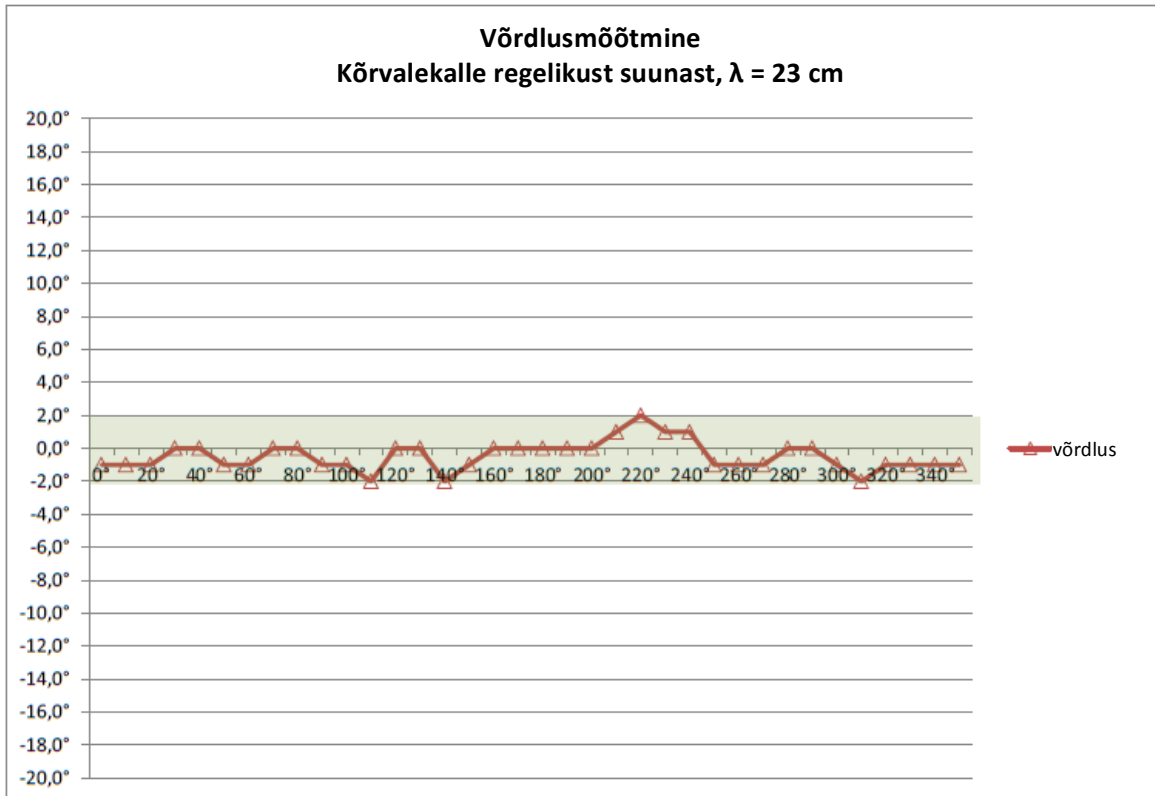
Mõõtmisseadmetiku kontrollimiseks kasutati võrdlusmõõtmist vastavalt § 4.2. Tulemused on esitatud allpool.

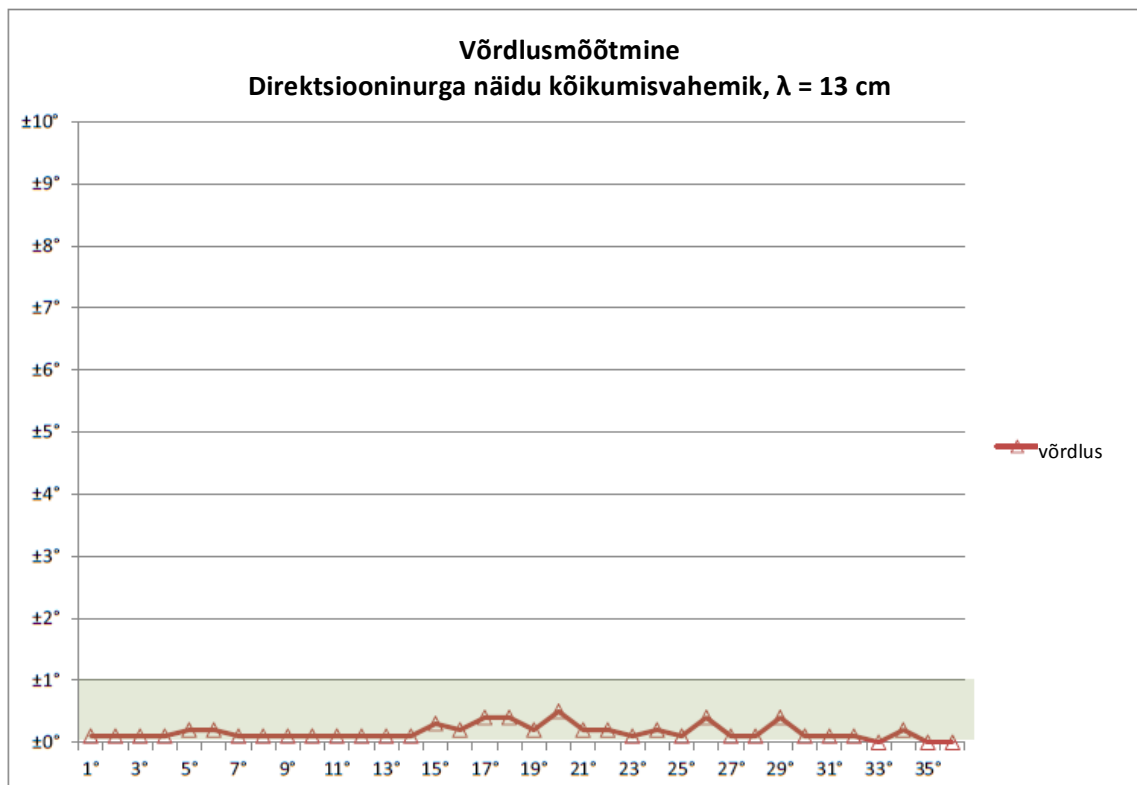
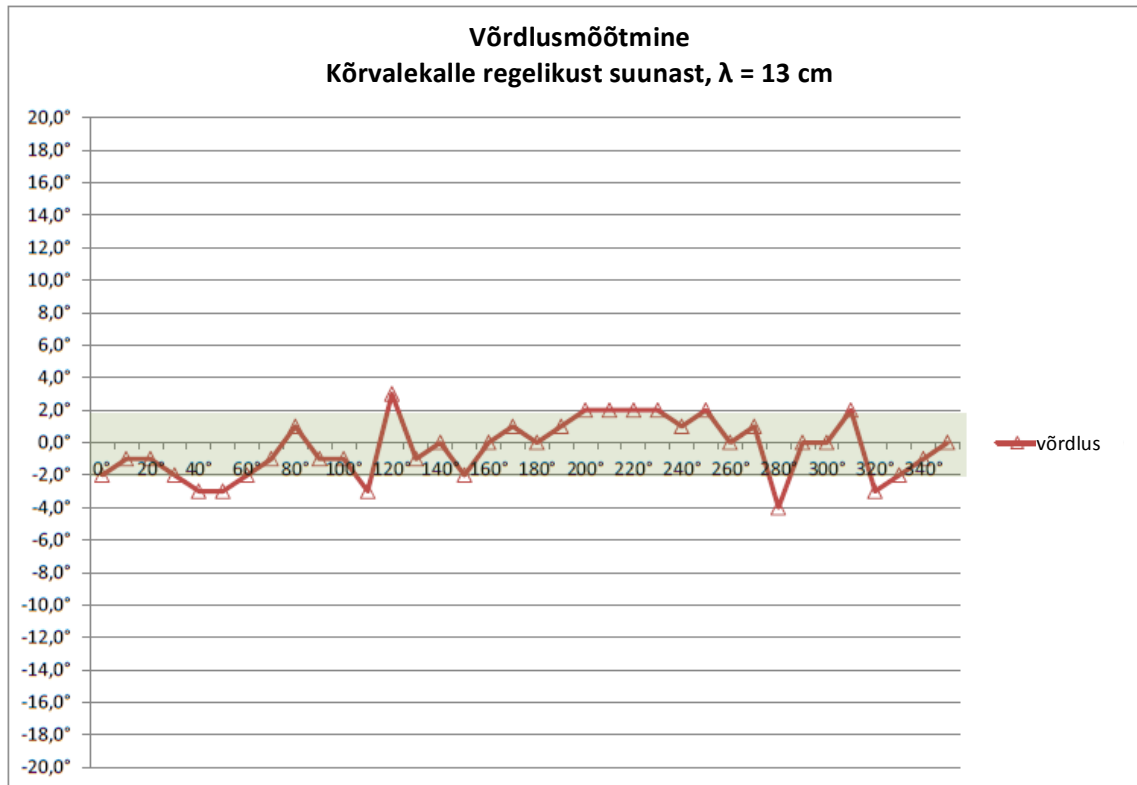












4 m, 2 m, 70 cm, 30 cm ja 23 cm sagedusalades jäid mõõtmistulemused enamasti fikseeritud peilingaatorite kõrvalekalde vahemiku piiresse. Ainult 2 m ja 30 cm sagedusalades ületati kõrvalekalde vahemikku 1° võrra eraldi suundades. Isegi 13 cm sagedusalas, mis on oma lühikese lainepikkuse tõttu eriti kriitiline, ületati kõrvalekalde vahemikku ainult ühel korral 2° võrra ja kahes suunas 1° võrra.

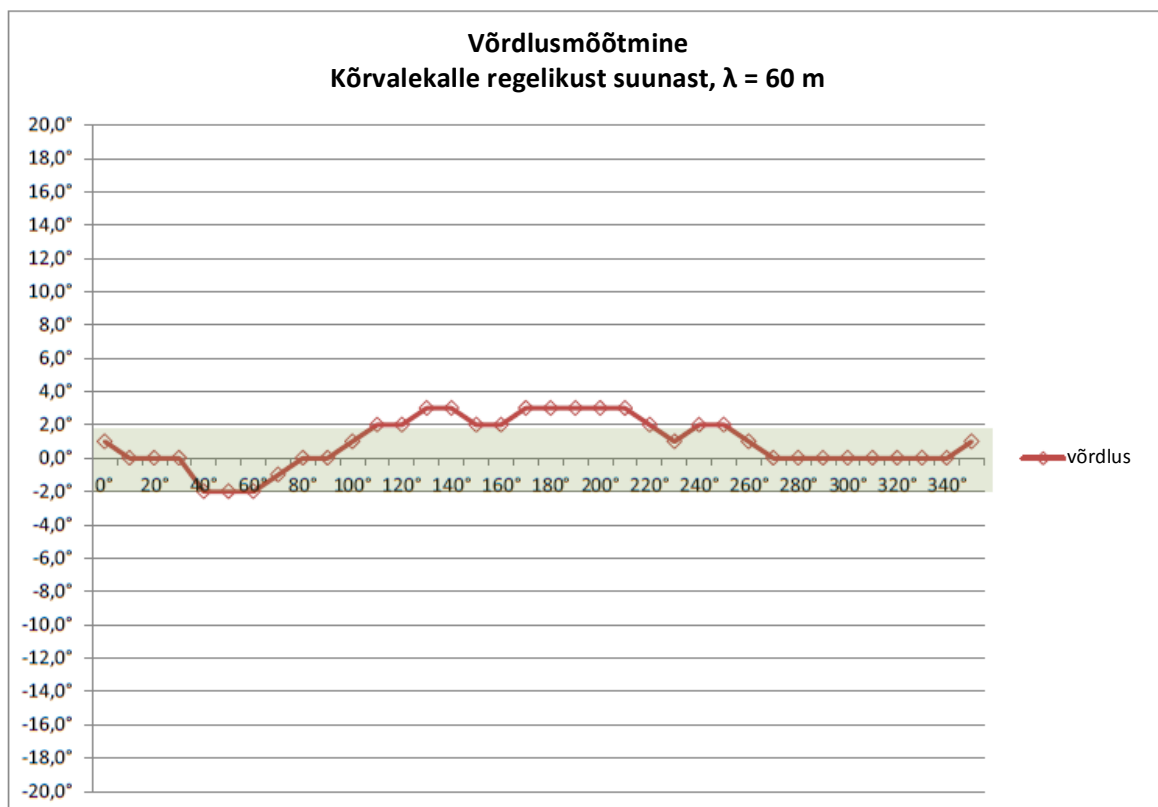
Direktsiooninurkade kõikumismäär, mis on oluline peilimistulemuste hindamiseks, jääb eranditult kõrvalekalde vahemiku piiresse.

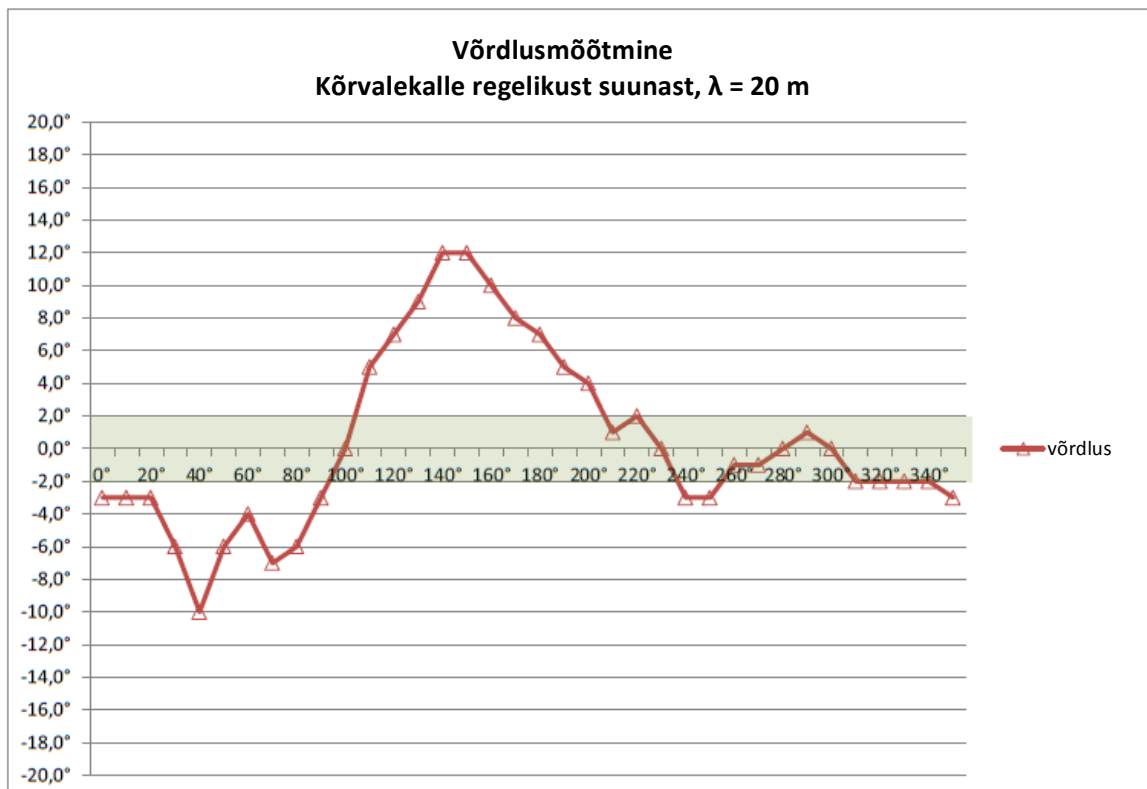
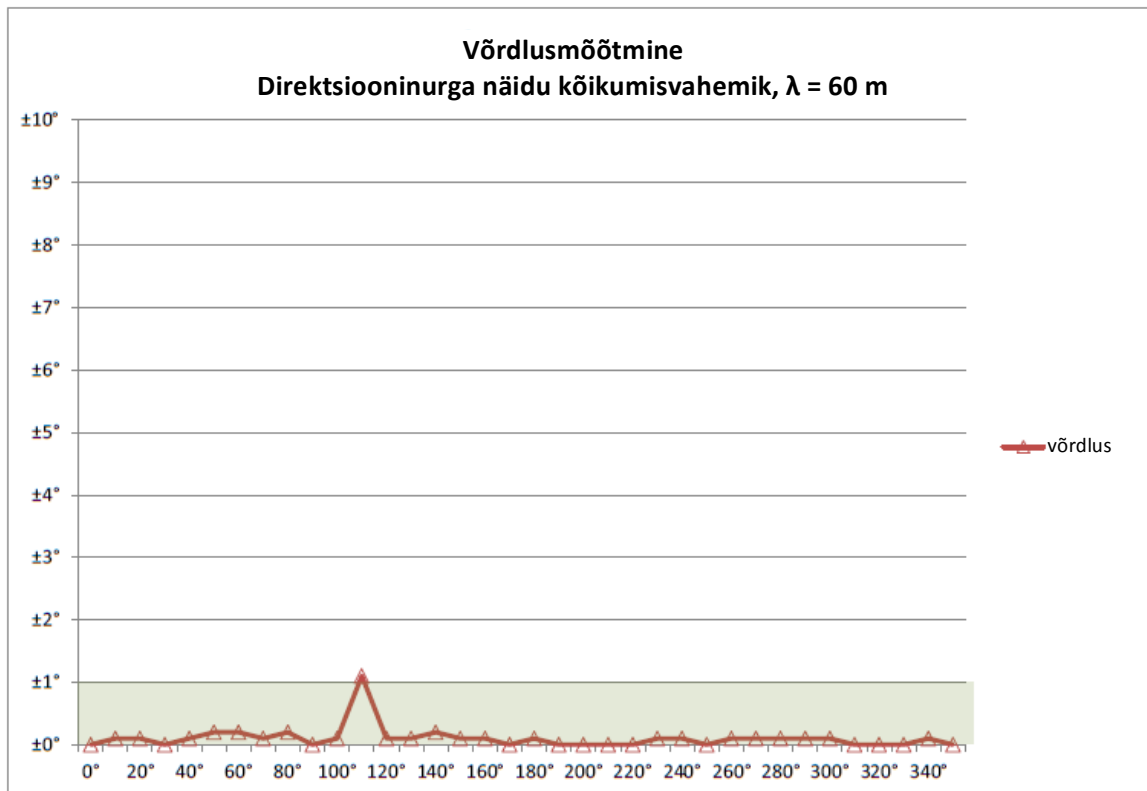
Seetõttu saab kasutada mõõtmisseadmestikku kavandatud uuringute tegemiseks.

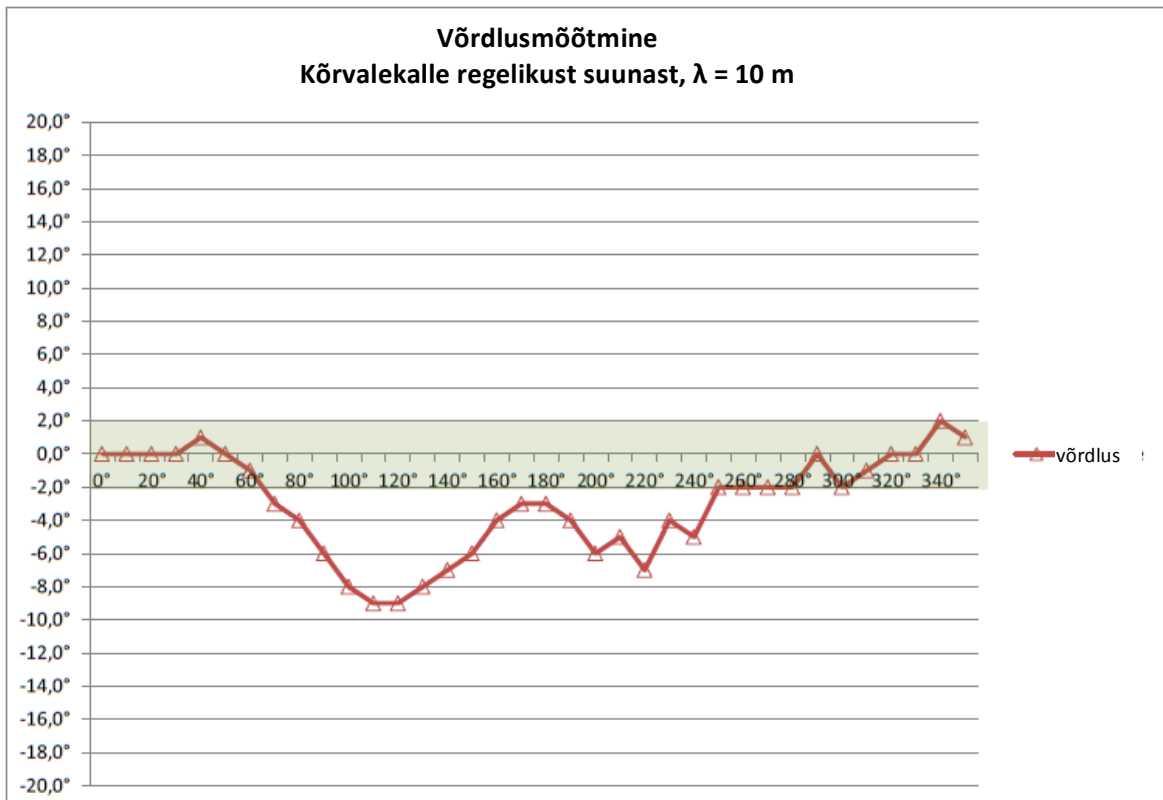
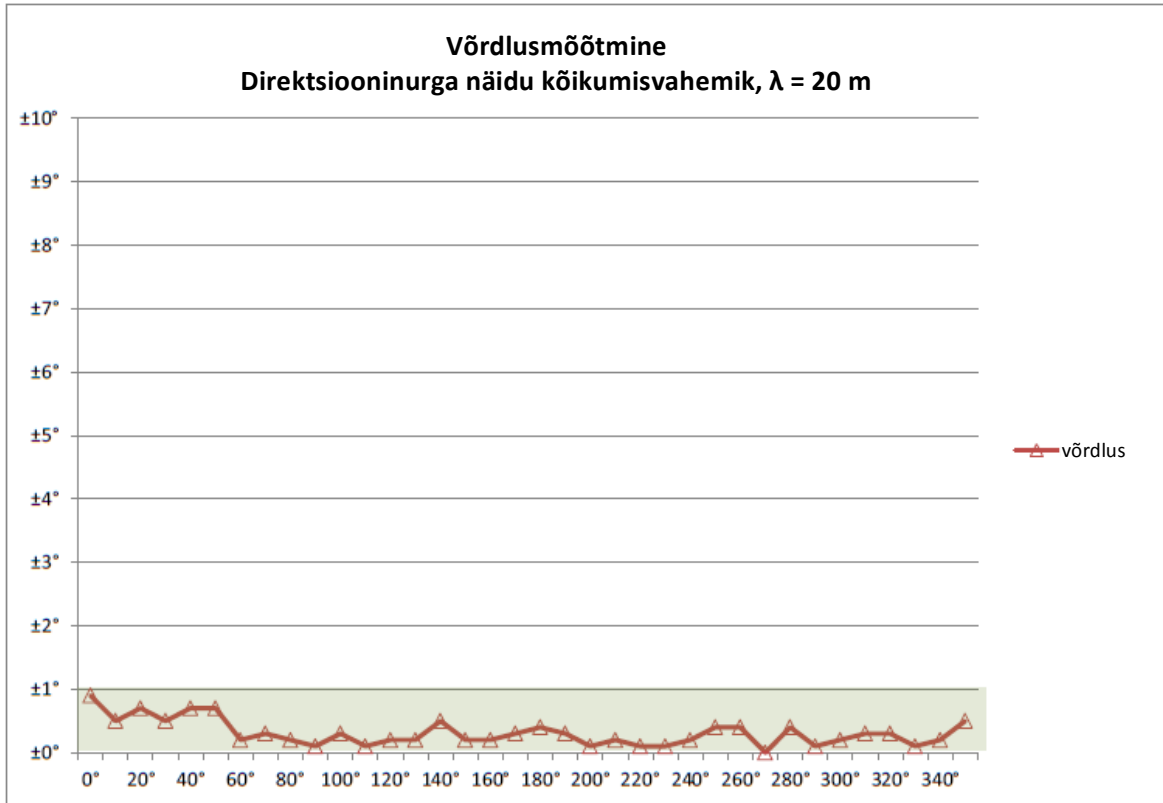
9.1.2 Kõrgsagedus (HF)

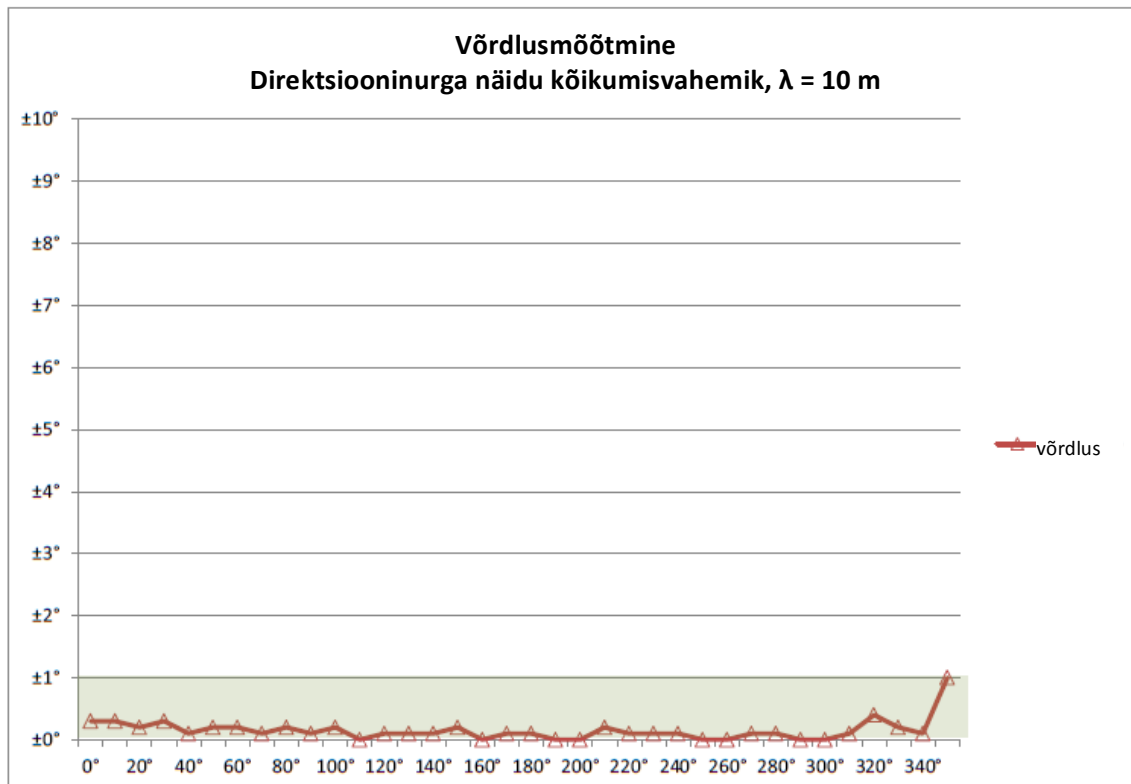
Lisaks soovis lepinguosaline teabe kogumist HF-vahemiku kohta, mis katab sagedusvahemiku 3–30 MHz ja seega lainepikkuse vahemiku 80–10 m. Kuna antennide suurus oleneb suuresti planeeritud tööks kasutatavast lainepikkusest, on suured antennid HF-vahemikus füüsikalistel põhjustel vajalikud ja need ei ühildu kaasaskantava/mobiilse mõõtmismeetodiga. Antenni suurust saab vähendada tehniliste nippide abil. Kuid see vähendab kiirgustõhusust ja võib põhjustada moonutatud kiirgumustri. Täiendavad mõjud võivad tuleneda horisontaalsete kiirguskomponentideni viivast mõõtmisseadmestikust (kaablid jne), mis võib mõjutada peilingaatori tööd.

Seepärast tehti mõõtmisseadmestiku puhul (vt § 5) võrdlusmõõtmised ka HF-vahemikus. Tulemused on esitatud allpool.









60 m sagedusalas jäid peilimisväärtuste kõrvalekalde suuresti kõrvalekalde vahemiku piiresse, mida väärtused ületasid vaid 1° võrra. 20 m sagedusalas ületati kõrvalekalde vahemikku kuni 10° võrra ja 10 m sagedusalas kuni 7° võrra.

Nende märkimisväärsete kõrvalekallete tõttu tehti mõõtmisseadmestiku osas täiendavad testid. Need näitasid, et eriti 10 sagedusala puhul oli kiirgusmuster soovitud mitmesuunalisest kiirgusmuustrist oluliselt erinev selge eelistatud suunaga üle sõiduki esiosa ja minimaalselt sõiduki tagaosa suunas.

Mobiilse mõõtmisseadmestiku puhul tuleb kasutada mitteresoneerivat vertikaalset maapinnaga sümmeetrilist saateantenni. Sellise anteni kiirgustõhusus on kehv ja sõltub suuresti maandurist (maa või elektrit juhtiv sõiduki kere). Vastavalt § 5.2 kirjeldatule peab anteni paigaldamisel sõiduki tagaosa külge olema sõiduki esiotsas (antenni ees) olema väga hea elektrijuhtivusega maandur (maanduspind) ning anteni taga (liikumissuuna vastassuunas) või külgedel ei tohi olla maandurit. 10 m sagedusalas pikeneb maanduri suurus sõiduki esiosas suunas poole lainepikkuse võrra ja 20 m sagedusalas pikeneb see veerandi lainepikkuse võrra, suurendades seega kiirgustõhusust ja anteni võimendust sõiduki esiosa suunas.

Seega ülemises HF-vahemikus mitmesuunalist kiirgusmuustrit enam pole ja sellest tulenevalt ei tööta peilingaator tugevalt moonutatud kiirgusväljas enam korralikult. On tõenäoline, et kaugemal asuvatest objektidest tulenevate peegelduste esinemisel on selgelt märgatav mõju, mis on tingitud sõidukiga ristisuunas kiirguvast sumbunud otselainest.

60 m sagedusalas pikeneb sõiduki katuse muundur ainult umbes 8% lainepikkusest ning on seega ainult vähesel määral tõhus. Tulenev kiirgustõhusus on seega igas suunas enam-vähem ühtlaselt kehv, kui mitmesuunalist kiirgusmuustrit mõjutab ainult ümbritsev maapind. Antud uuringu eesmärgil saab kehvast kiirgustõhususest kompenseerida ilma suurema edastusvõimsusega ilma negatiivset mõju põhjustamata. Võib eeldada, et maapinna karakteristikud on enamasti muutumatud nii võrdlusmõõtmise kohas kui ka Rütenbrookeri raba alal.

Autorid soovivad lisaks rõhutada, et fikseeritud lühikese lainepikkusega peilingaatorid töötavad taevalainetega (seetõttu ka ohutuskoonus, nagu kirjeldatud § 1), kuid mobiilne mõõtmisseadmestik töötab maalainetega. Seetõttu ei saa tulemusi otse fikseeritud lühikese lainepikkusega peilingaatorile üle kanda. Kuna 60 m sagedusala mõõtmised annavad siiski ülevaate, kas ohutuskaugus on üldse vajalik, on allpool esitatud ainult 60 m sagedusala tulemused.

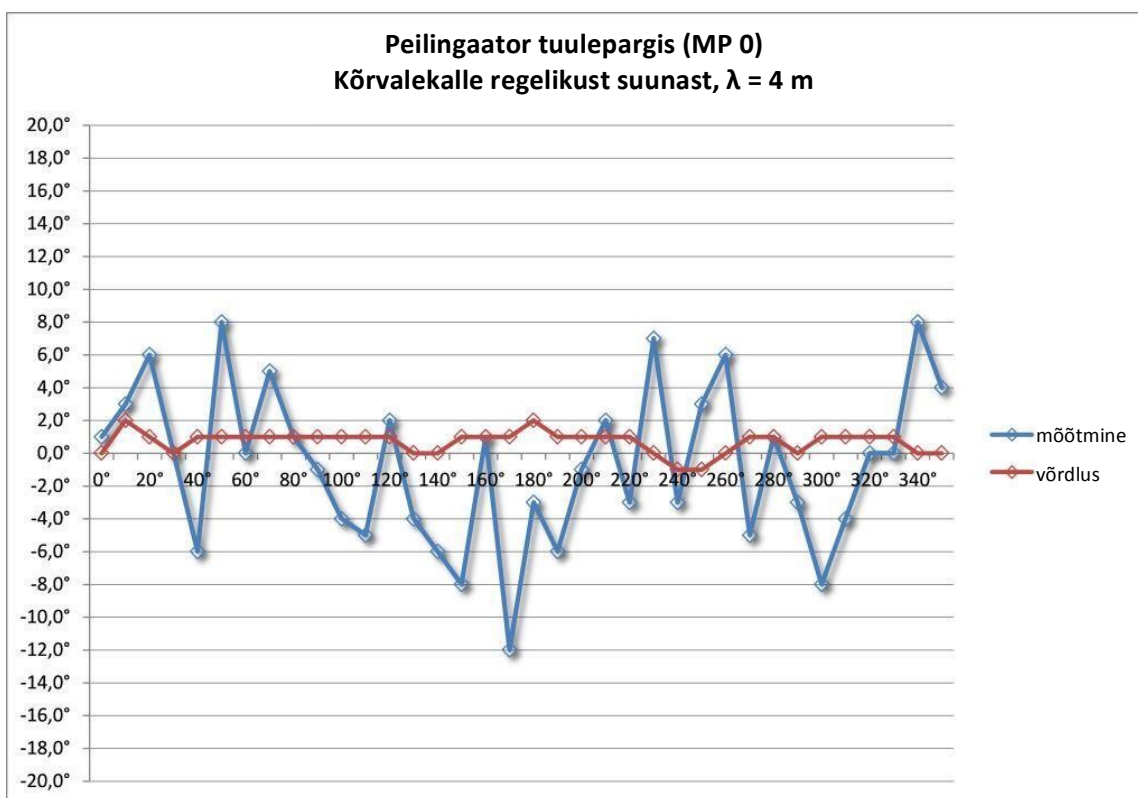
9.2 Mõõtmiste seeriad

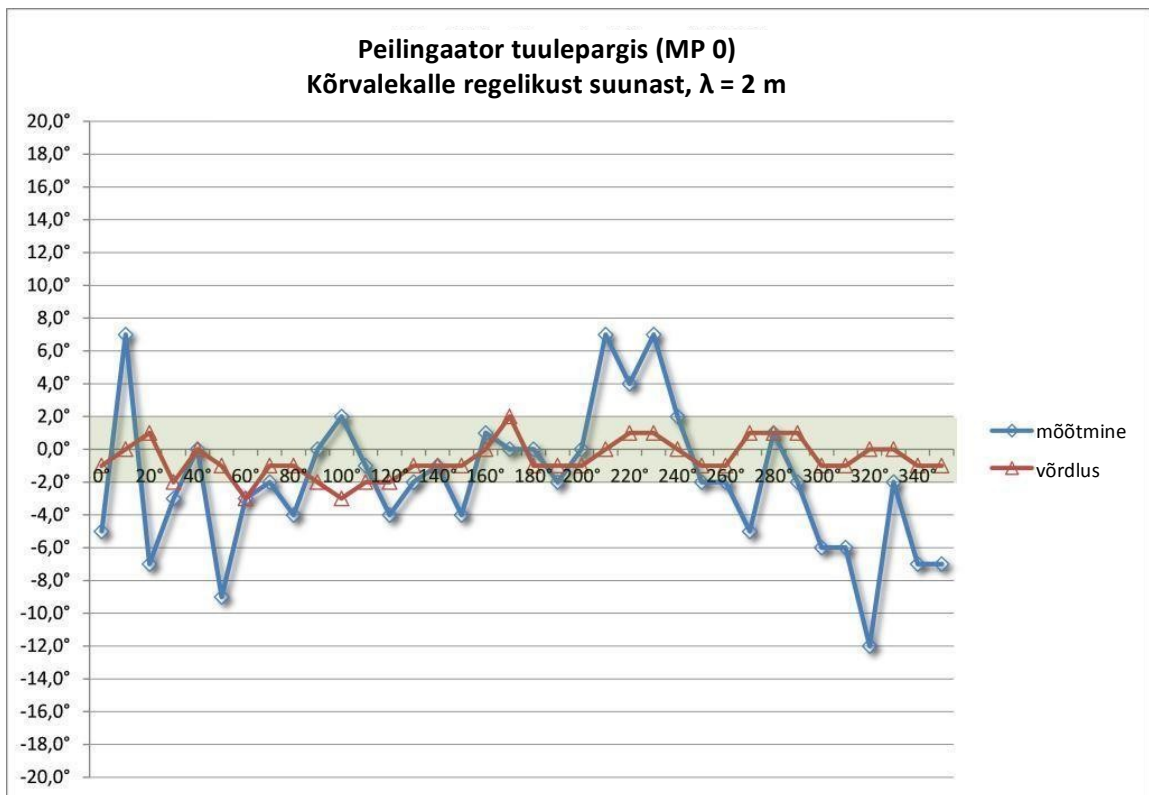
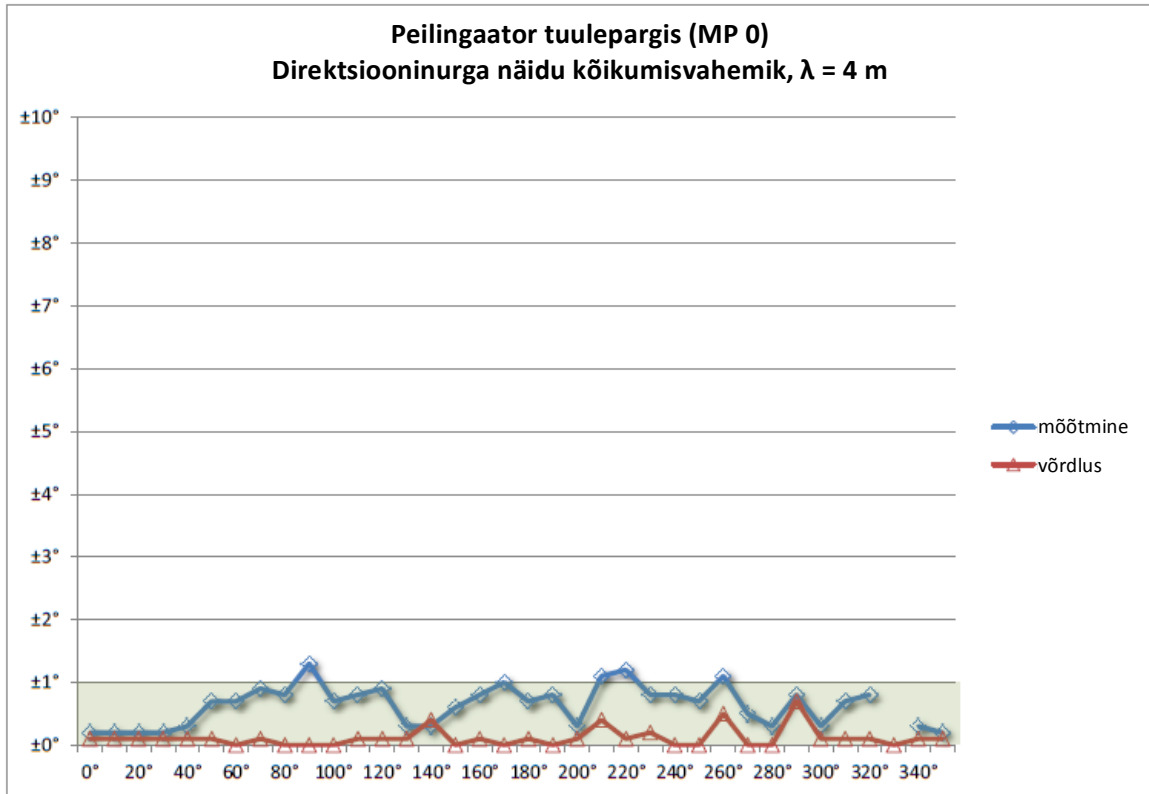
Esimene mõõtmiste seeria tegeles küsimusega, mis mõjutab raadiopeilingaatorit, kui see asub tuulepargi keskel tuuleturbiinide lähedal kõigis neljas peilimiskvadrantis. Selleks seadistati peilingaator vastavalt § 7.1. Edasised mõõtmiste seeriad uurisid mõjusid raadiopeilingaatorile, mis asub tuulepargi servas (tuuleturbiinid kahes kvadrantis, vt § 7.2) ning 2,5 km kaugusel asuvale peilingaatorile (vt § 7.3, üks kvadrant) ja 4,6 km kaugusel asuvale peilingaatorile (vt § 7.4).

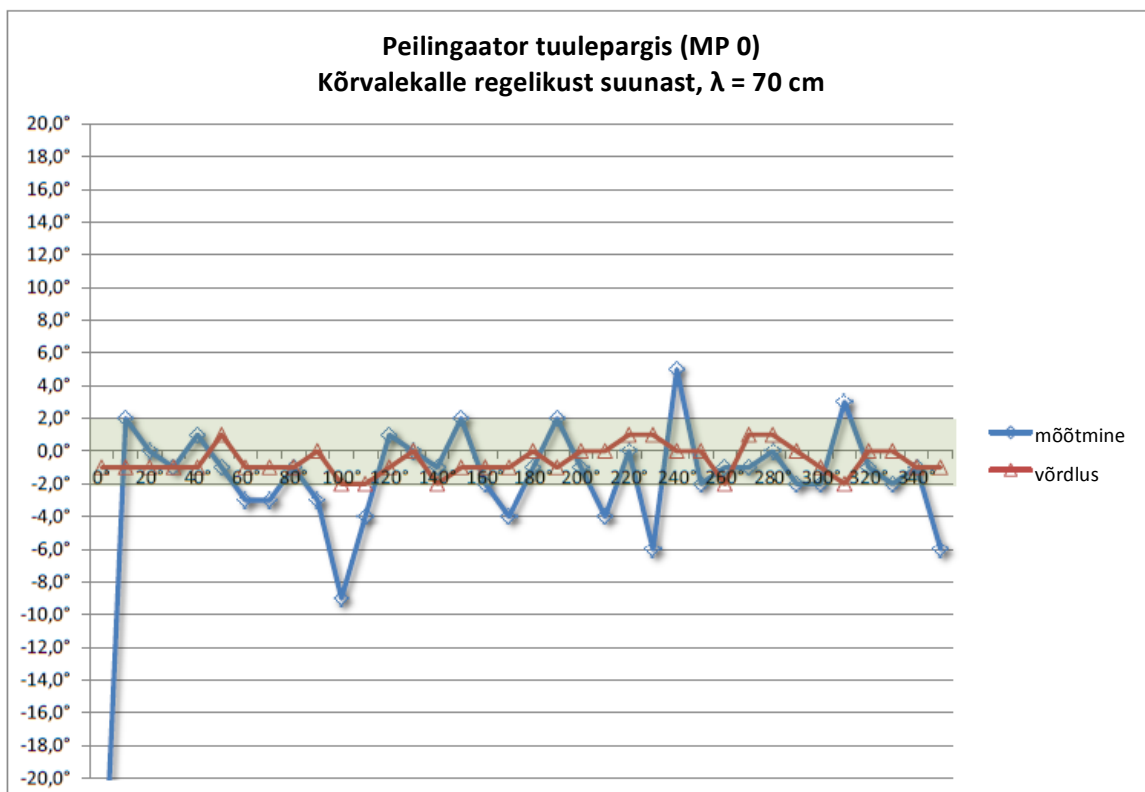
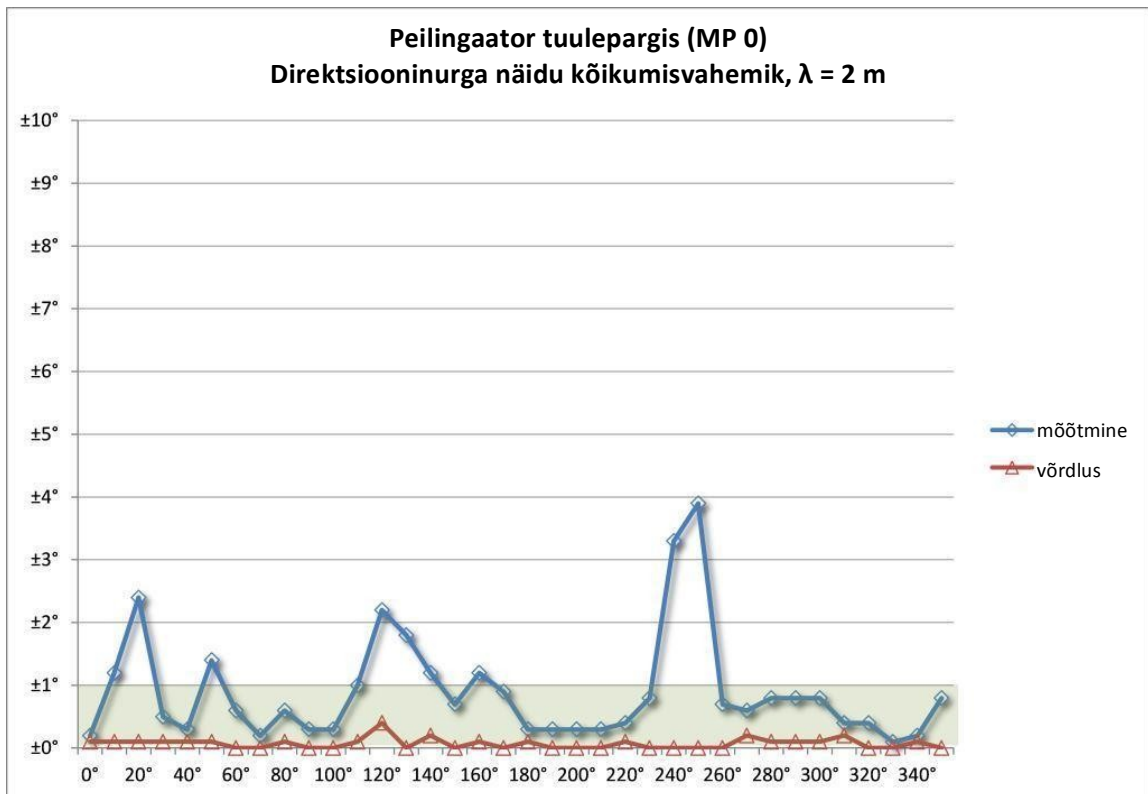
Parema võrreldavuse tagamiseks näitavad alumised graafikud mõõtmiste seeriade tulemusi ning asjakohaste võrdlusemõõtmiste tulemusi ja kõrvalekalde vahemikku.

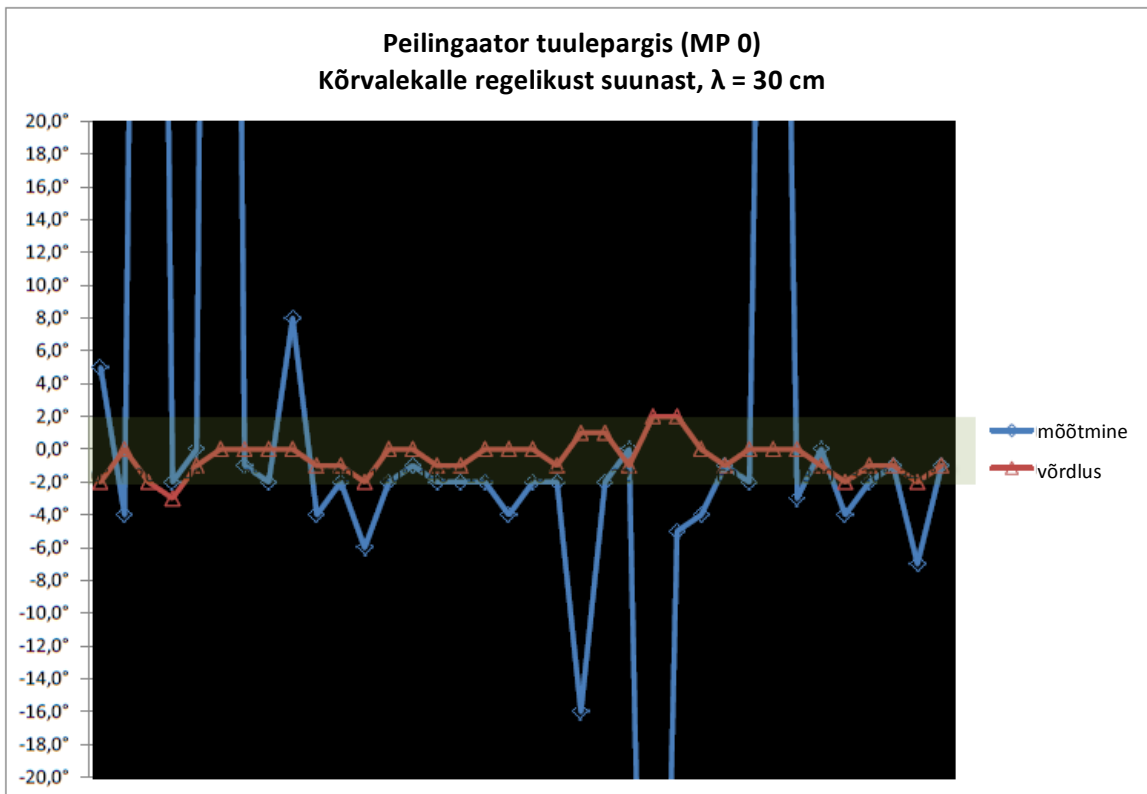
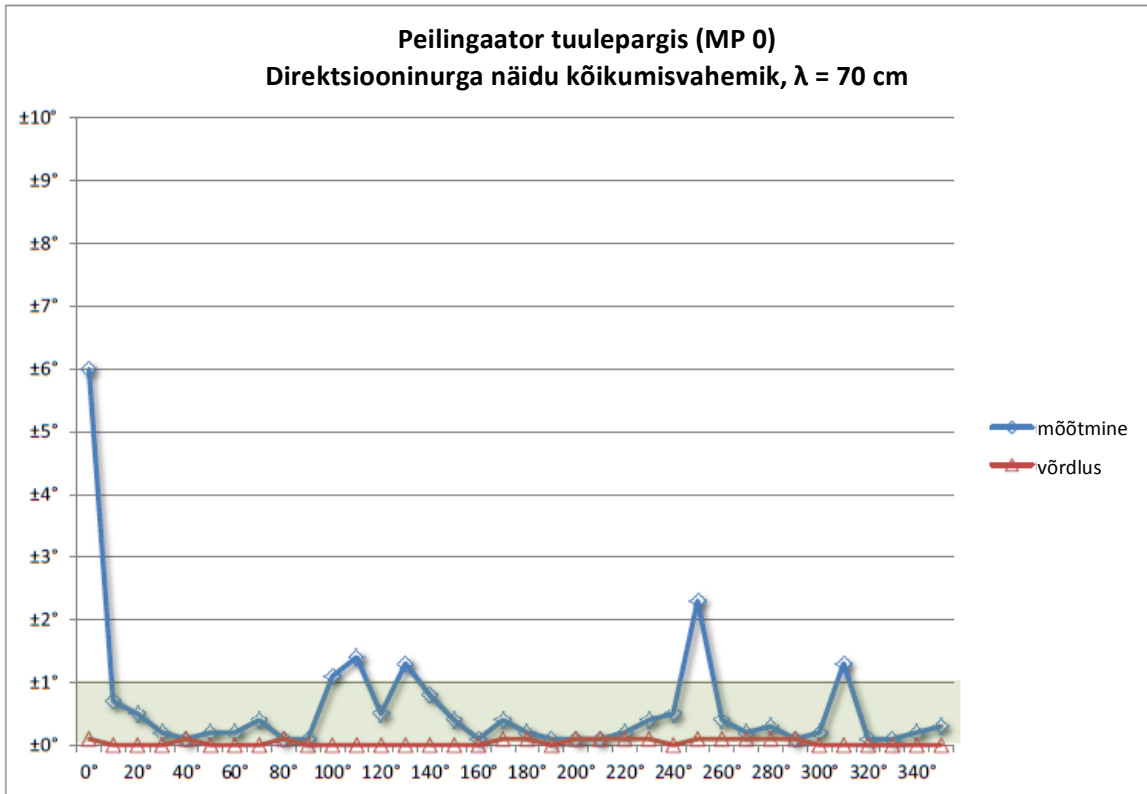
Kogu aruandes on kasutatud sama mõõtkava, et võimaldada mõõdetud muutujate kõigi graafikute otsest võrdlemist. See tähendab, et kohas, kus peilingaatorile avalduv mõju on eriti tugev, ei pruugi peilingu kõrvalekalde absoluutsuurus enam nähtav olla. Võrreldavuse ja graafiku eraldusvõime tagamiseks asjakohases väärtuste vahemikus peetakse seda vastuvõetavaks. Igal juhul ei kasutata peilimistulemust, mis jääb graafikute näidatud väärtuste vahemikust välja, mitte ühegi rakenduse puhul, mis tähendab, et kõrvalekalde täpne suurus on tegelikult ebaoluline. Direktsiooninurga kõrvalekaldeid üle 20° tõelisest väärtusest nimetatakse seetõttu pöörlevateks direktsiooninurkadeks, eriti kui nendega kaasnevad ka direktsiooninurga näidu märgatavad kõikumised.

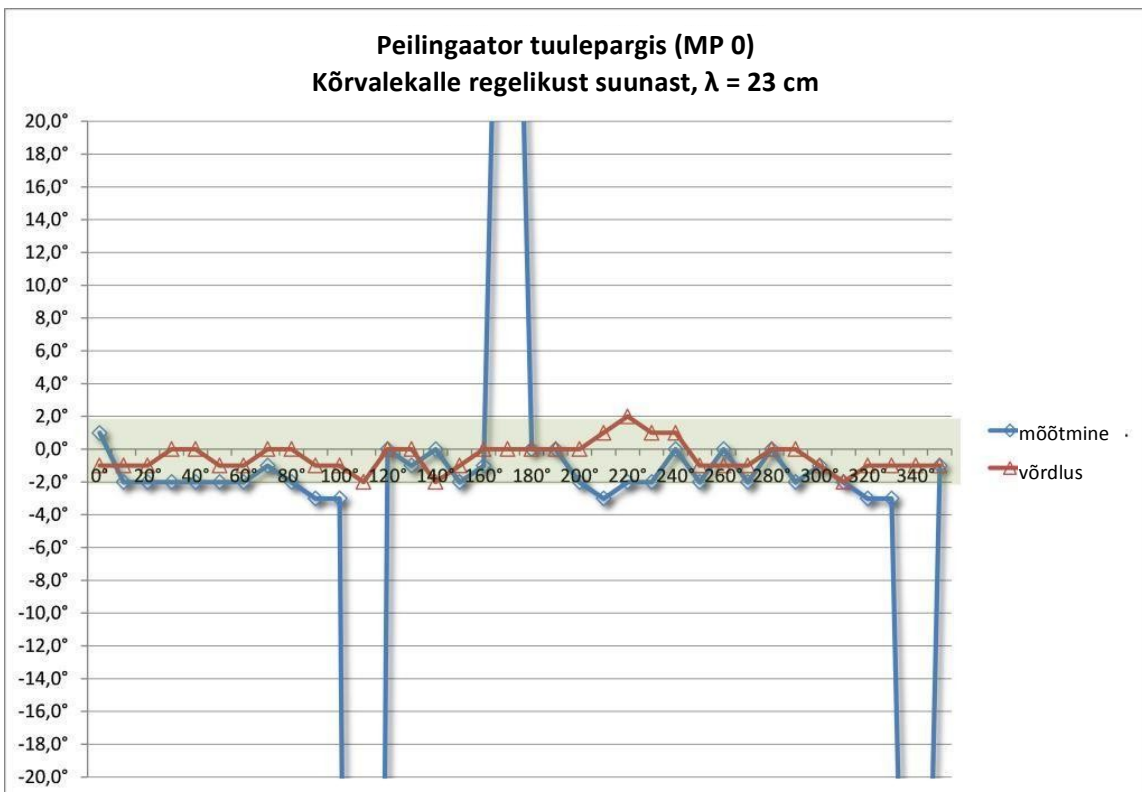
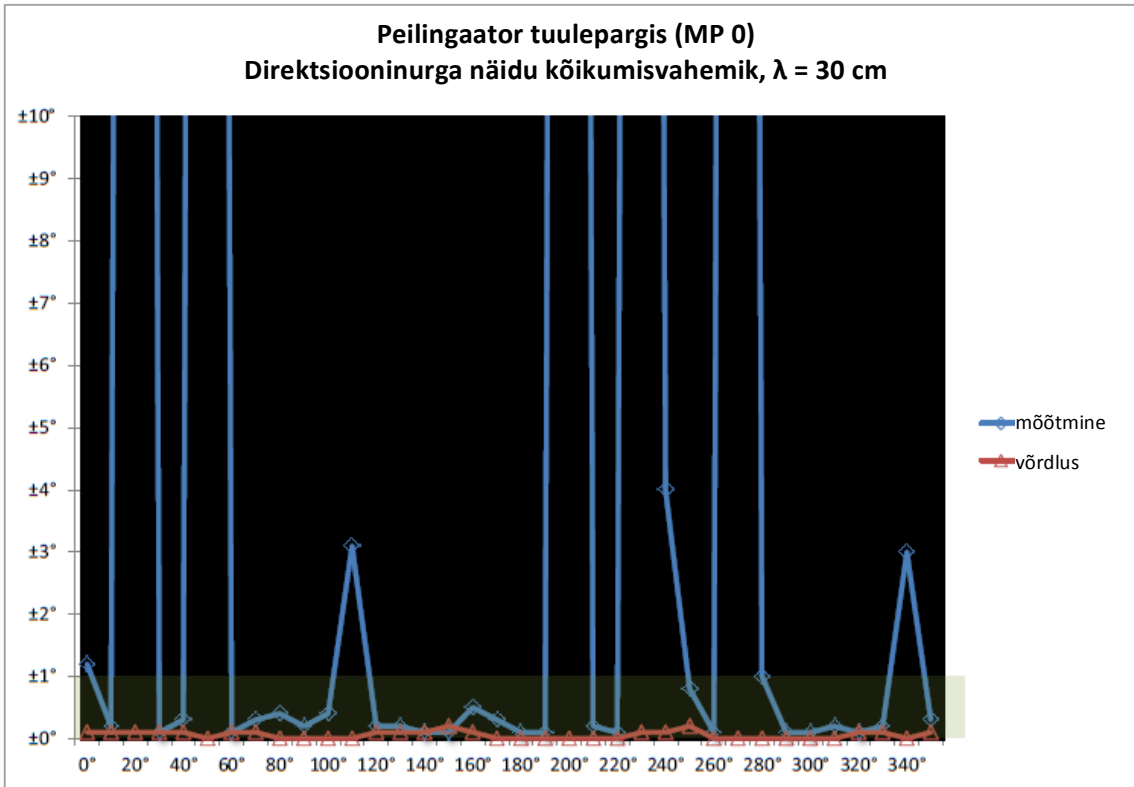
9.2.1 Raadiopeilingaator tuulepargi territooriumil

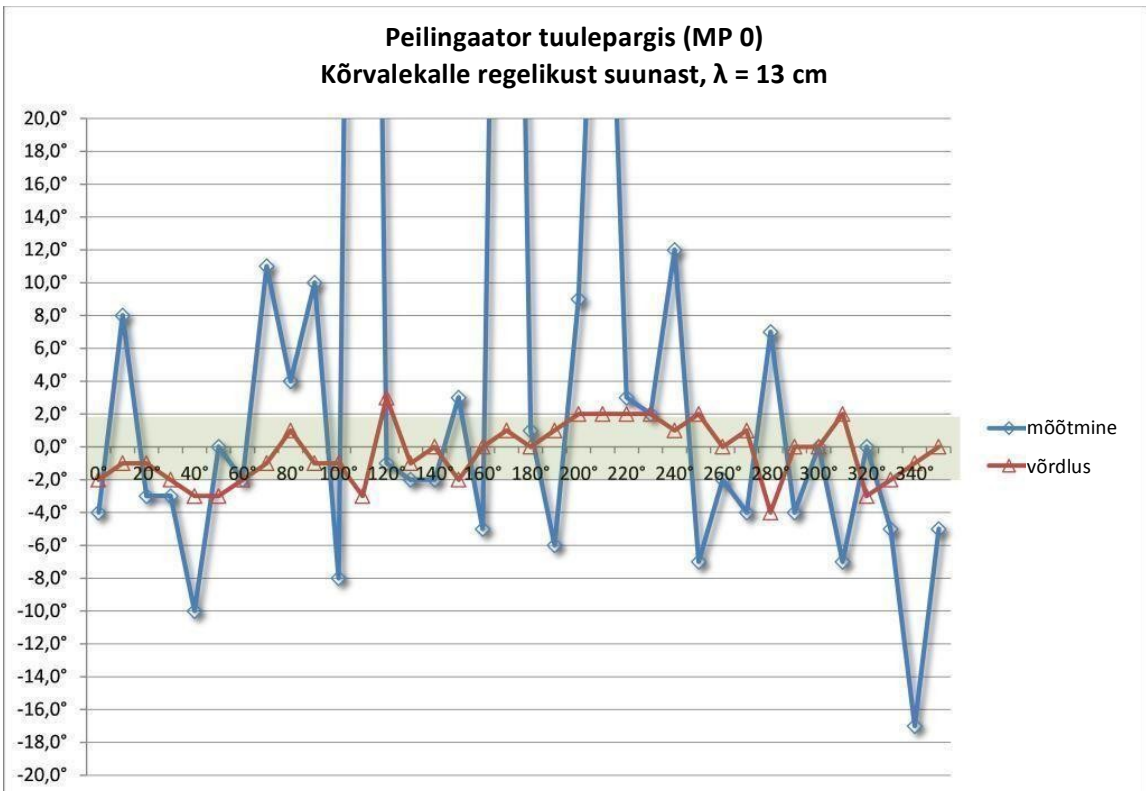
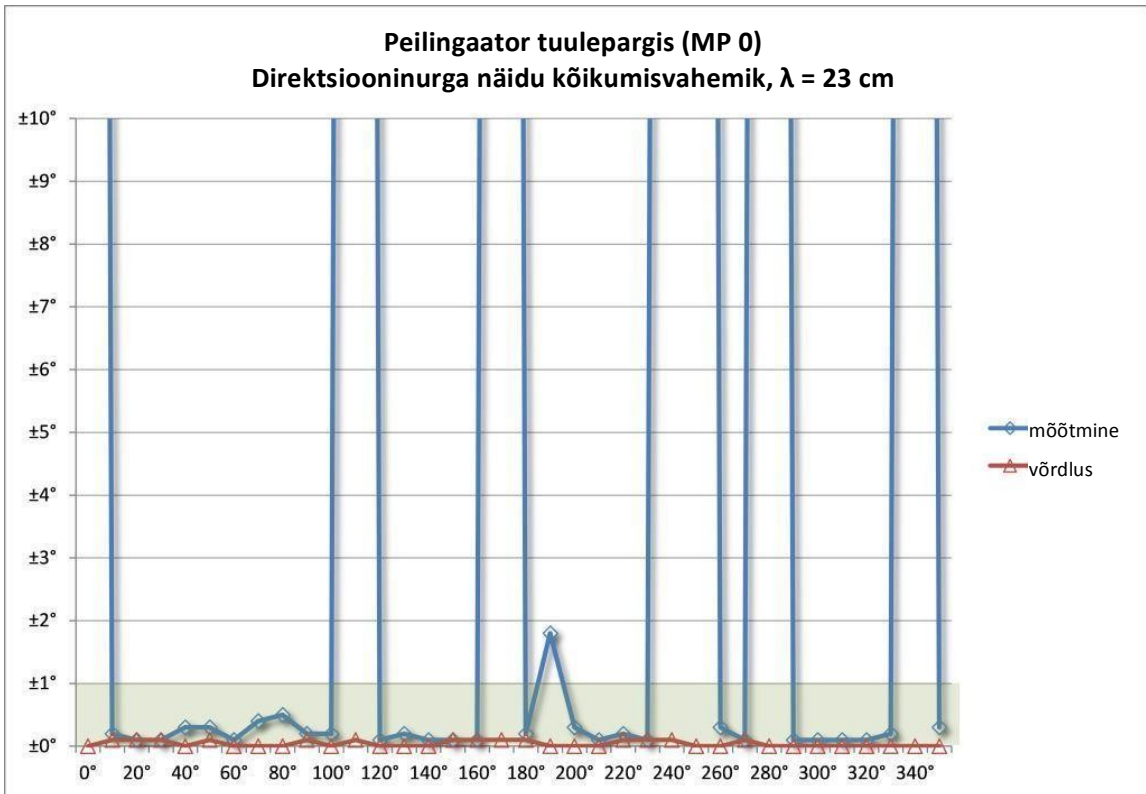


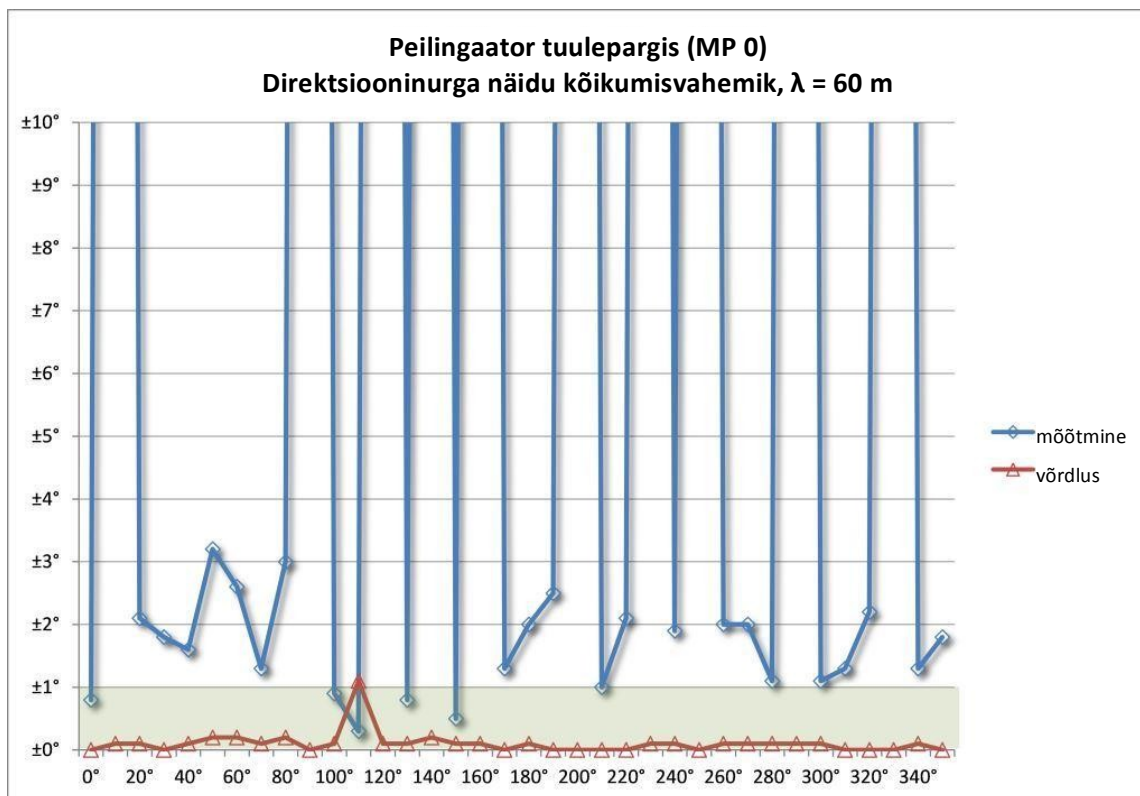












Raadiopeilingaatori kasutamisel tuulepargis tuvastati märkimisväärseid peilimisvigu kõigis uuritud VHF-/UHF-sagedusalades. Lisaks märgati suurt tõusu direktsiooninurga näitude kõikumise määras alla 70 cm lainepikkuste puhul, mis tähendab ligikaudu sagedusala 800 MHz – 3 GHz.

Kooskõlas erinevate sagedusalade füüsikaliste omadustega saab pikkade lainepikkuste puhul jälgida vigu kõigi radiaalide lõikes olenemata tegelikust suunast üksikute mastide suhtes. Samas lühemate lainepikkuste puhul tuvastati häireid üha kitsamates nurgavahemikes ja veelgi suurema mõjuga. Väga lühikeste lainepikkuste puhul (13 cm sagedusala) on nii palju moonutatud vahemikke, et raadiopeilingaator muutub kasutuskõlbmatuks kõigis suundades.

23 cm sagedusala graafikud on selles osas eriti tähelepanuväärsed. Vaadates kõrvalekallet tegelikust direktsiooninurgast, on ainult kolm suhteliselt kitsast nurgavahemikku, milles direktsiooninurga näit tundub olevat suurel määral moonutatud. Kõikumisvahemiku lähemal uurimisel esinevad äärmiselt märgatavad kõikumised (pöörlevad direktsiooninurgad) kuues suunas 360 kraadi raadiuses. Suundades, kus eeldatavalt õige direktsiooninurga näit (väike kõrvalekalle) langeb kokku suurema kõikumisvahemikuga, on see tegelikult juhuslik õige peilimisviga, mida ei saa enam samamoodi uuesti tekitada.

Seepärast on oluline kaaluda alati mõlemat graafikut. Direktsiooninurka loetakse nõuetekohaseks ainult juhul, kui kõrvalekalle tegelikust direktsiooninurgast ja kõikumisvahemik mõlemad valetavad kõrvalekalde vahemiku piires.

Järgmised näited direktsiooninurga näitude kuvatõmmistest, mis tehti selles mõõtmispunktis, näitavad praktilisi mõjusid peilingaatori tööle.

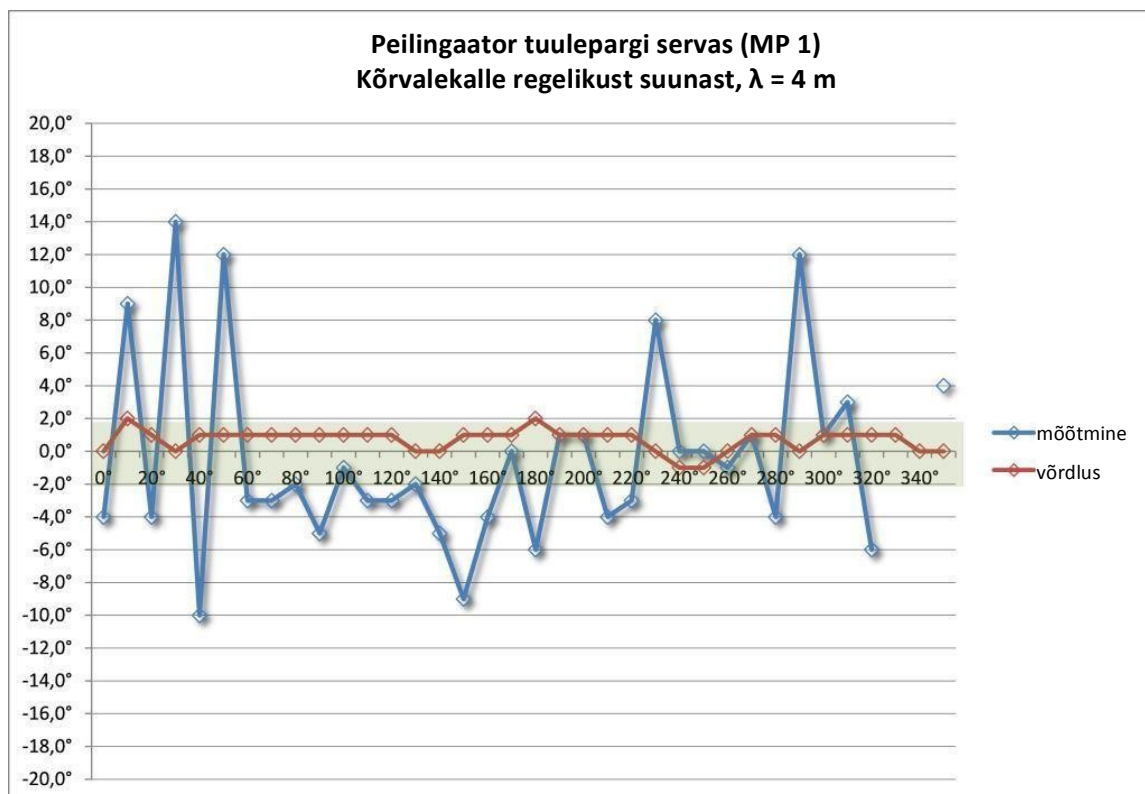


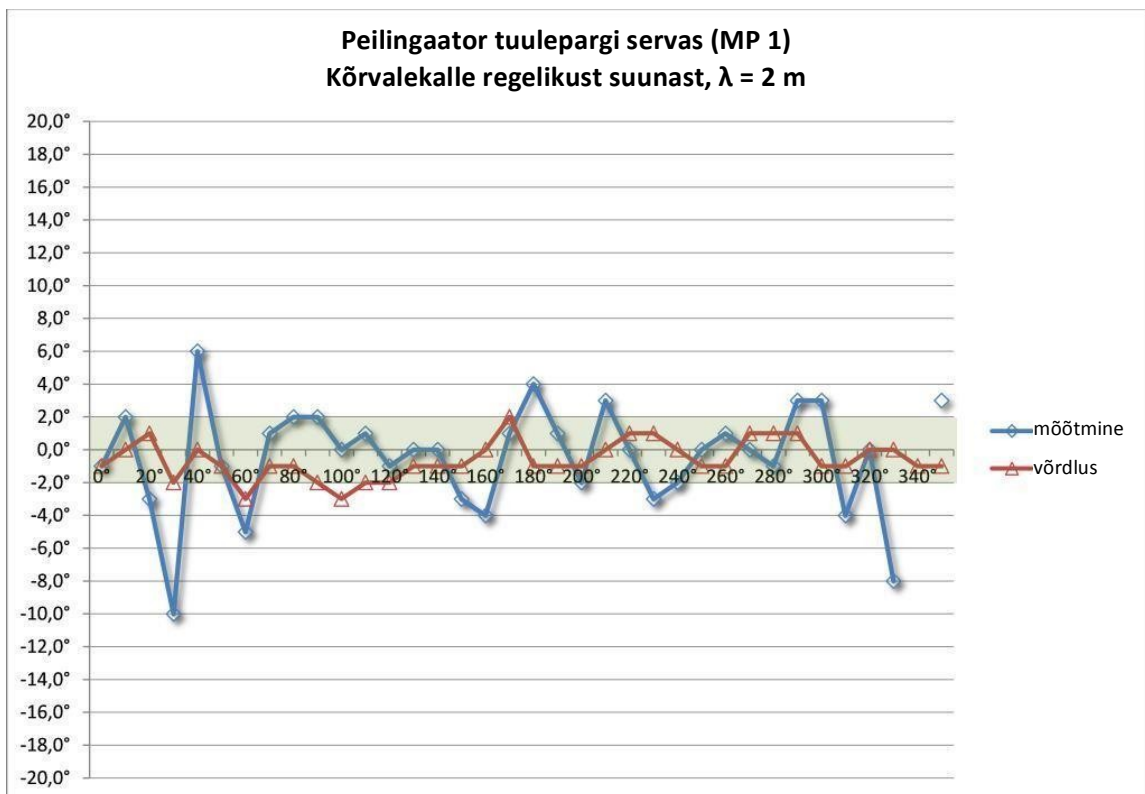
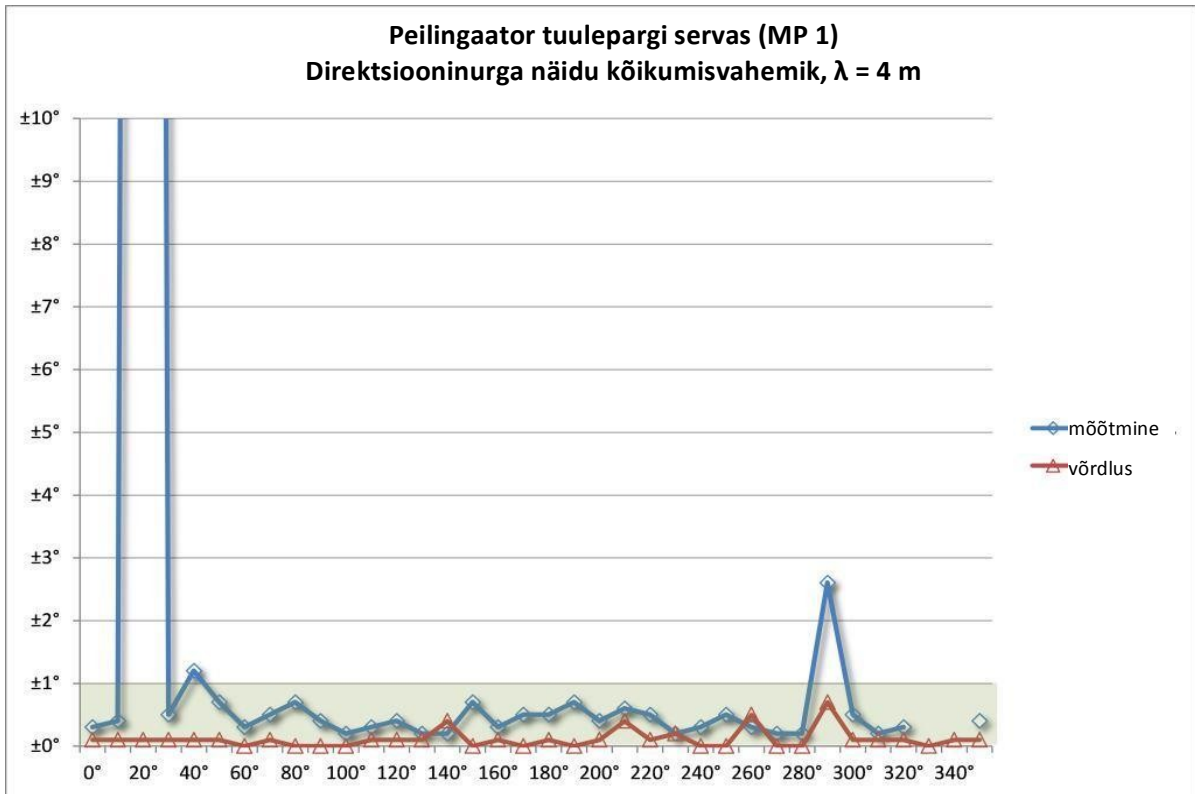
Valged jooned näitavad direktsiooninurga ajalugu eelmise 30 sekundi puhul ning kollane joon näitab direktsiooninurka kuvatõmmise tegemise hetkel. Esimeses näites (23 cm sagedusala) kõigub direktsiooninurk kaootiliselt peaaegu kõigis suundades; teises näites (13 cm sagedusala) paistab peilimistulemus kõikuvat keskmise väärtuse juures. Kolmandas näites (30 cm sagedusala) on kaks äärmuslikku peilimistulemust, mis on mõlemad valed!

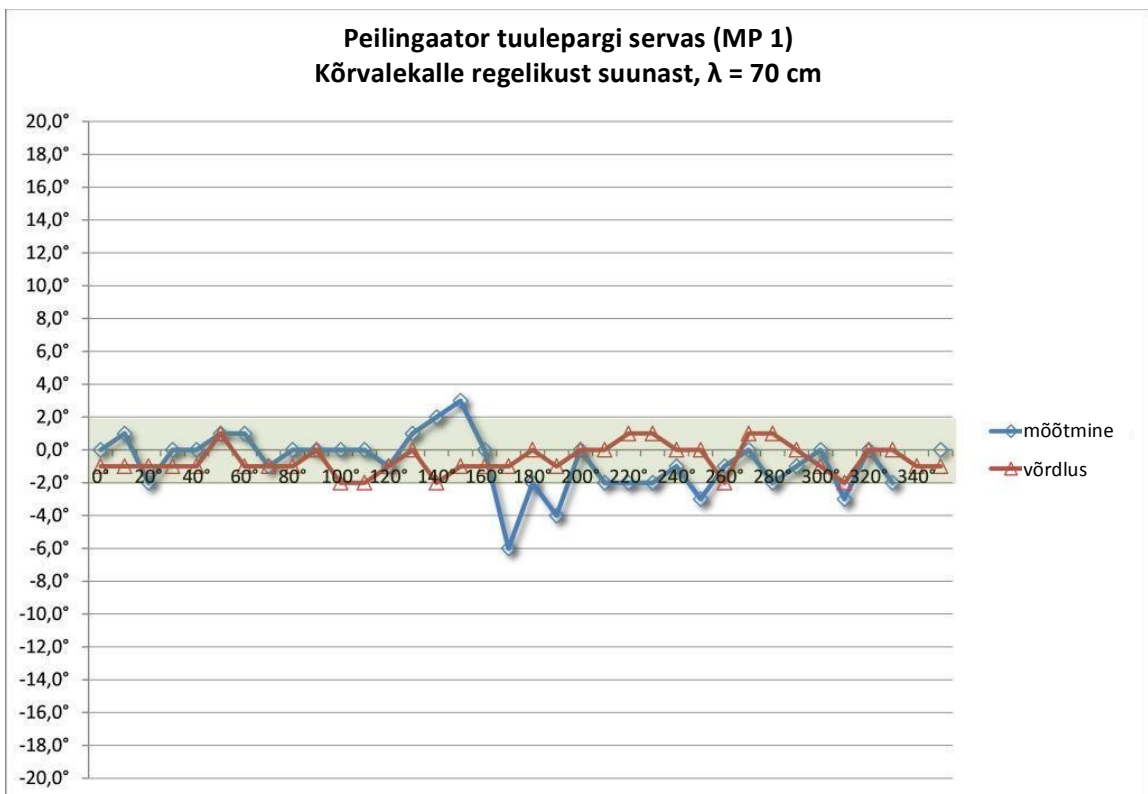
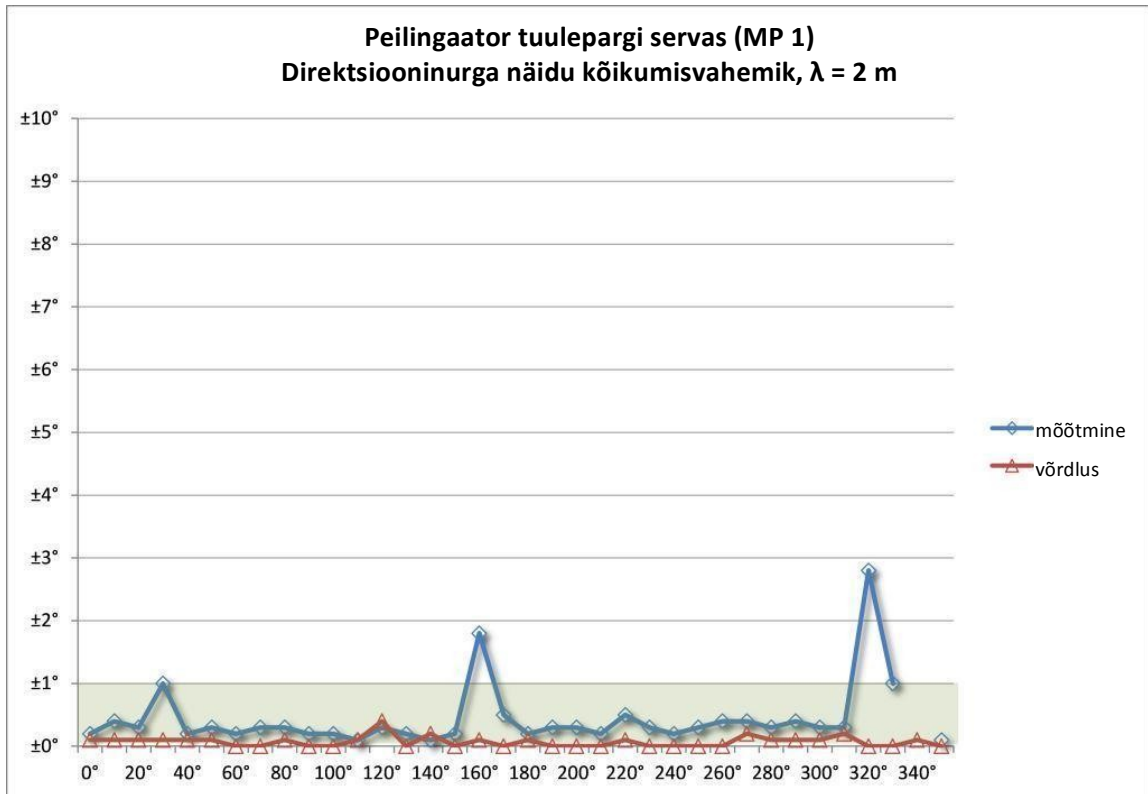
HF-vahemikus käitub raadiopeilingaator kaootiliselt ning on seetõttu kasutuskõlbmatu.

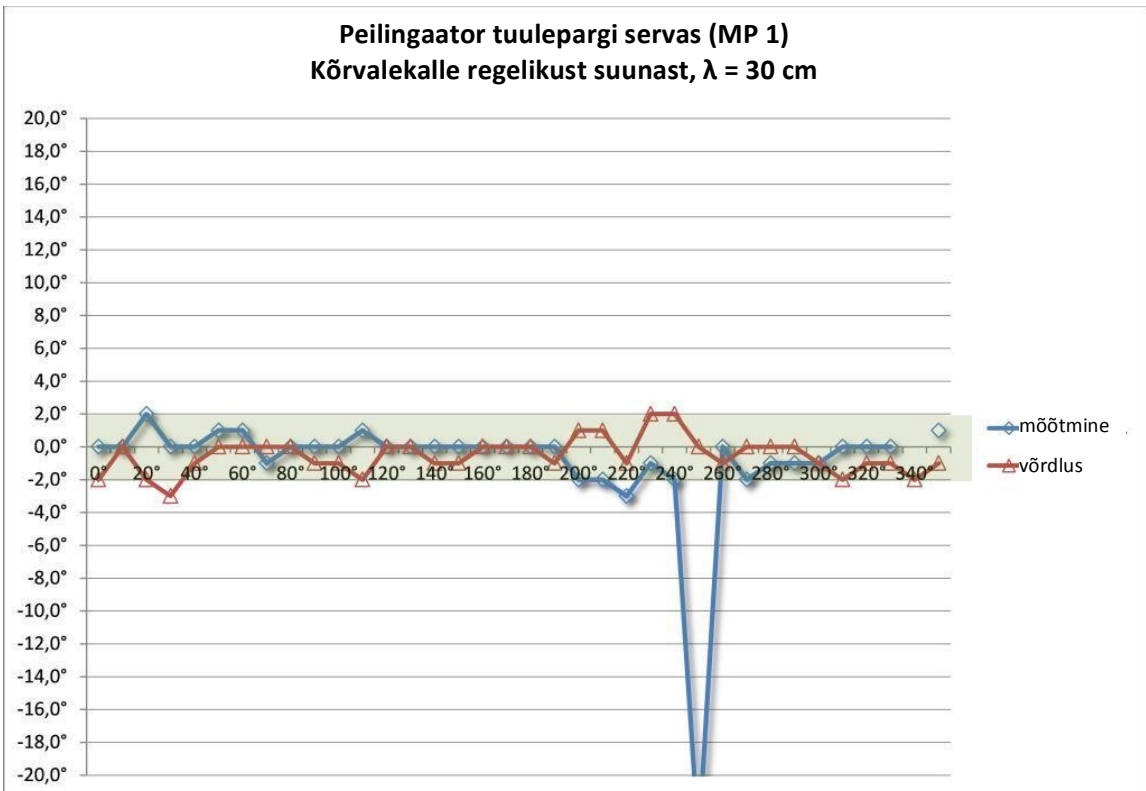
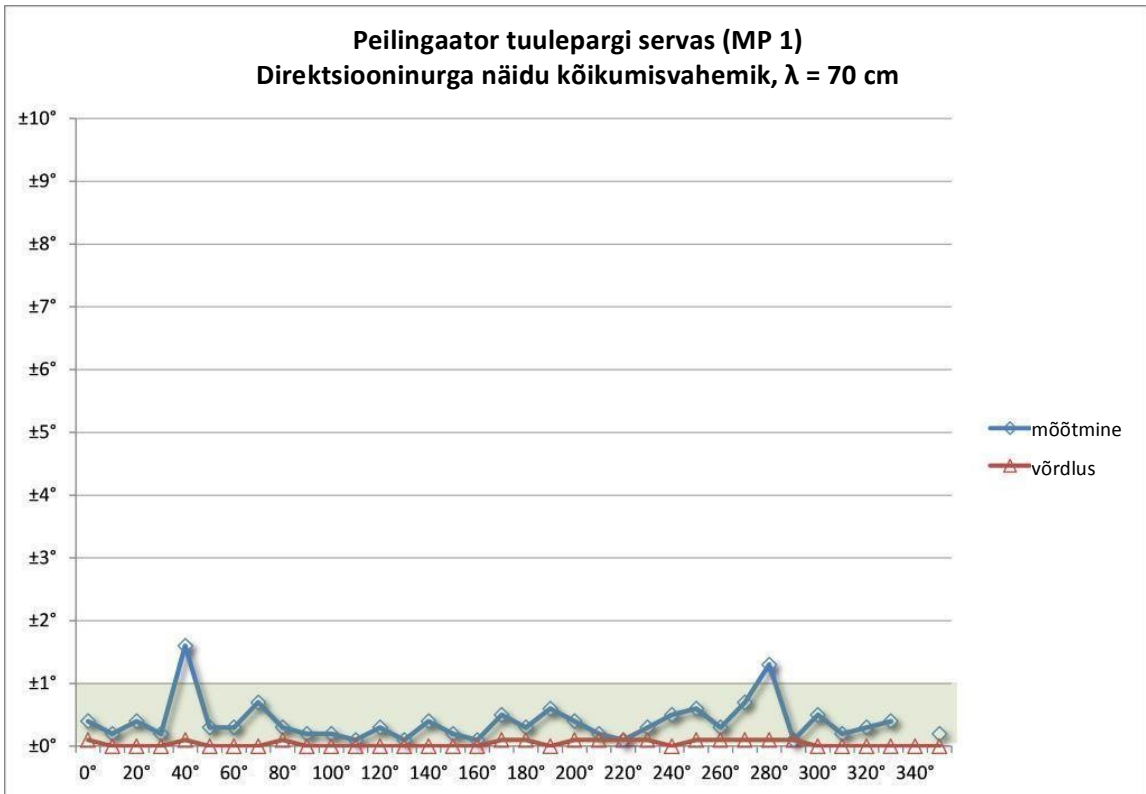
Järeldused: raadiopeilingaatorit ei saa kasutada tuulepargis.

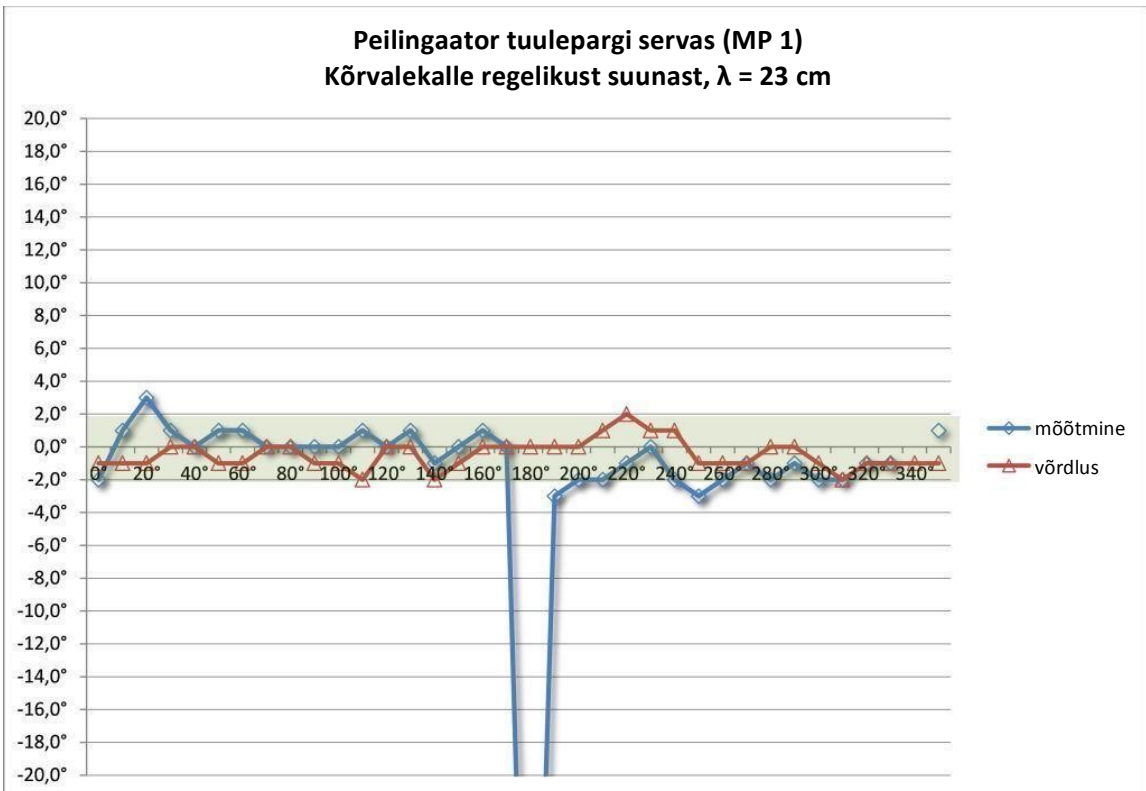
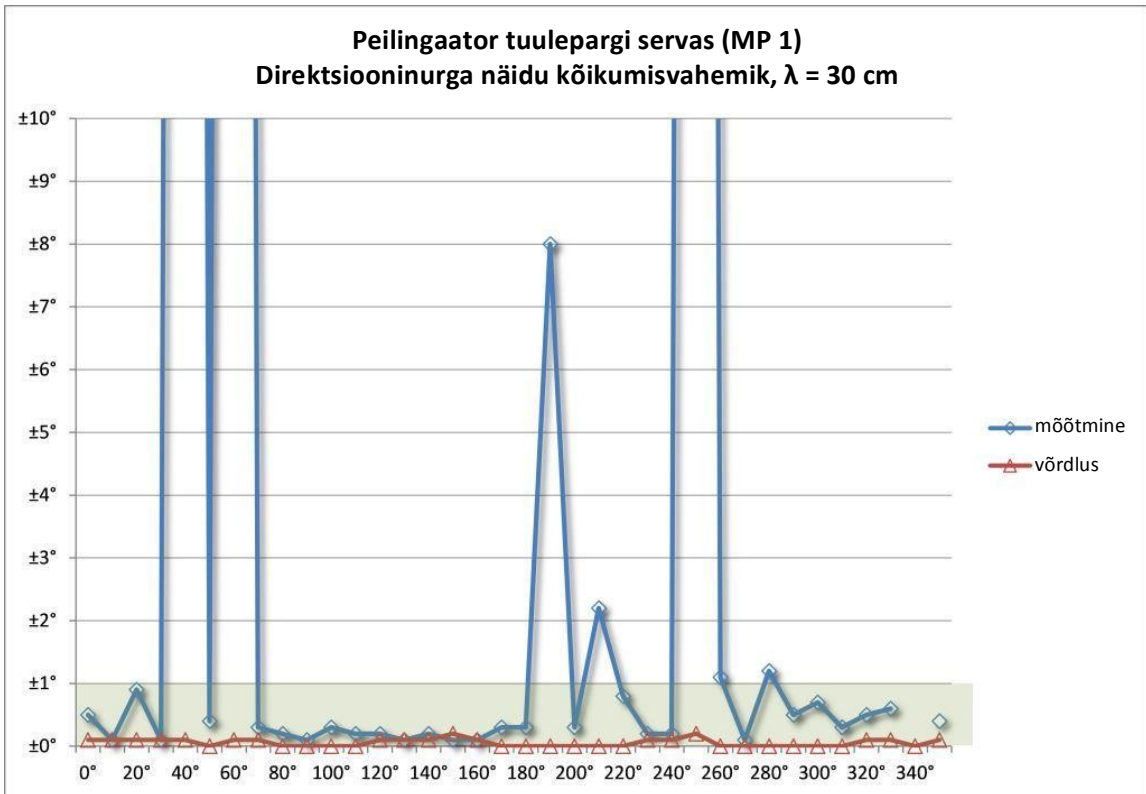
9.2.2 Raadiopeilingaator tuulepargi servas

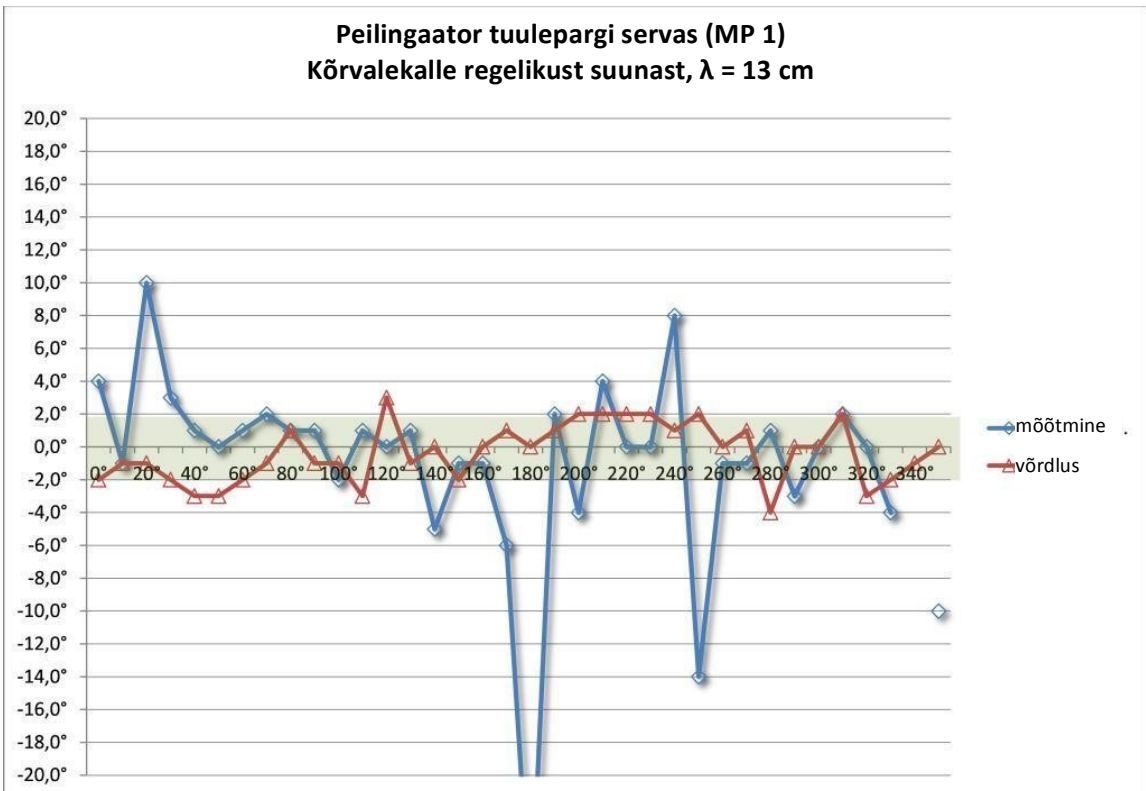
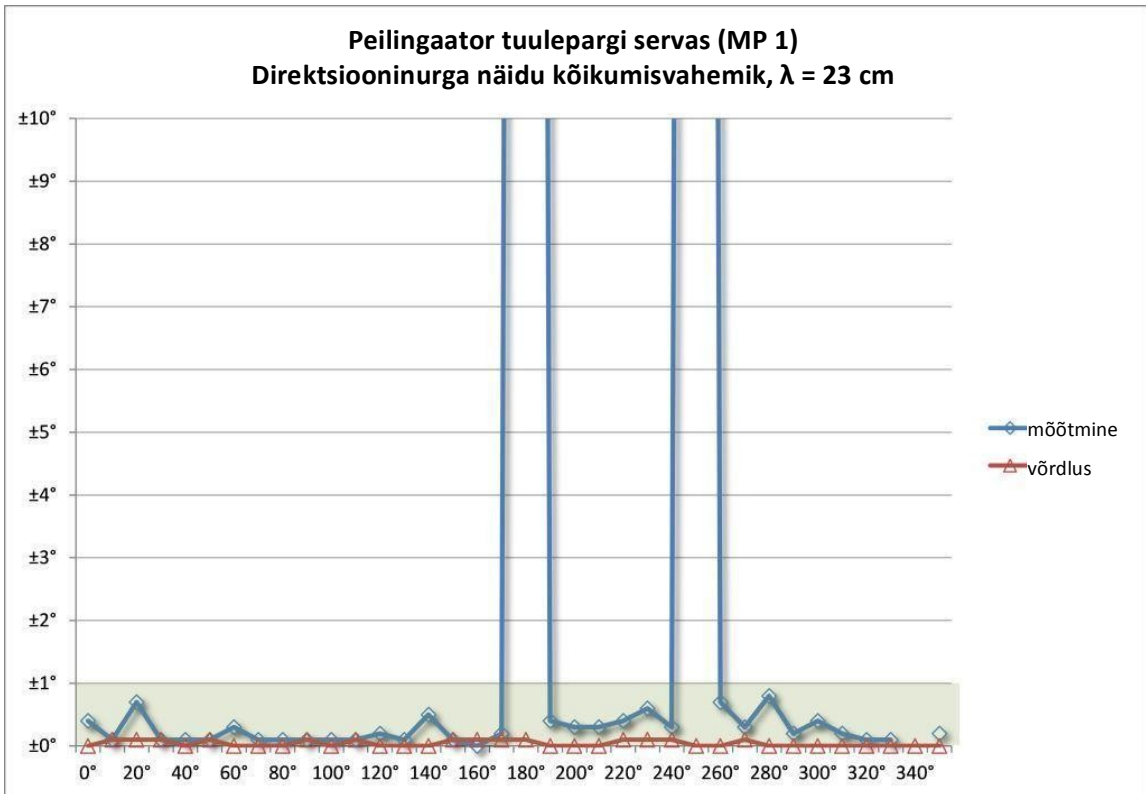


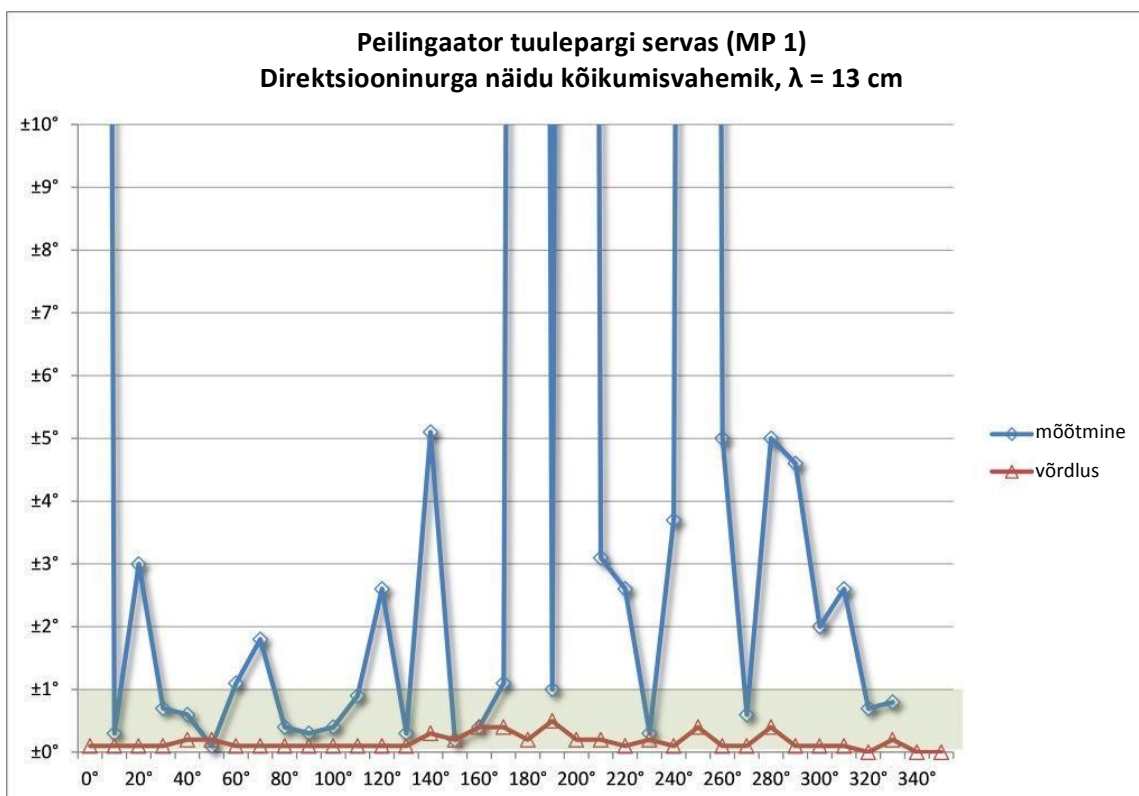












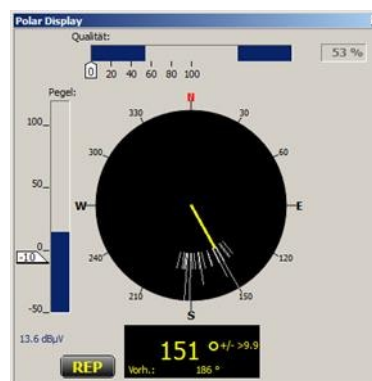
Häireid ja teatud juhtudel tõsiseid häireid tuvastati kõigis testitud sagedusalades. Eriti oli seda märgata 4 m sagedusalas, kus kõigis suundades tuvastati märkimisväärseid peilimisvigu, kusjuures vead olid tugevaimad tuuleparki läbivate direktsiooninurkade puhul ja huvitaval kombel vastassuunas.

2 m sagedusalas tuvastati kõige suuremad peilimisvead tuuleparki läbivate direktsiooninurkade puhul ja vastassuunas. Ka siin tuvastati direktsiooninurga näidus märgatavaid kõikumisi, kus juhuslik „õige“ direktsiooninurk oli 320° juures.

70 cm sagedusala käitub selles olukorras suhteliselt hästi, kuna asjakohased peilimisvead esinesid tuulepargist eemale osutavates suundades (lõunasse).

Kolm kõrgeimat sagedusala (800 MHz – 3 GHz) on taaskord märkimisväärsed direktsiooninurga näidu märgatavate kõikumiste tõttu (teatud juhtudel) piiratud nurgavahemikes. 30 ja 23 cm sagedusalas on direktsiooninurgad võimalikud suuremates nurgavahemikes. Kuid direktsiooninurga märgatavate kõikumiste tõttu teatud suundades võib selle (teatud juhtudel) saavutada ainult pika vaatlusperioodi jooksul, mis ei ole enamik digitaalsete raadiosüsteemide puhul võimalik.

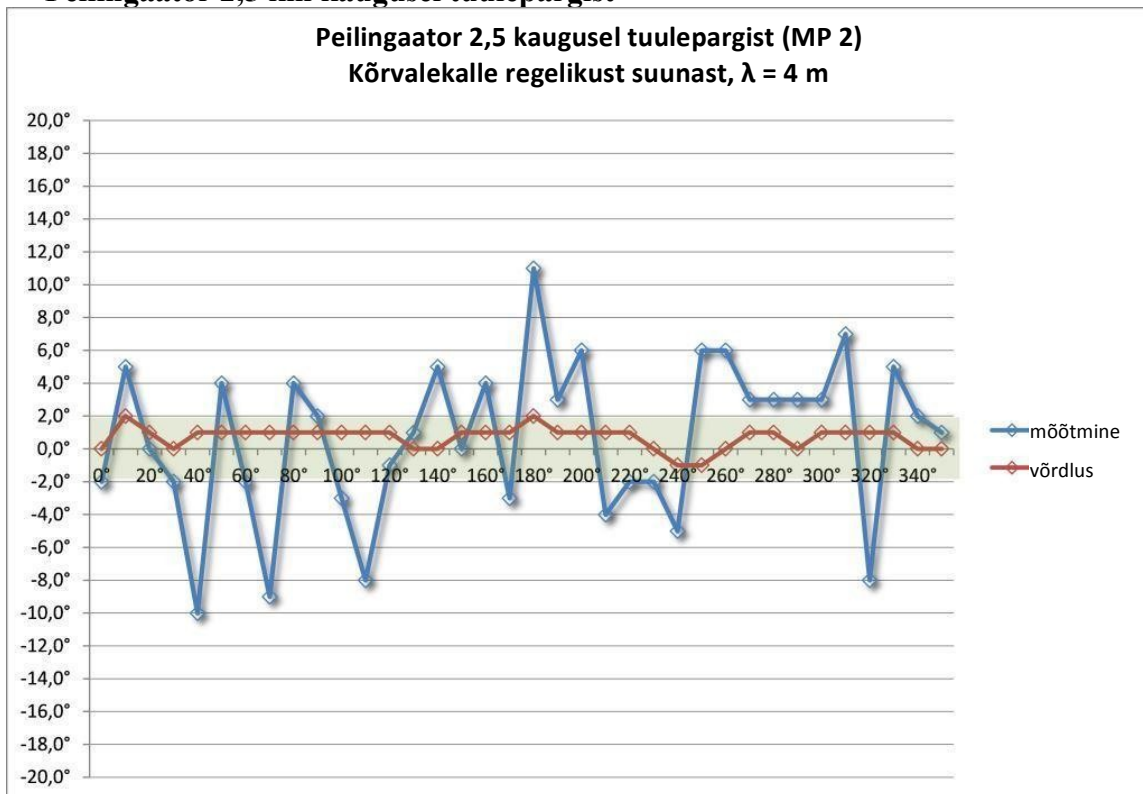
13 cm sagedusalas on direktsiooninurgad kaootilised ja nende puhul esineb märgatavaid kõikumisi ennekõike tuulepargi suunas ja tuulepargile vastassuunas.

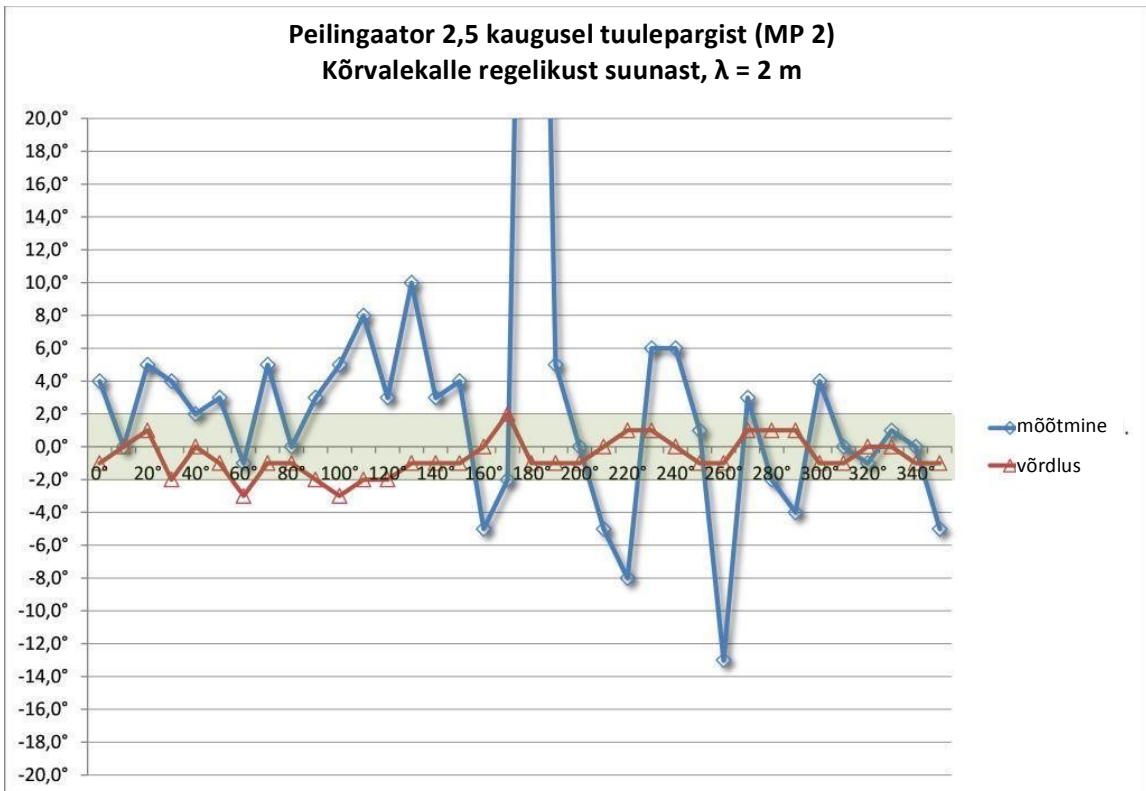
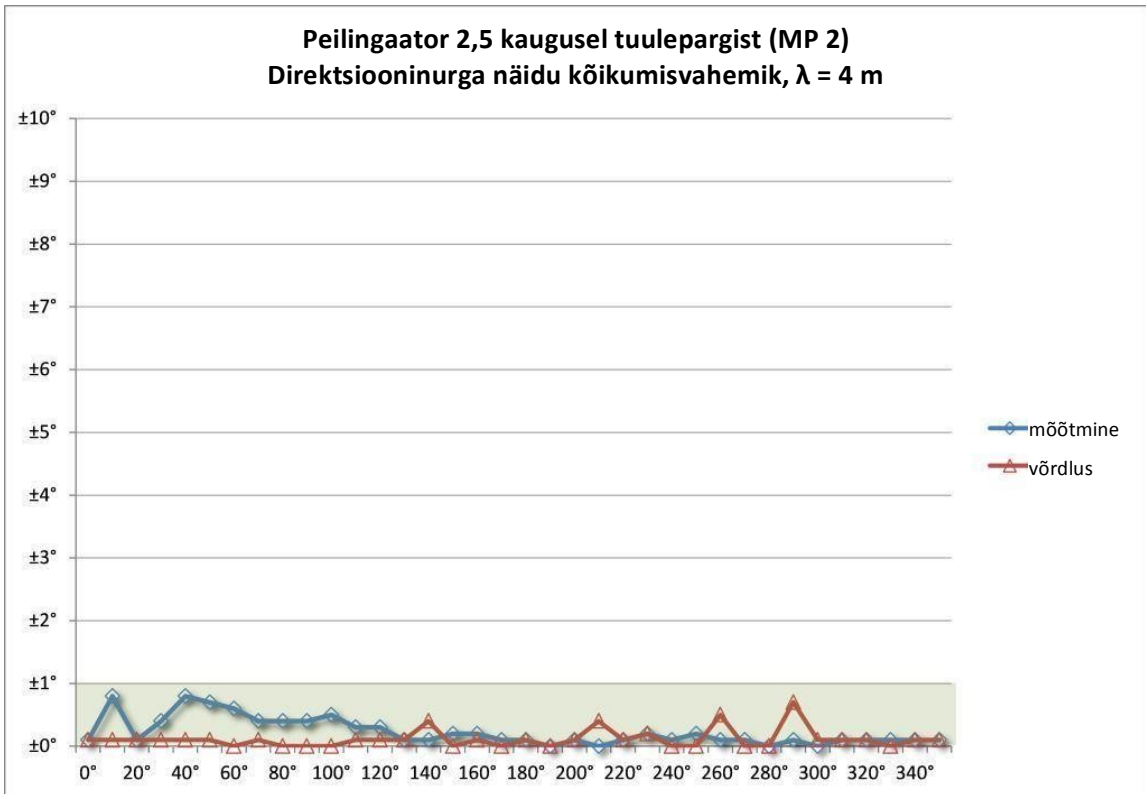


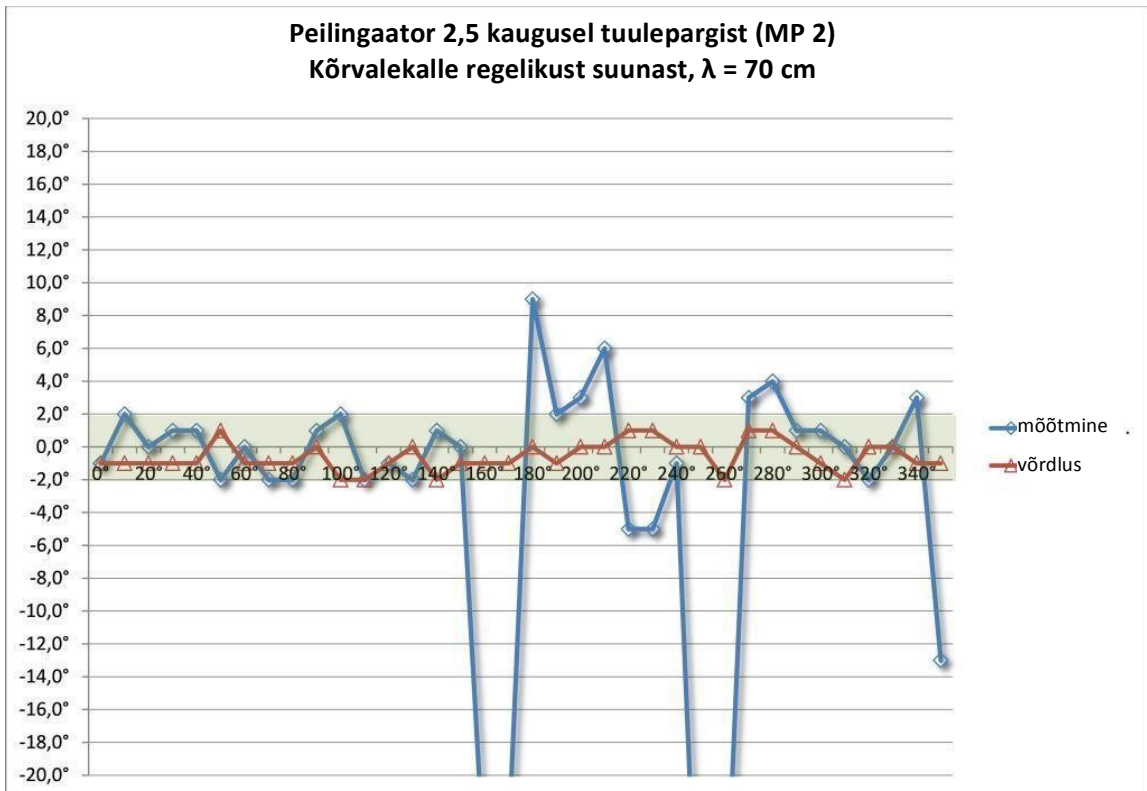
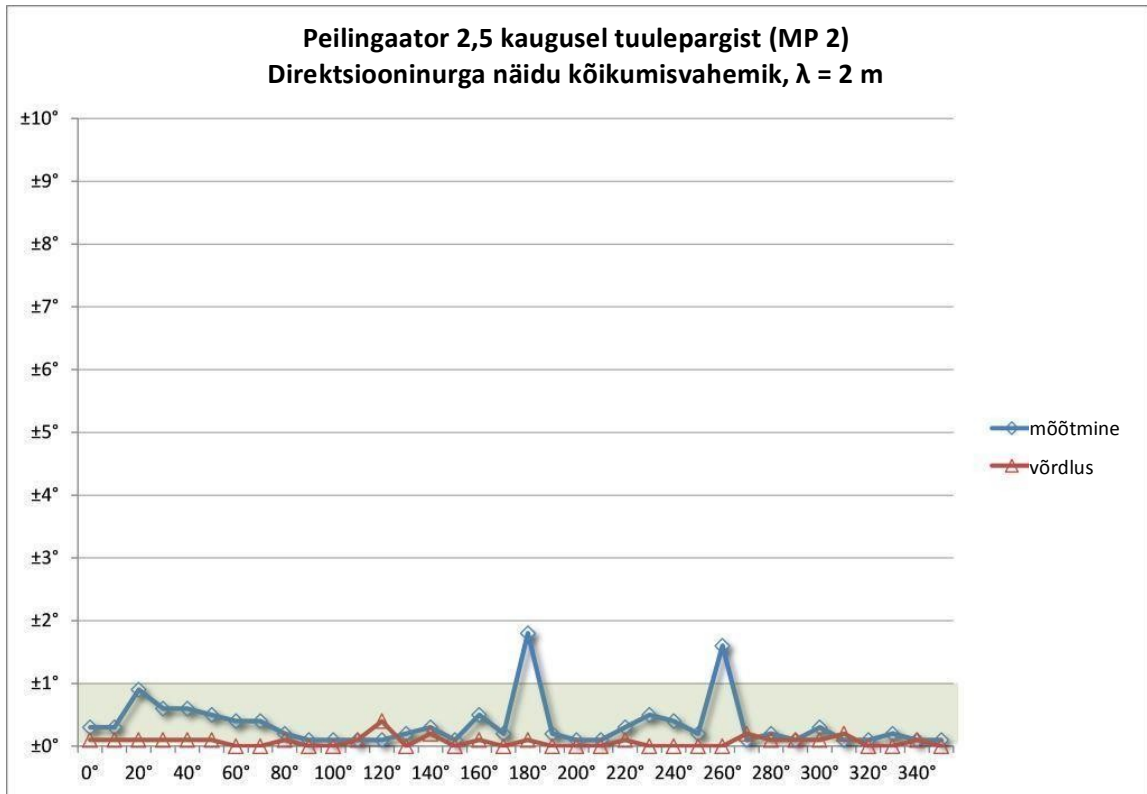
Kuvatõmmistel on esitatud kaks näidet tüüpilisest direktsiooninurga näidust selles mõõtmiste seerias. Esimesel on kujutatud direktsiooninurga näit 23 cm sagedusalas mitme diskreetse direktsiooninurgaga. Direktsiooninurga ajaloo lühikesed valged jooned näitavad, et peilingaator kõigub vaikselt erinevate direktsiooninurkade vahel. Teisel on kujutatud direktsiooninurk 13 cm sagedusalas, kus direktsiooninurga näit paistab kõikumvat keskmise väärtuse juures.

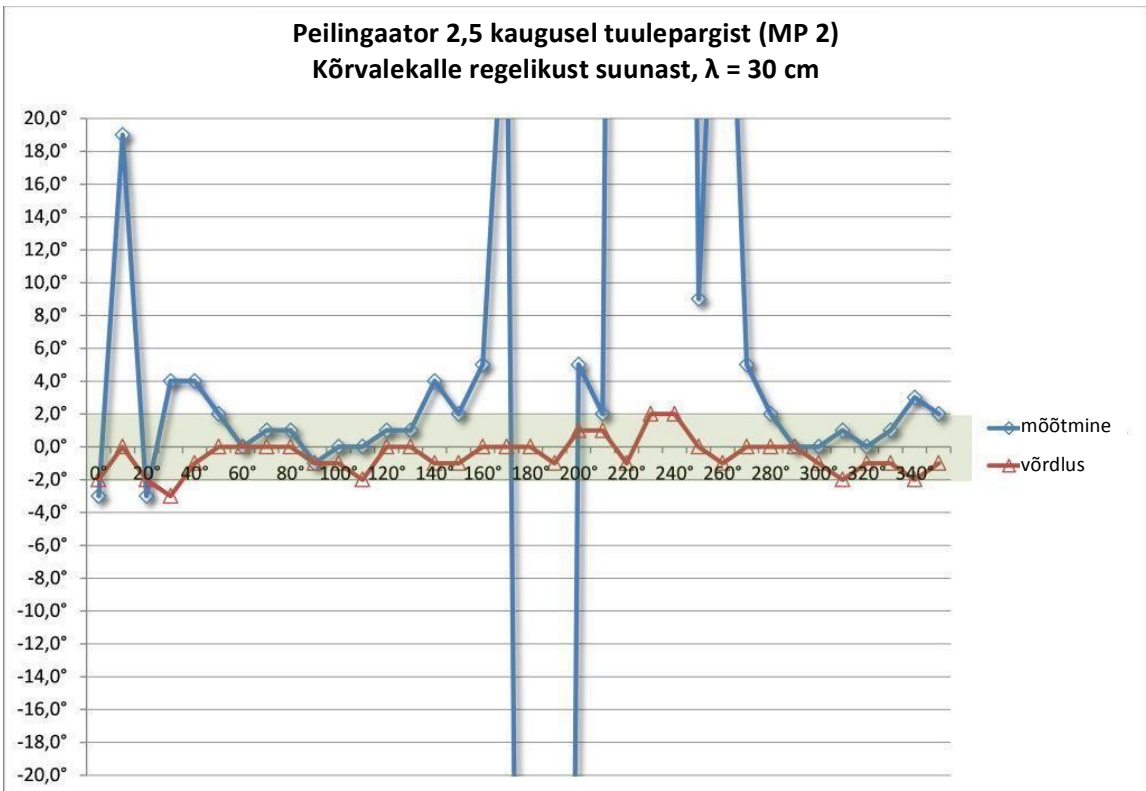
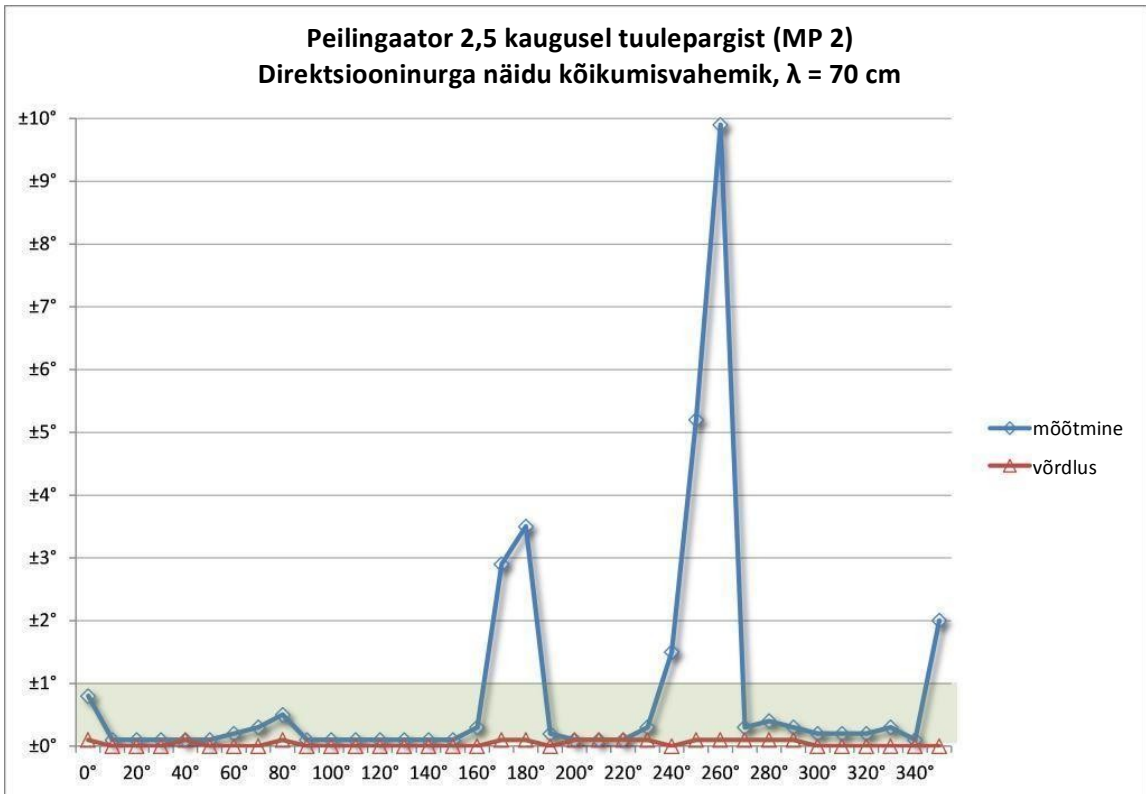
Järeldused: kui raadiopeilingaator asub tuulepargi servas, saab seda ainult 70 cm sagedusalas ja isegi siis ainult piiratud ulatuses.

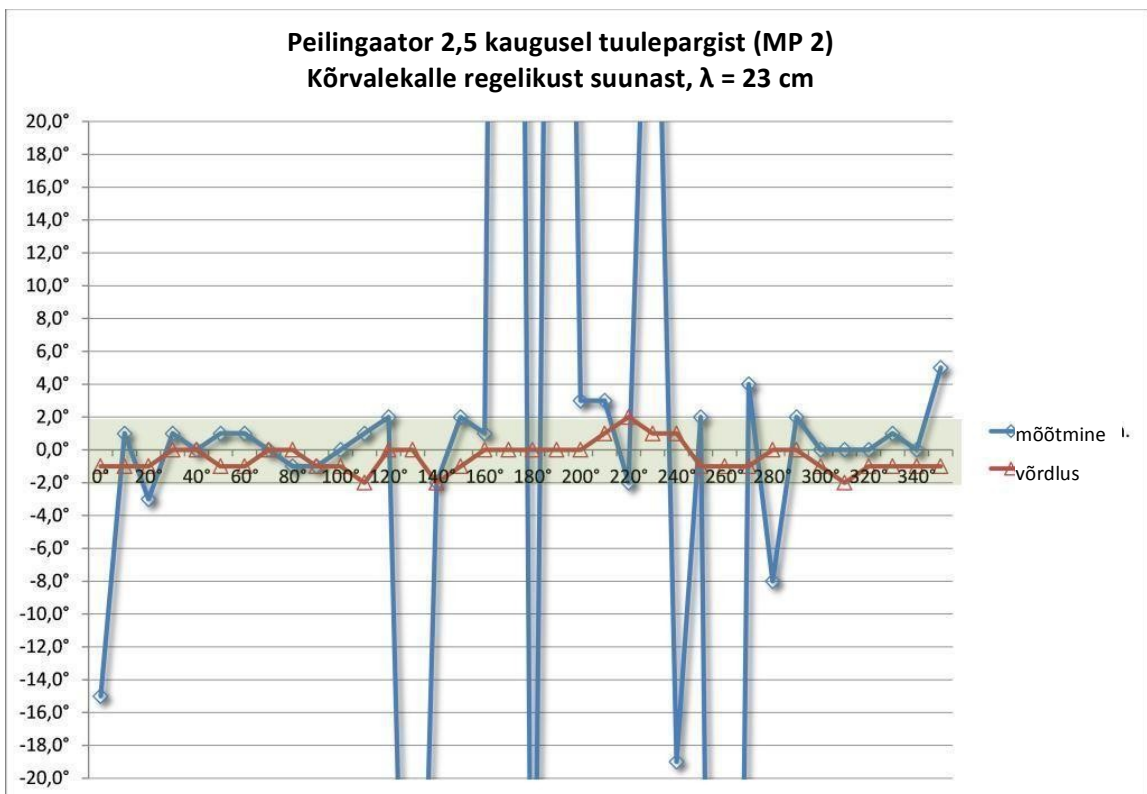
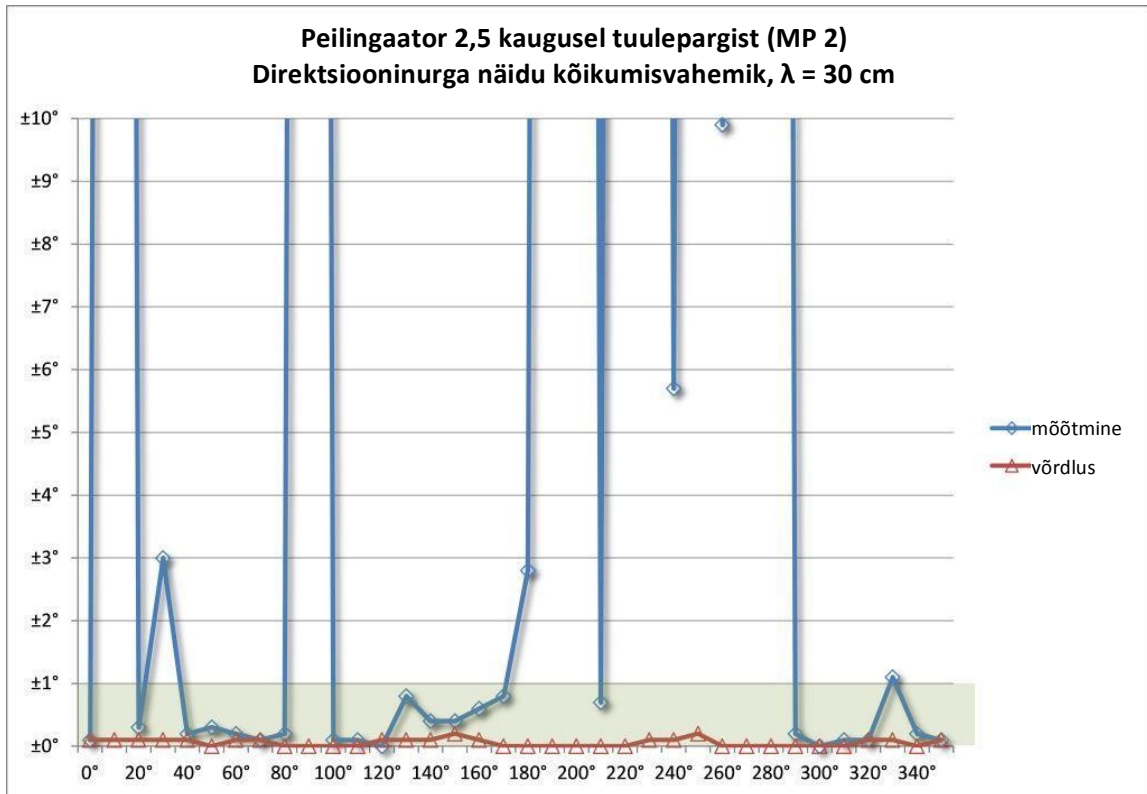
9.2.3 Peilingaator 2,5 km kaugusel tuulepargist

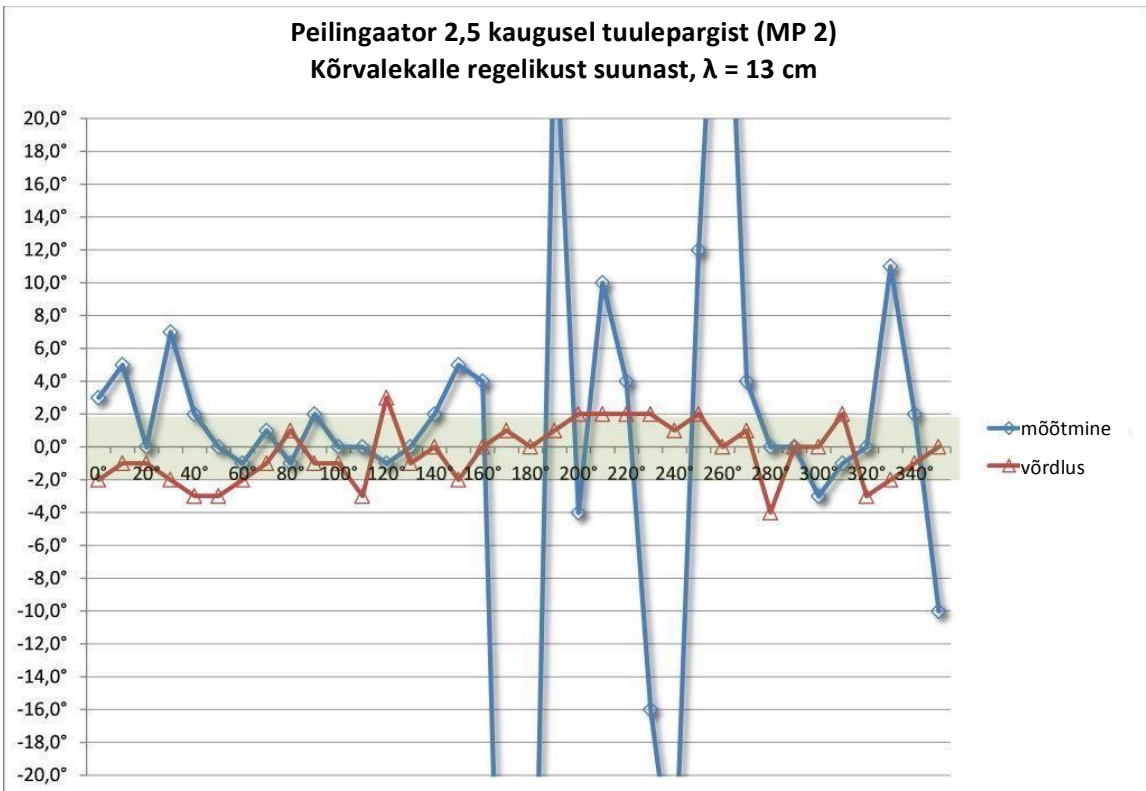
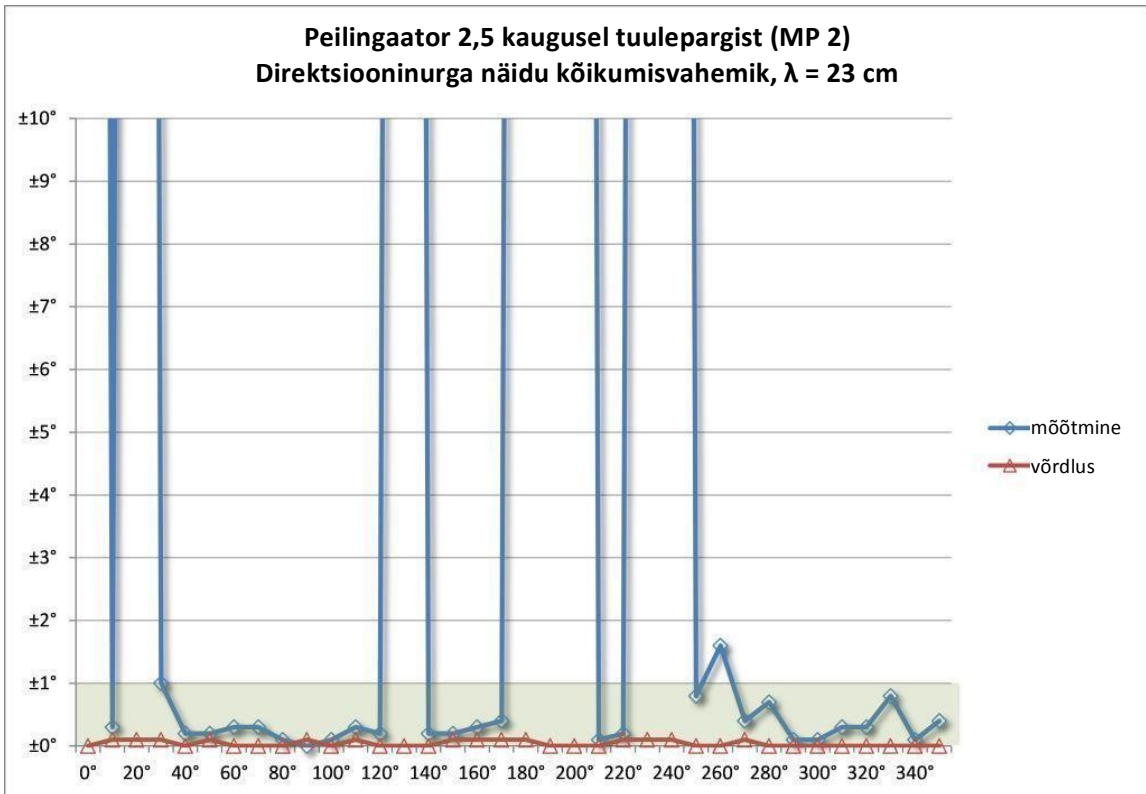


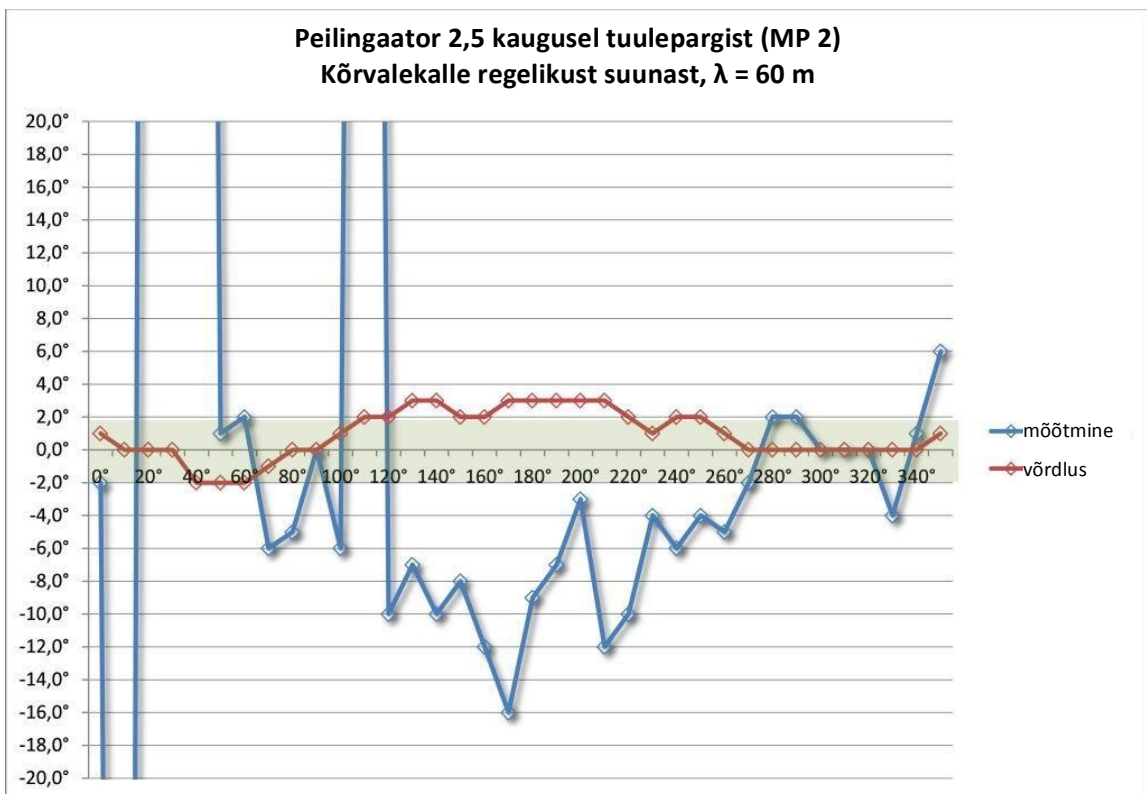
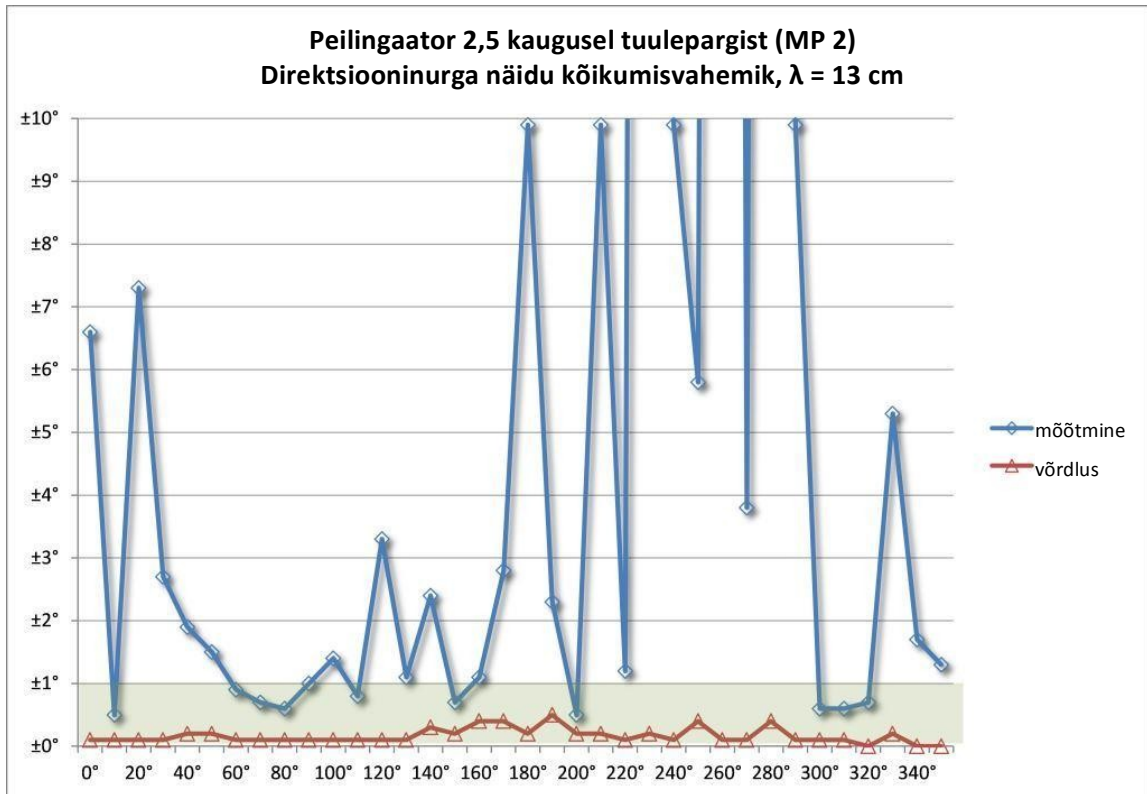


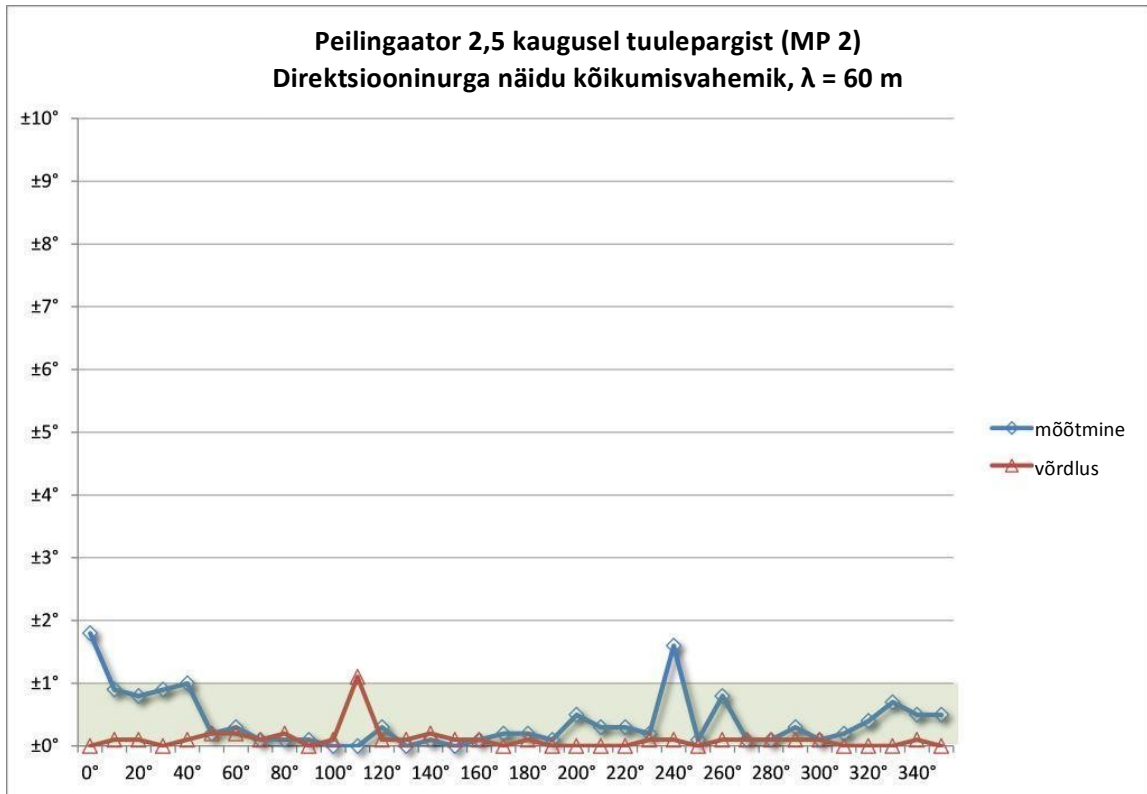












Kui peilingaator asus tuulepargist 2,5 km kaugusel, tuvastati märkimisväärseid peilimisvigu kõigis VHF-/UHF-sagedusalades.

4 ja 2 m sagedusalas tuvastati märgatavad peilimisvead kõigis neljas kvadrantis.

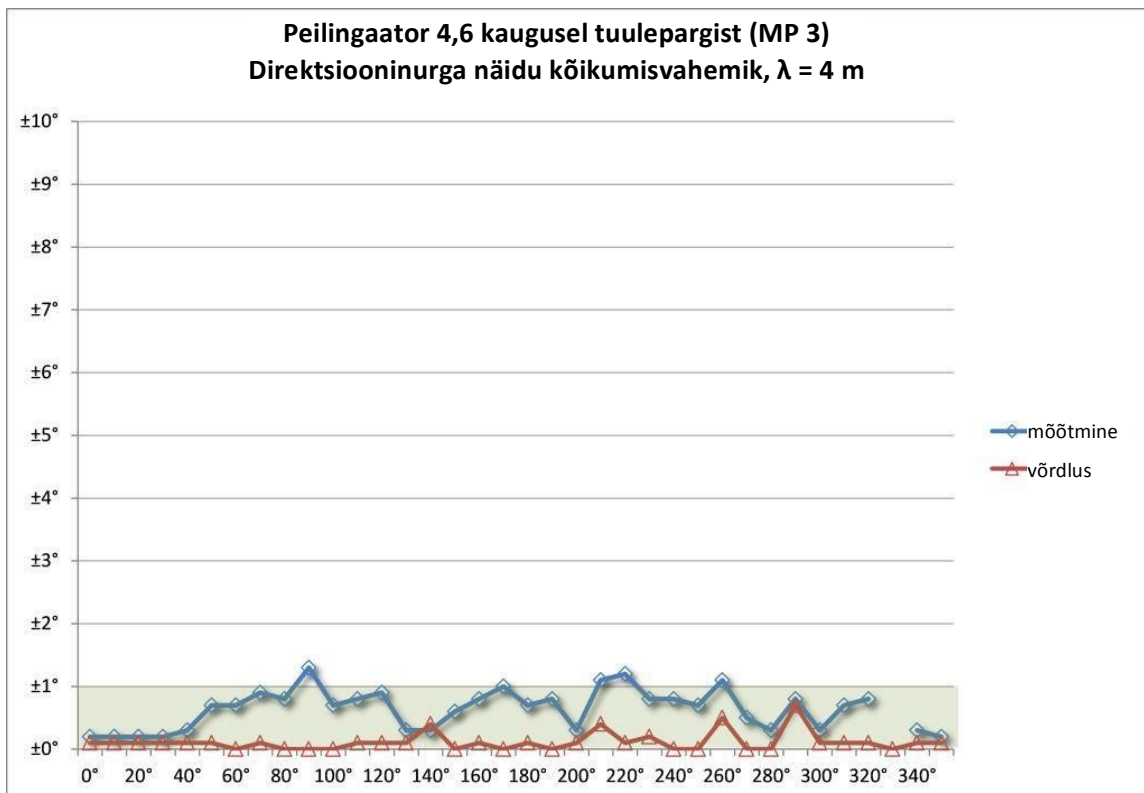
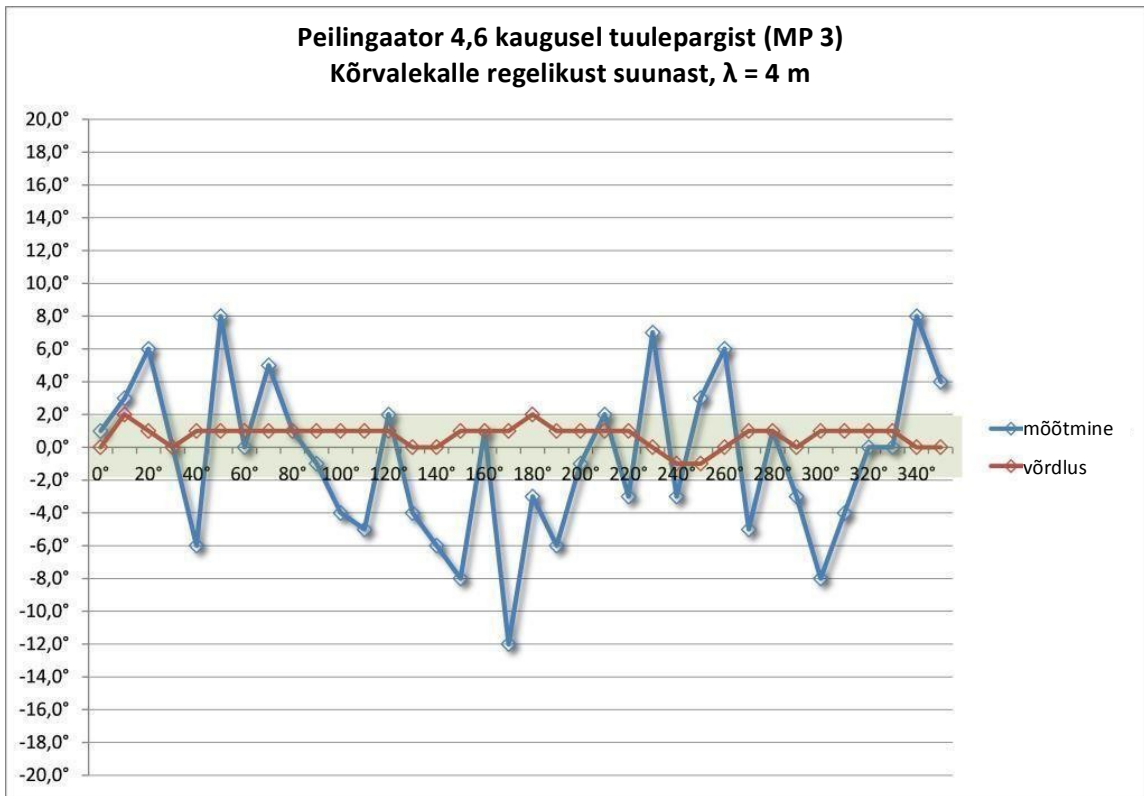
Teistes sagedusalades (70 cm ... 13 cm) tuvastati ainult väiksemad peilimisvead nurgavahemikus kirdest kagusse (st umbes tuulepargi suunas). Kusjuures, märkimisväärsed peilimisvead tuvastati vastassuunas. Nurgavahemik, kus tuvastati eriti tugevad häired, moodustab kaare, mille pikkus on selgelt seotud peilingaatori vaatepunktist tuulepargi poolt horisondile moodustatud kaare pikkusega. Kuid nurgavahemik, milles häired esinevad, on tuulepargi moodustatud kaarest alati suurem.

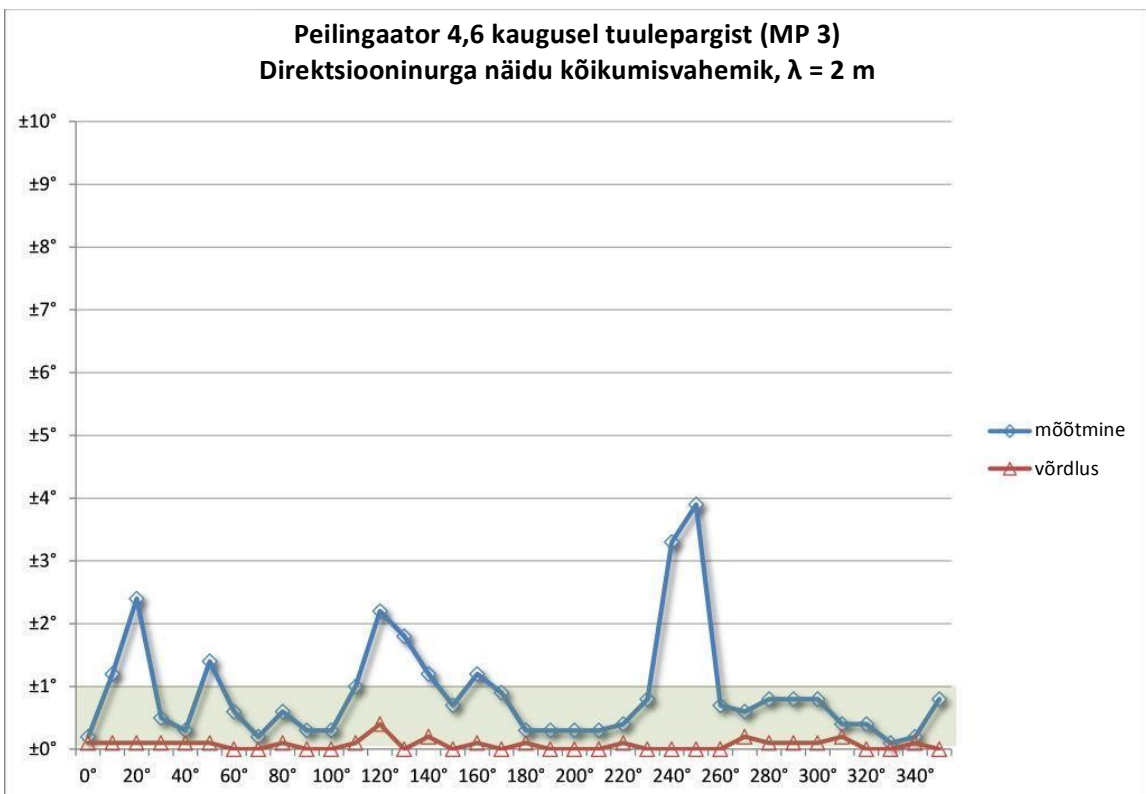
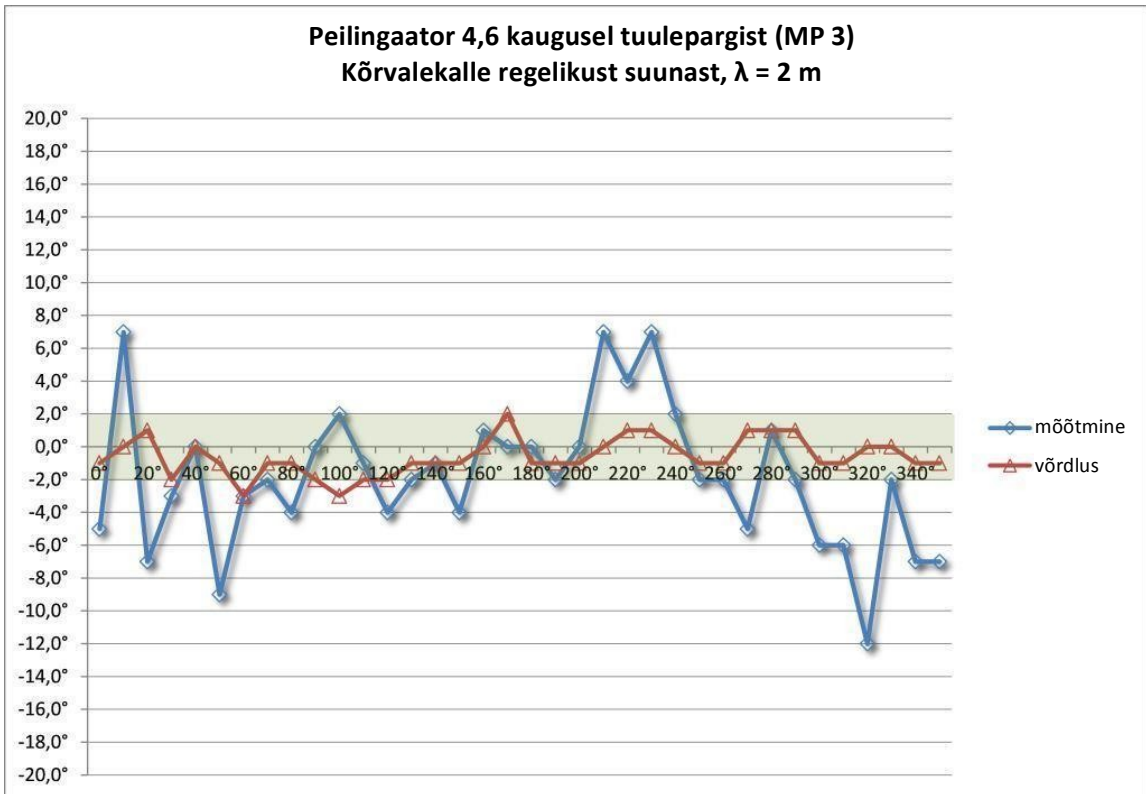
70 cm sagedusalas tuvastati direktsiooninurga näitude märgatavad kõikumised lisaks üleval kirjeldatud peilimisvigadele ka eraldi nurgavahemikes. See mõju on veelgi lühemate lainepikkuste puhul (30, 23 ja 13 cm) isegi suurem ning lainepikkuste lühenemisel ulatub see veelgi suurematesse nurgavahemikesse.

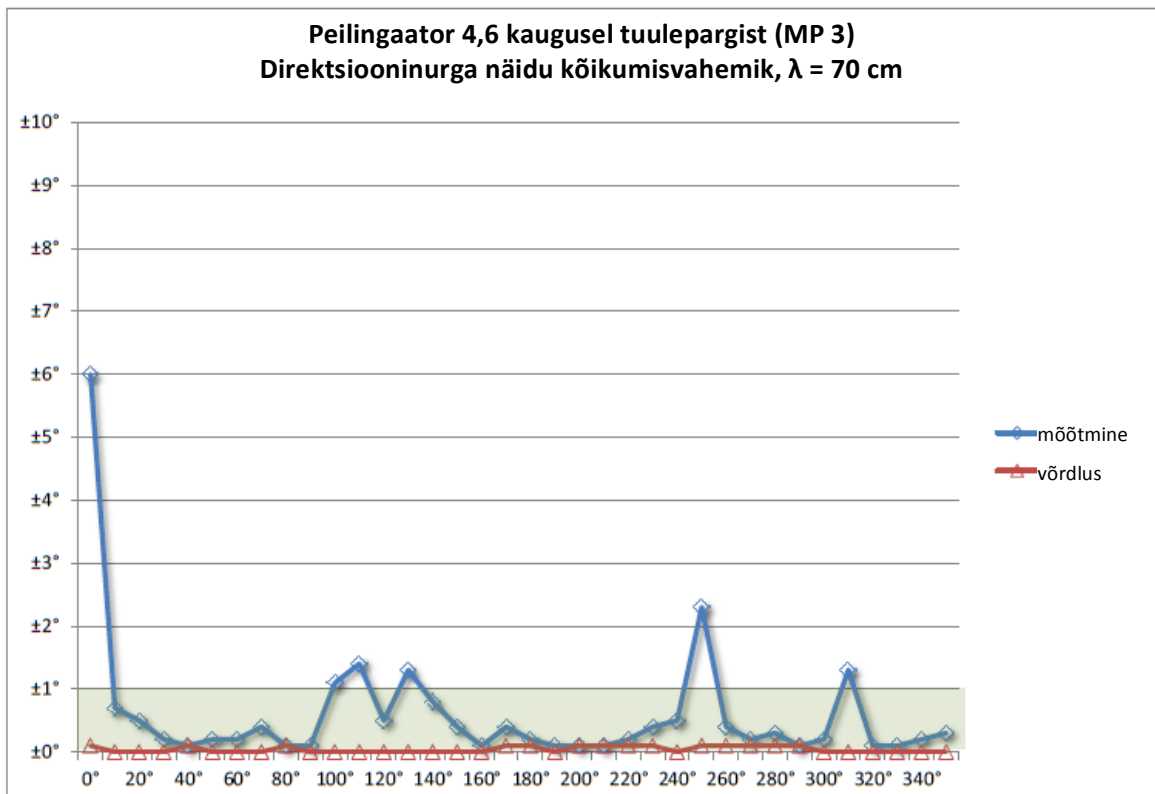
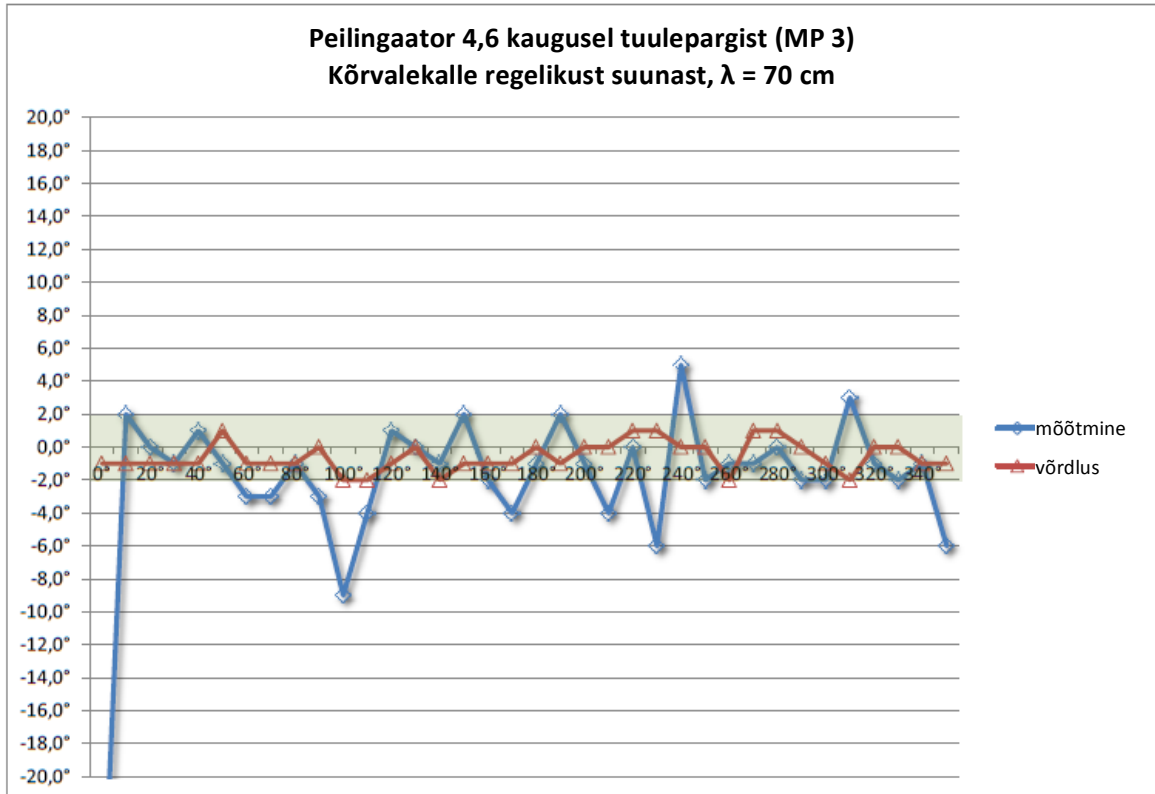
HF-sagedusalas tuvastati märkimisväärsed peilimisvead kõigis neljas kvadrantis, välja arvatud kitsas sektoris, mis asub tuulepargiga ristisuunas. Tuulepargi suunas on peilimisvead nii suured, et isegi õiget kvadranti ei ole enam võimalik tuvastada.

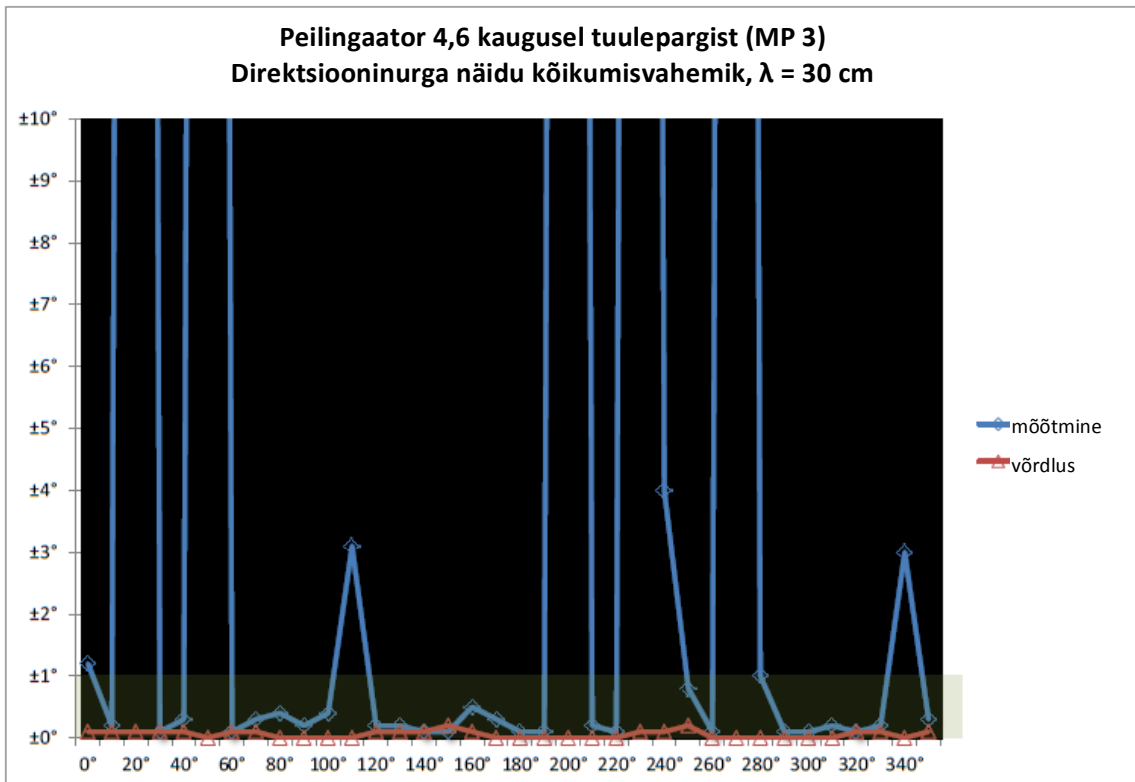
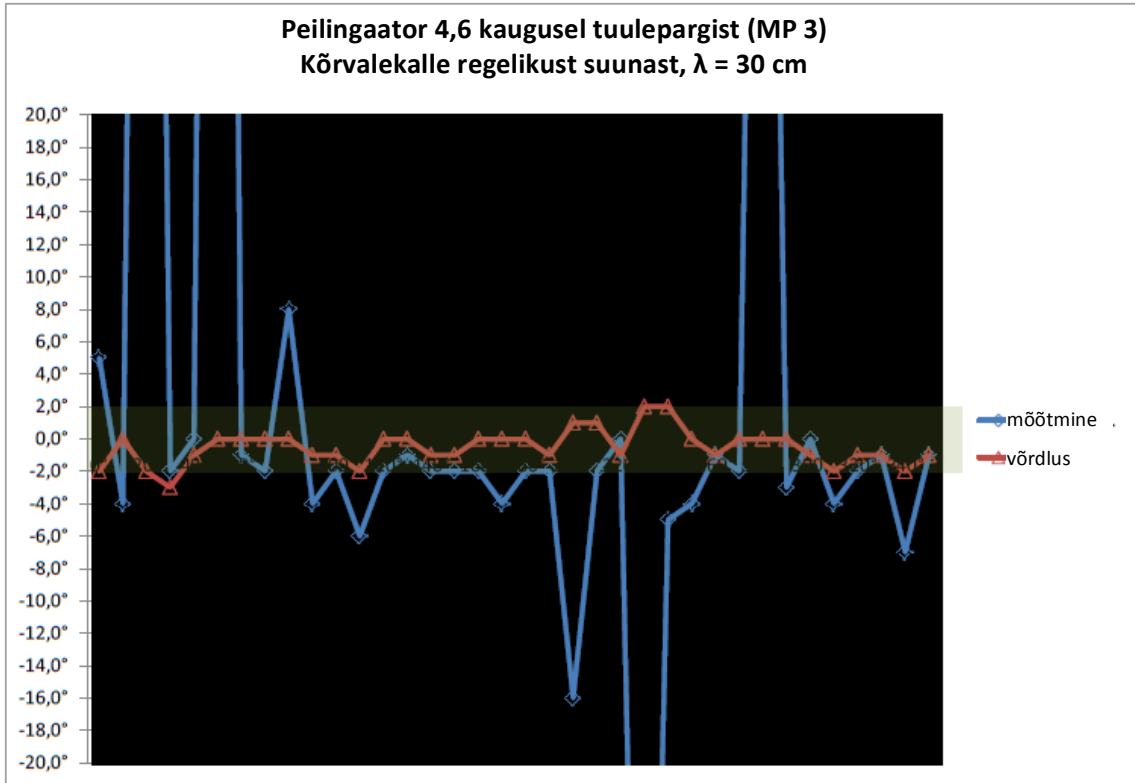
Järeldused: tuulepargist 2,5 km kaugusel asuvat fikseeritud raadiopeilingaatorit saab kasutada ainult 70 cm sagedusalas ja isegi siis ainult piiratud nurgavahemikus.

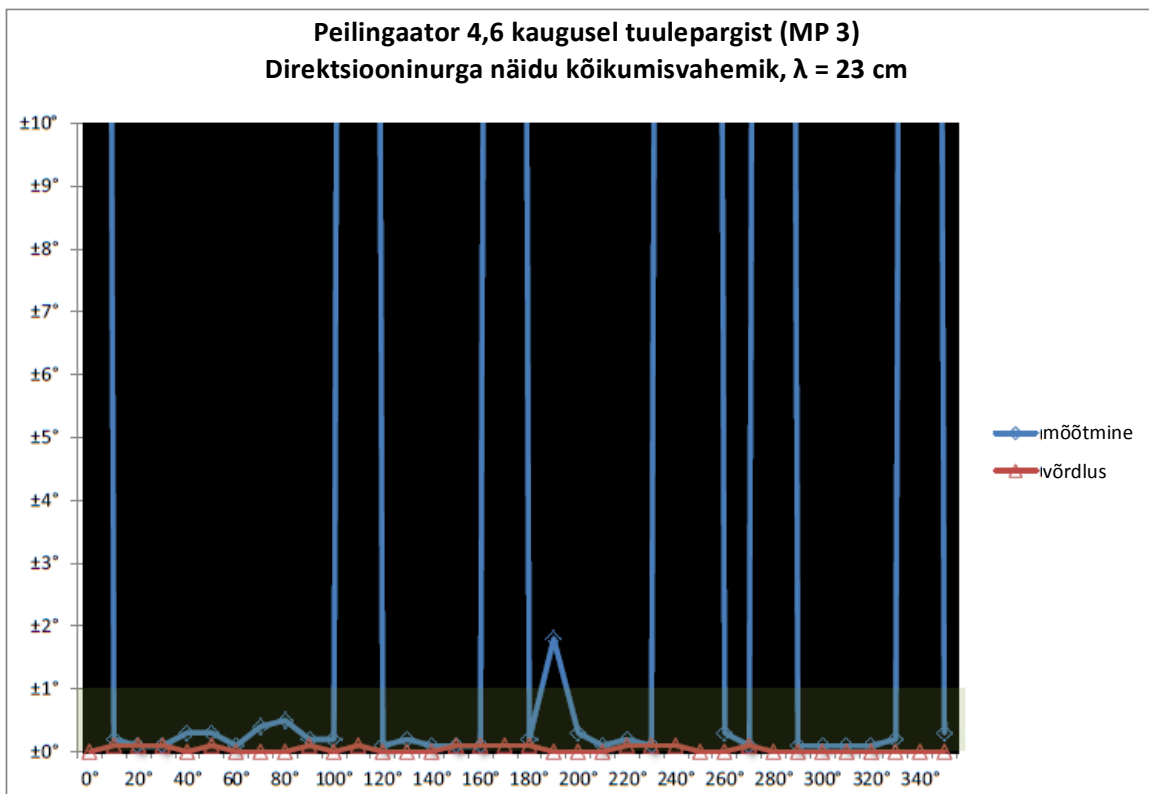
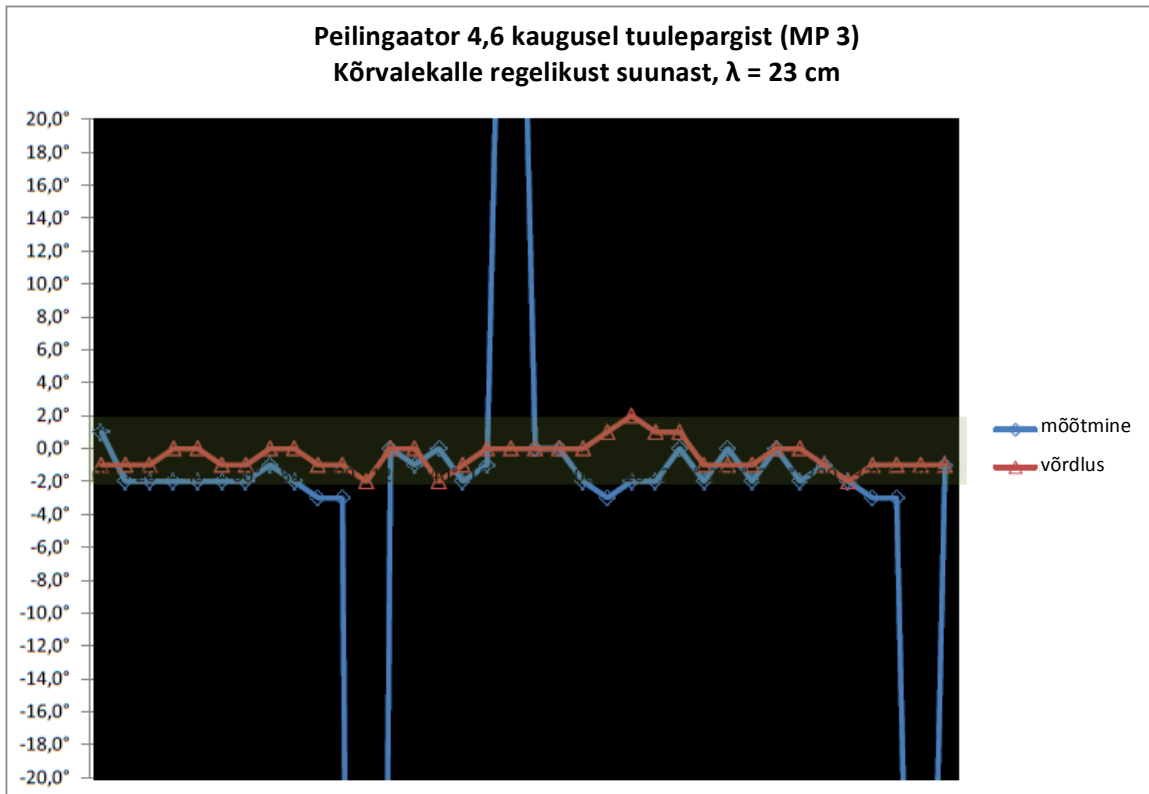
9.2.4 Peilingaator 4,6 km kaugusel tuulepargist

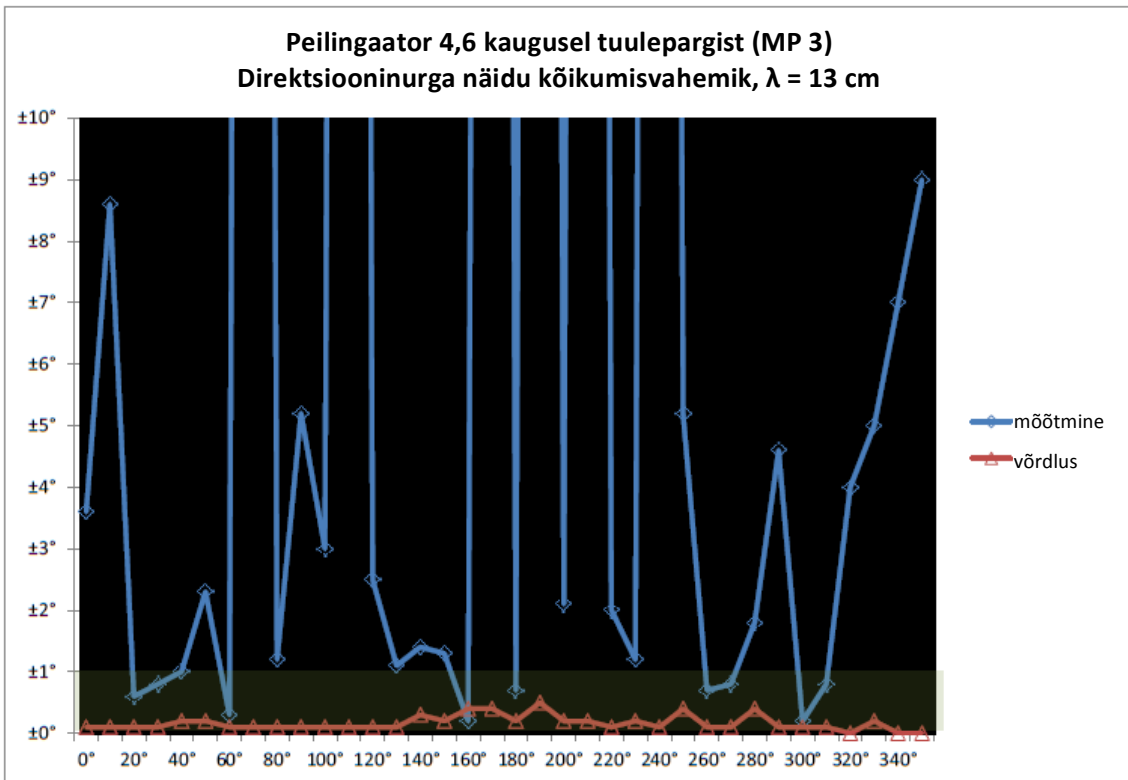
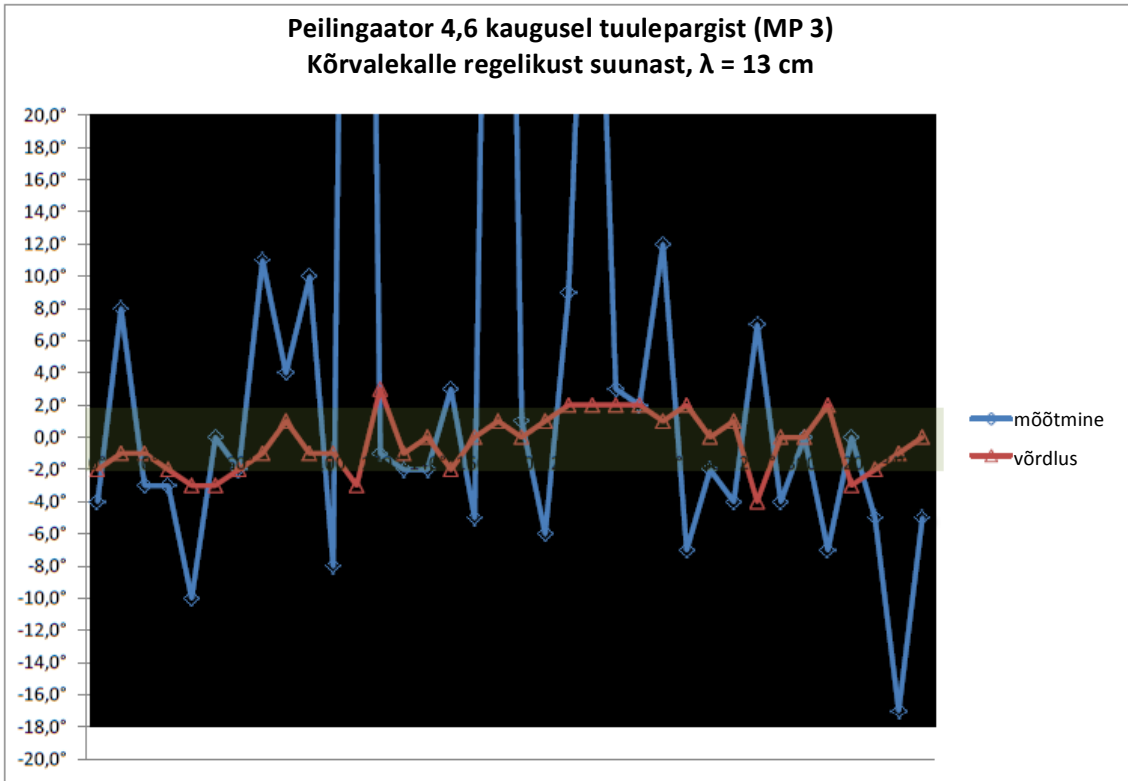


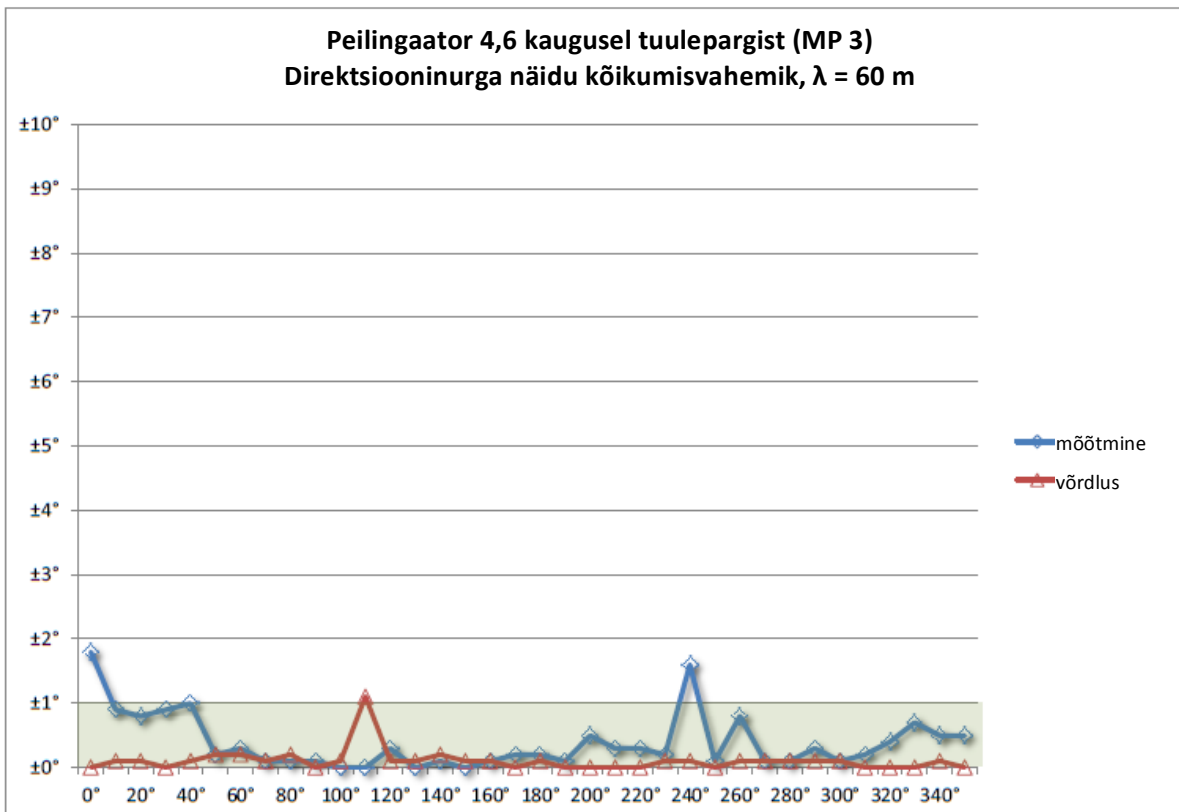
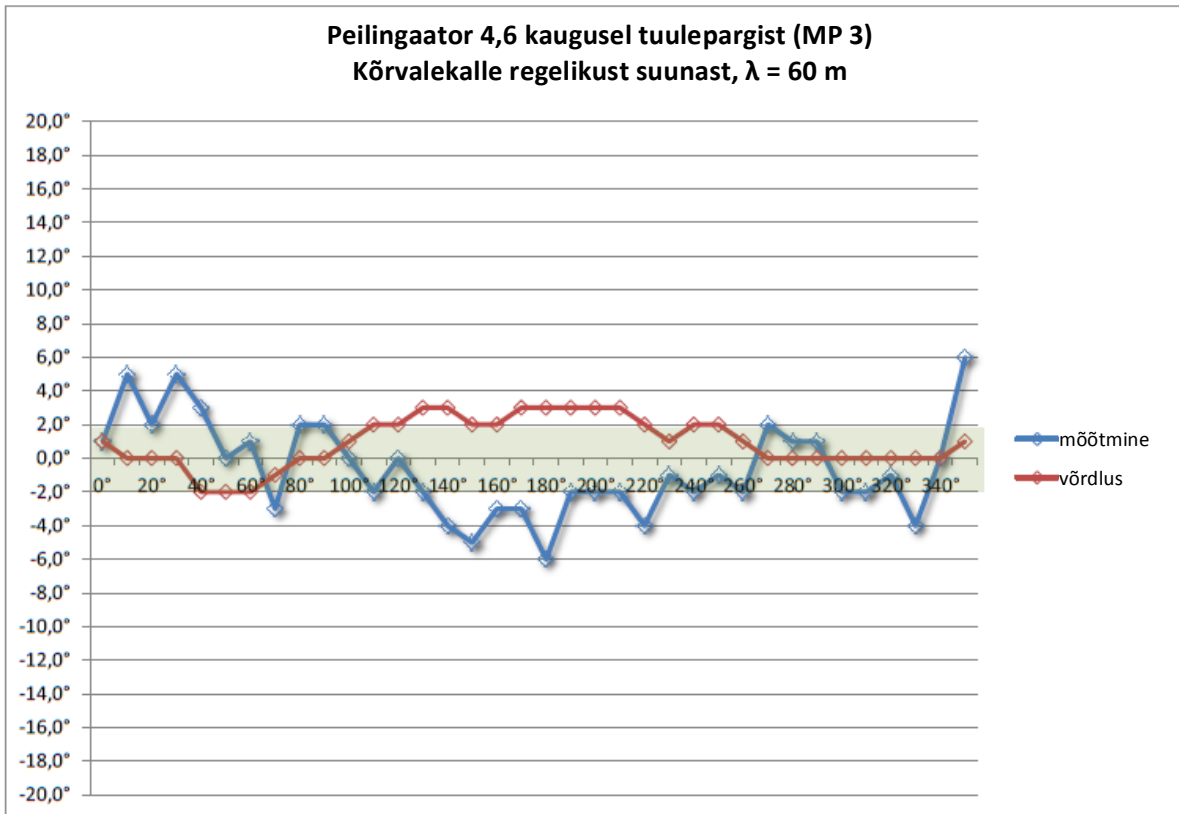












Kui peilingaator asus tuulepargist 4,6 km kaugusel, tuvastati märkimisväärsed peilimisvead kõigis VHF-/UHF-sagedusalas.

4 ja 2 m sagedusalas tuvastati märgatavad peilimisvead kõigis neljas kvadrantis. Kokkuvõttes on need mõnevõrra väiksemad kui 2,5 km kaugusel tehtud mõõtmiste puhul (vt § 9.2.3), kuigi 4 m sagedusalas tuvastati teatud juhtudel veelgi suuremaid peilimisvigu tuulepargile vastassuunas.

70 cm sagedusalas eriti märgatavaid peilimisvigu, mis tuvastati 2,5 km kaugusel tuulepargile vastassuunas, enam ei täheldatud. Samas mõjutasid kõiki nelja kvadranti märkimisväärsed peilimisvead, välja arvatud ühte väikest nurgavahemikku tuulepargi suunas. See vastab varasematele tähelepanekutele, mille kohaselt on suurema vahemaa tõttu tuulepargi moodustatav kaar peilingaatori vaatepunktist palju lühem.

30 cm sagedusalas esinesid taas eriti märgatavad peilimisvead tuulepargile vastassuunas. Kusjuures uute tulemuste puhul tuvastati väga selged peilimisvead tuulepargi suunas. Ainult tuulepargiga ristisuunas kitsamate nurgavahemike puhul on peilimisvead väiksemad, kuid siiski märgatavad.

23 cm sagedusalas on tuulepargiga ristisuunas kaks suuremat nurgavahemikku ainult väikeste peilimisvigadega. Nurgavahemikus 230° kuni 330° tuvastati väga suured peilimisväärtuste kõikumised, mistõttu on tuulepargi suunas kasutatav ainult üks sektor.

13 cm sagedusalas tuvastati tugevad häired ja kaootilised peilimisvead kõigis neljas kvadrantis.

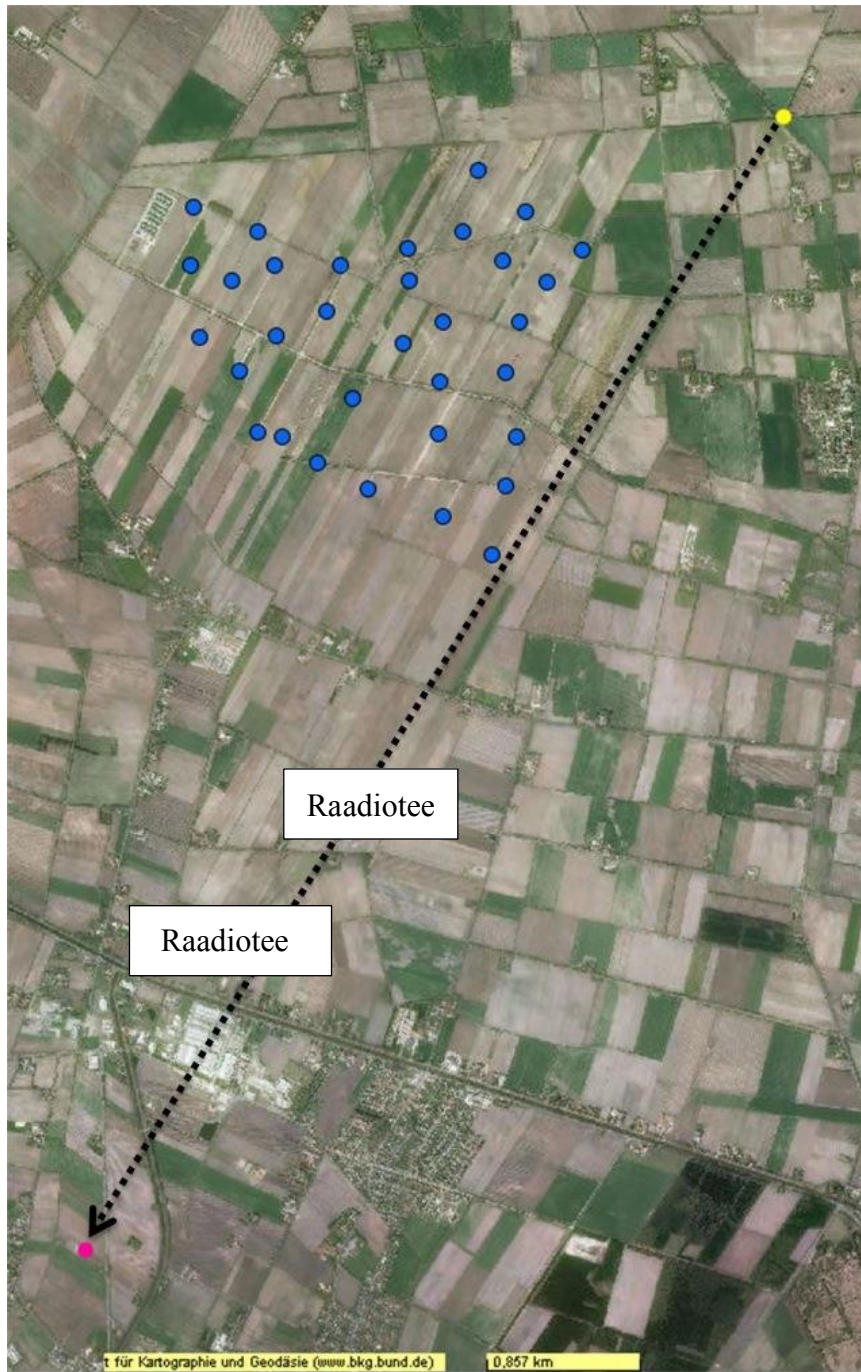
HF-vahemikus tuvastati sellel kaugusel lubamatud peilimisvead nii tuulepargi suunas kui ka tuulepargile vastassuunas. Kuid need on palju väiksemad kui 2,5 km kaugusel tuvastatud vead. Siinkohal tasub pöörata tähelepanu selgitustele § 9.1.2, mis tõstatavad küsimuse seoses nende mõõtmiste ülekantavusega fikseeritud HF-peilingaatorile, mis töötab taevalainetega.

Järeldused: tuulepargist 4,6 km kaugusel asuvat fikseeritud raadiopeilingaatorit ei saa kasutada üheski mainitud VHF-/UHF-sagedusalas.

10 Tasemete mõõtmised

Tuuleturbiinide mõju uurimiseks vastuvõtutasemetele loodi Harenis asuva tuulepargi kagupoolsele servale umbes 7,5 km pikkune raadiomonitoringu tee. Uuringu eesmärgiks on tuvastada tasemete kõikumised peilingaatori asukohas ja määratleda täpselt ümbritsevate tuuleturbiinide otsene mõju.

Raadiomonitoringu tee, mis näitab peilingaatori (punane punkt) ja saatja (kollane punkt) asukohta



Saatja asukoht tasemete mõõtmiste jaoks



Tuuleturbiin töötab kõige paremini, kui selle rootori kiirus on kalibreeritud tuule kiiruse järgi. Osalise koormusega töötingimustes (pöördemomendi reguleerimine) optimeeritakse laba nurga ja otsa kiiruse suhet nii, et rootori kiirus oleks ligikaudu võrdeline tuule kiirusega. Kaasaegsete kolme labaga turbiinide tõhus töövahemik on 5–32 pööret minutis. Harenis asuvas tuulepargis tehtud tasemete mõõtmiste ajal tehtud rootori kiiruse mõõtmised näitasid muutuvat pöörlemiskiirust vahemikus 5,1 kuni 6,5 sekundit.

10.1 Süsteemi tundlikkus

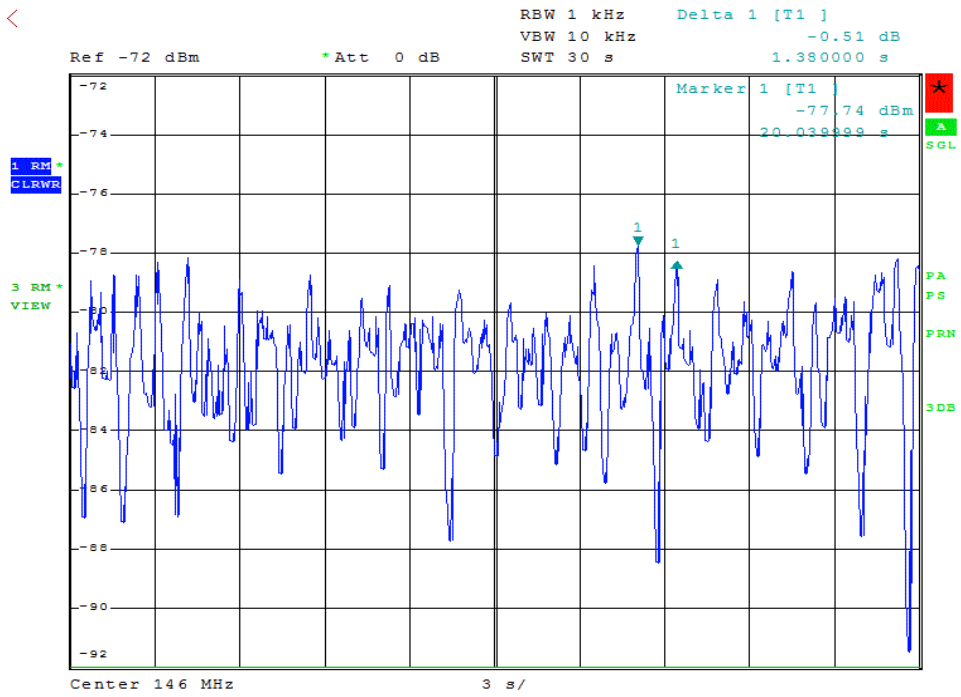
Kasutatava vastuvõtusüsteemi, mis hõlmas spektrianalüsaatorit ja asjakohasele sagedusvahemikule häälestatud maanduspinna antenni, tundlikkus on kõigi uuritud sageduste puhul parem kui -134 dBm.

10.2 Registreerimine ajadomeenis

Tasemete kõikumistest esmase ülevaate saamiseks salvestati tasemed algselt kõigis sagedusvahemikes kolme sekundi jooksul ajadomeeni (nullvahemik) piires. Testsignaalina kasutati N0N-signaali (moduleerimata pidev kandja, pidev saatja võimsus / CW).

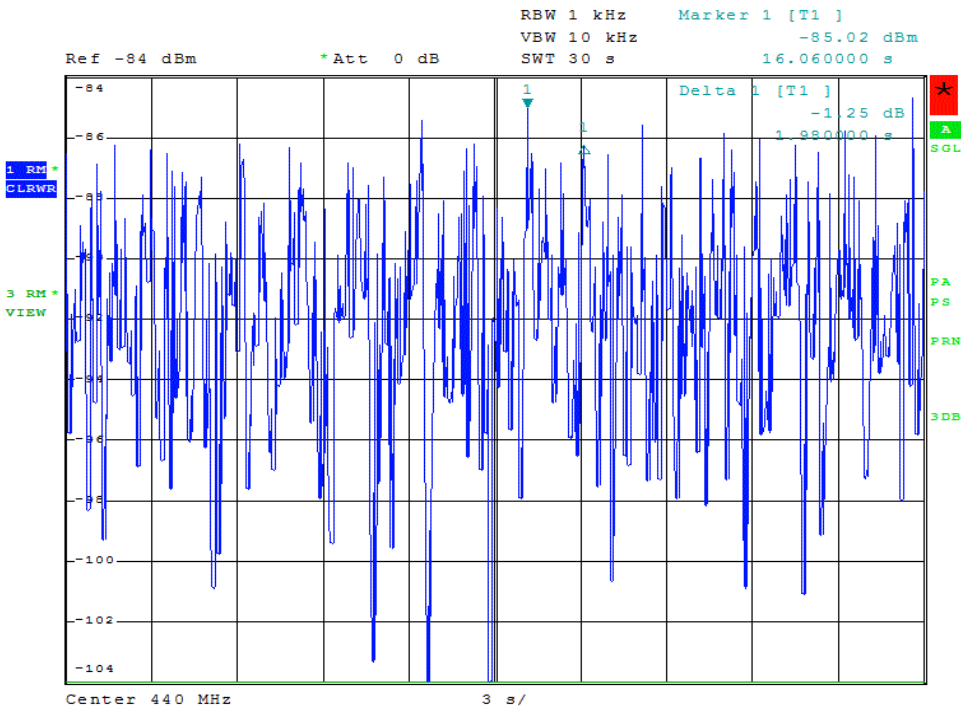
Kõigi alljärgnevate mõõtmistulemuste puhul kujutab sinine kõver vastuvõetud signaali taset ja roheline kõver süsteemi tundlikkust. Teatud juhtudel on vastuvõetud signaal nii palju müra kõrgele, et mürataseta kujutav roheline kõver ei ole enam nähtav.

2 m sagedusala



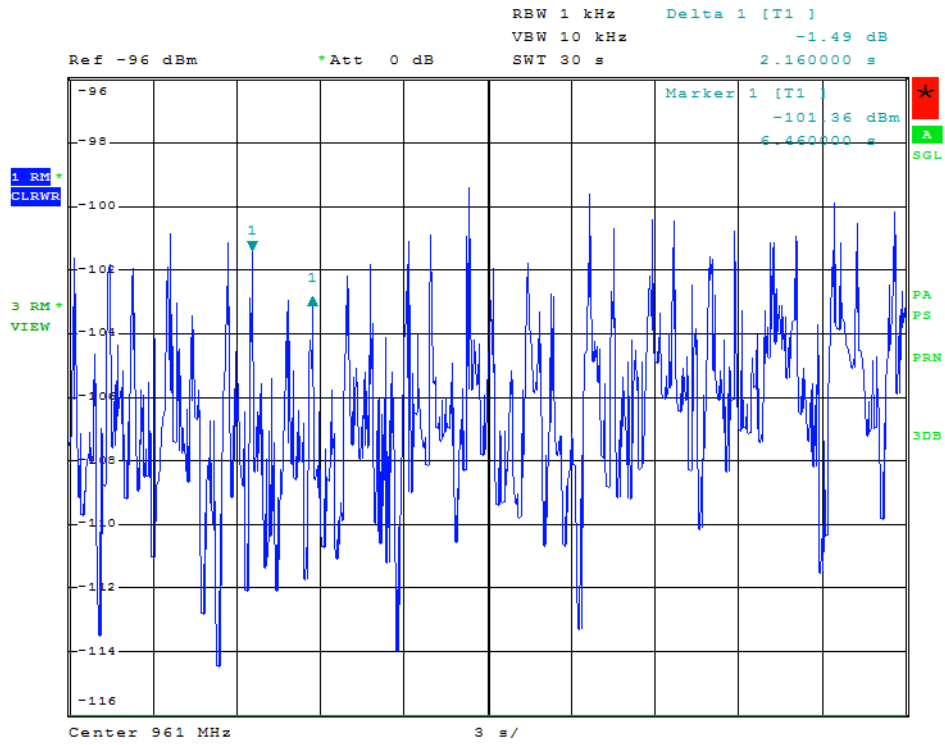
Date: 8.FEB.2015 17:07:29

70 cm sagedusala



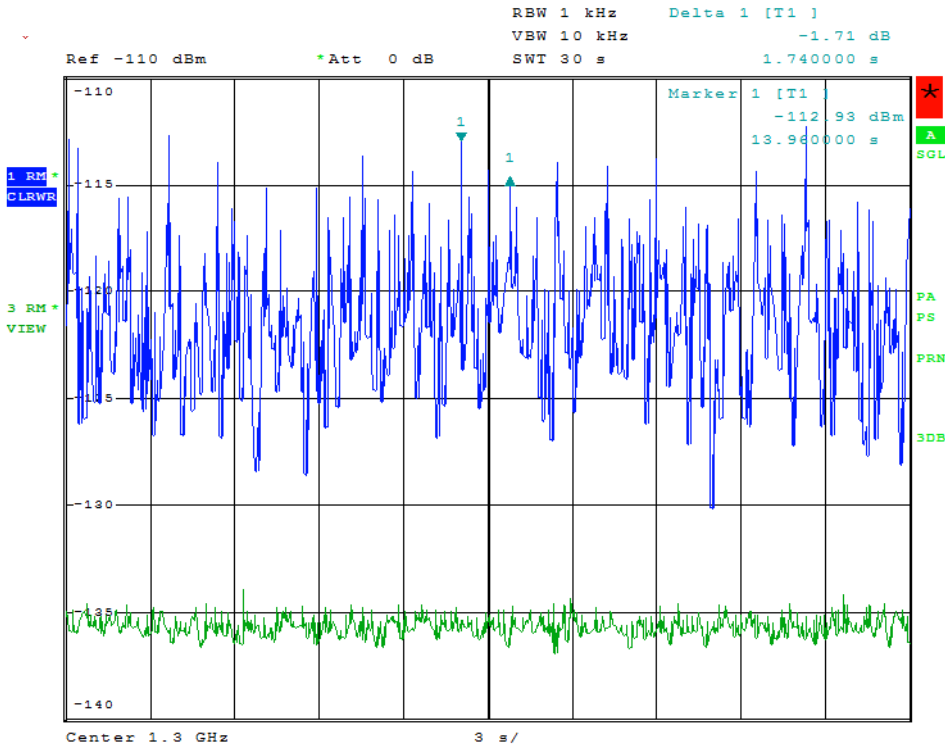
Date: 8.FEB.2015 16:45:42

30 cm sagedusala



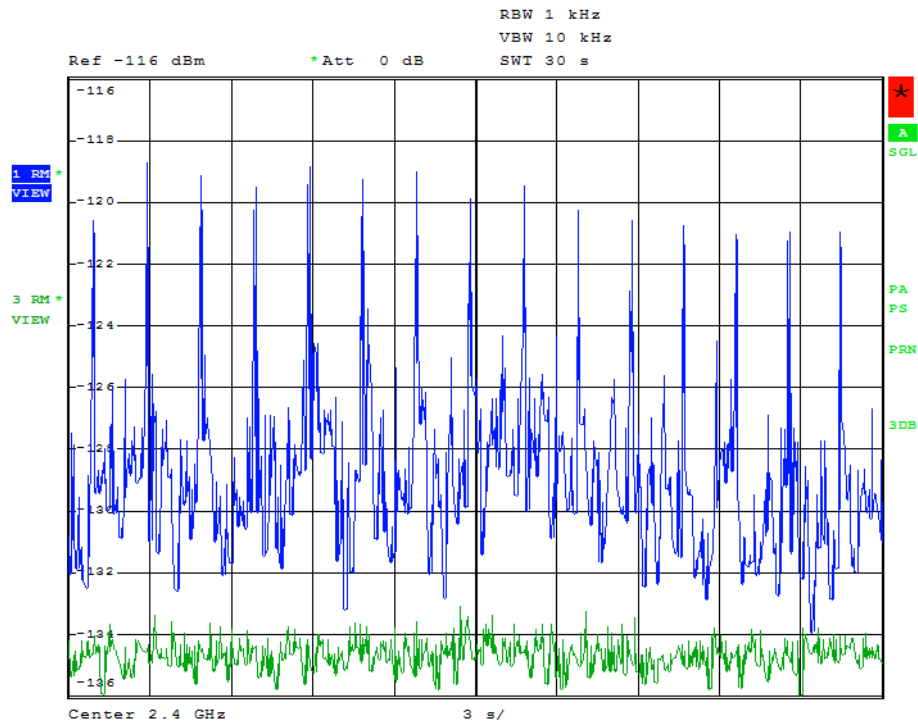
Date: 8.FEB.2015 16:24:49

23 cm sagedusala



Date: 8.FEB.2015 15:57:12

13 cm sagedusala



Date: 8.FEB.2015 15:26:16

On selge, et tasemed mitte ainult ei tõuse ega lange regulaarselt korduvate intervallidega, vaid lisaks toimub kattumine, mis on tingitud erinevatest häirete muutujatest. Tasemete täpne areng paistab sõltuvat suuresti raadiosignaali lainepikkusest.

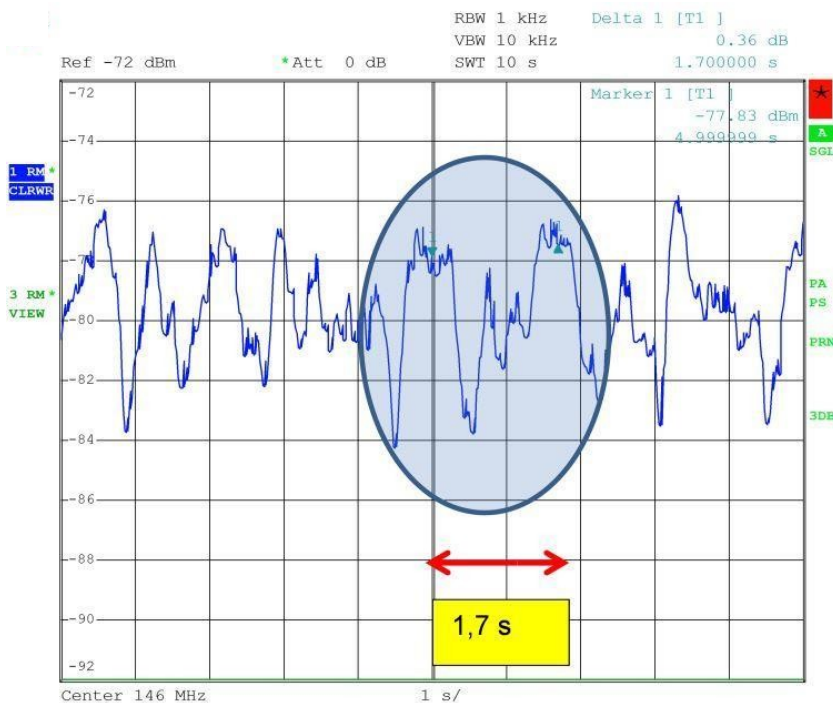
Üksikute tasemetippude vahemaade mõõtmisel saadud ajaerinevused jäävad vahemikku 1,7 kuni 2,16 sekundit, mis vastab rootori pöörlemiskiirusele 5,1 kuni 6,48 sekundit (kolme labaga turbiinide puhul). Need mõõdetud väärtused vastavad mõõdetud väärtuste salvestamise ajal visuaalselt mõõdetud rootori pöörlemiskiirustele 5,1 kuni 6,5 sekundit. See näitab, et 29 tuuleturbiini üksikud rootorilabad põhjustavad neid tasemete tõuse ja langusi. Olenevalt lainepikkusest mitme rootorilaba mõjud kattuvad, põhjustades tasemete peaaegu kaootilisi kõikumisi ja muutes raskeks tasemete kõikumiste määramise kindlatele labadele. Eriti selged ajapunktid on märgitud kolmnurkadega.

Erinevus maksimum- ja miinimumtasemete vahel, mis antud juhul on mõõdetud RMS-detektoriga, on kuni 20 dB.

10.3 Tasemete analüüs

Lühemate salvestusaegade puhul (\leq üks sekund) on veelgi selgem, et üksikud korduvad tipptasemed saab kokku rühmitada ja määrata neile sama põhjuse.

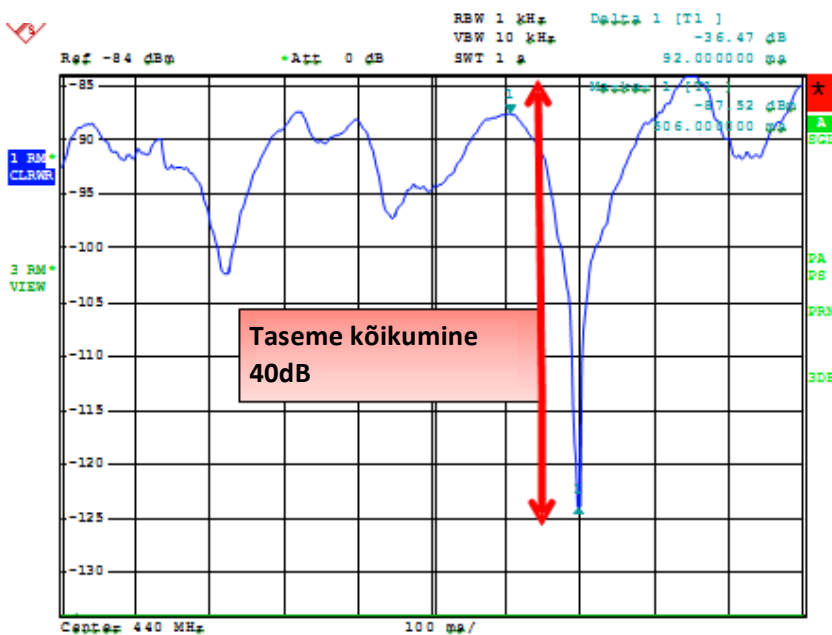
2 m sagedusala



Date: 8.FEB.2015 17:09:54

Kõrgemate mõõtmismäärade juures näitavad tulemused, et tasemete kõikumine on koguni 40 dB. Praktikas võrdub see üksteise tühistamisega.

70 cm sagedusala



Date: 8.FEB.2015 16:49:52

Vastuvõetud taseme ajutine areng tõestab veelgi, et tasemete langusi ei põhjusta raadiosignaali varjamine rootorilabade poolt, mis oleks igal juhul võimatu, kuna raadiotee kulgeb mööda tuulepargi serva. Rootorilabad tekitavad hoopis peegeldusi, mis polarisatsiooni ja kestuse osas pidevalt kattuvad ja muutuvad, tagades mitmeteelise vastuvõtu. Mitme vastuvõtutee vastasfaasis superpositsiooni korral tühistavad teed üksteise peaaegu täielikult. Seega on põhimõtteliselt võimalik, et tasemete puhul esineb siin käsitletust veelgi suuremaid langusi.

Kalibreeritud väljatugevuse mõõtmised ei ole väljatoodud vastuvõtutingimustes enam võimalikud. Digitaalselt moduleeritud signaalide dekodeerimine ei pruugi enam võimalik olla.

Igal juhul esineb analoogselt ja digitaalset moduleeritud signaalide dekodeerimise ajal märkimisväärne tundlikkuse kadu, mida ei saa tehniliste meetmete (nt suurema võimendusega antennidele üleminek) abil täielikult kompenseerida.
