

Tartu Ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Ökoloogia ja Maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias

**Pilv-maa välgulöökide klimatoloogia ja seos  
tsirkulatsioonitüüpidega Eestis 2005–2013**

**Laura Eiber**

Juhendaja: Sven-Erik Enno

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2014

## Sisukord

|   |    |
|---|----|
| Sissejuhatus .....  | 3  |
| 1. Teoreetiline ülevaade.....                               | 4  |
| 1.1 Äikese tekke tingimused ja geograafiline jaotus .....   | 4  |
| 1.2 Välgulöögi olemus.....                                  | 5  |
| 1.3 Varasemad uuringud.....                                 | 6  |
| 1.3.1 Uuringud välismaal .....                              | 6  |
| 1.3.2 Uuringud Eestis .....                                 | 8  |
| 2. Andmed ja metoodika.....                                 | 10 |
| 2.1 NORDLIS välgudetektorite võrgustik ja selle andmed..... | 10 |
| 2.2 Atmosfääri tsirkulatsiooni andmed.....                  | 11 |
| 2.3 Metoodika.....  | 13 |
| 3. Tulemused .....  | 17 |
| 3.1 Äikesepäevade ruumiline jaotus .....                    | 17 |
| 3.2 Välgulöökide ruumiline jaotus .....                     | 18 |
| 3.3 Välgulöökide sesoonne jaotus .....                      | 19 |
| 3.4 Välgulöökide ööpäevane jaotus.....                      | 20 |
| 3.5 Välgulöökide arvukuse ja tsirkulatsiooni seosed.....    | 21 |
| 3.6 Intensiivseimad tormid .....                            | 24 |
| 4. Arutelu .....  | 26 |
| 4.1 Välgulöökide klimatoloogia .....                        | 26 |
| 4.2 Seosed tsirkulatsioonitüüpidega .....                   | 29 |
| Kokkuvõte .....   | 32 |
| Summary.....  | 33 |
| Tänuavaldused .....   | 35 |
| Kasutatud kirjandus .....                                   | 36 |
| Lisad .....   | 40 |

## Sissejuhatus

Äike on ohtlik ilmastikunähtus, mis võib põhjustada nii majanduslikku kui sotsiaalset kahju. Äikese uurimine aitab prognoosida tormide esinemist ja iseloomu. Kesklaiustel, kus äikese teke on tihedalt seotud õhu tsirkulatsiooniga, on välgulöövide ja ilmastikutüüpide vaheliste seoste teadmine äikese prognoosimisel väga kasulik. Oluline on teada, millises ilmaolukorras on äikesetormid intensiivseimad ning võivad põhjustada seega ka enim kahju.

Käesolev uurimistöö annab ülevaate pilv-maa välgulöövide klimatoloogiast ja arvukuse seosest tsirkulatsioonitüüpidega Eestis aastatel 2005–2013. Töö on koostatud Põhja-Euroopa välgudetektorite võrgustiku (*Nordic Lightning Information System – NORDLIS*) andmete põhjal. Need saadi Keskkonnaagentuuri Ilmateenistuse vahendusel Soome Meteoroloogia Instituudist.

Antud töö on esimene välgulöövide arvukuse ja tsirkulatsioonitüüpide seostel põhinev uuring Eestis. Varem uuritud äikesepäevade seos tsirkulatsioonitüüpidega ei selgita välja, milline tüüp toob kaasa kõige intensiivsemad äikesed. Äikesepäevaks loetakse võrdselt nii ühe kui mitme tuhande välgulööbiga kuupäevi. Seetõttu ei saa nende andmete põhjal terviklikku ülevaadet, milline tsirkulatsioonitüüp toob Eestisse enim välgulööke. Lisaks on varem välgulöövide ajalis-ruumilisi andmeid analüüsitud lühikese perioodi jooksul, sest enne 2004. aastat polnud Eesti alal NORDLIS välgudetektorit. Nüüdseks on võimalik uuringuperioodi pikendada ja anda klimatoloogiliselt usaldusväärsem ülevaade.

Eelnevast tulenevalt on töö kõige olulisemaks eesmärgiks uurida, millises tsirkulatsioonitüübis esineb kõige rohkem välgulööke ning millise tüübi tormid on kõige intensiivsemad. Lisaks täpsustatakse olemasolevat infot välgulöövide ajalis-ruumilisest jaotusest Eesti piirkonnas.

Uurimistöö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses antakse üldine ülevaade äikese tekke tingimustest ja geograafilisest jaotusest, välgulöögi olemusest ning tutvustatakse varasemaid teemakohaseid uuringuid nii Eestis kui välismaal. Teine peatükk kirjeldab uurimistöö andmeid ja meetodikat ning kolmandas tuuakse välja peamised tulemused. Neljas peatükk sisaldab tulemuste arutelu.

# 1. Teoreetiline ülevaade

## 1.1 Äikese tekke tingimused ja geograafiline jaotus

Äikese tekkeks on vajalik õhu ebastabiilsus, niiske õhk maapinna lähedal ja õhu tõusmine. Need tegurid põhjustavad atmosfääris konvektsiooni, mis on peamine äikesepilvede tekkimise põhjus (McNulty, 1995). Kogu Maal esineb kõige enam äikest troopilistel aladel ning seejärel keskklaiustel. Äikesenähtused vähenevad kiiresti pooluste suunas, muutudes Arktikas ja Antarktikas väga haruldaseks (Christian jt, 2003).

Troopilistel aladel esineb äikest kogu aasta jooksul, mida soodustavad troopilise konvergentsi vööndi tingimused. Sel alal saavad kokku kirde- ja kagupassaadid ning soe ja niiske õhk on sunnitud kiiresti tõusma, tekitades rünk- ja rünksajupilvi (*Encyclopedia of World Climatology*). 78% kõikidest Maa välgulöökidest esinebki 30° lõunalaiuse ja 30° põhjalaiuse vahel (Christian jt, 2003). Äikesetormide maksimum liigub põhja- ja lõunapoole vastavalt aastaajale (*Encyclopedia of World Climatology*).

Väljaspool troopilisi alasid sõltub äikesetormide aktiivsus aastaajast veelgi enam. Kõige rohkem äikest esineb suvel ja kõige vähem talvel. Keskklaiustel, sealhulgas ka Eestis, on äikese teke tugevalt seotud õhu tsirkulatsiooniga. Esineb aktiivne tsükloonaalne tegevus, vahelduvad erinevate omadustega õhumassid ning atmosfäär on sageli ebastabiilne (*Encyclopedia of World Climatology*). Keskklaiustel esineb seega lisaks õhumassisestele äikestele ka frontaaläikeseid õhumasside piiril. Frontaalne äike kaasneb enamasti külma- või oklusioonifronidiga (Tarand jt, 2013).

Äikesetorme esineb peamiselt maismaa kohal. Maapind soojeneb sama päikesekiirguse intensiivsuse korral kiiremini kui vesi. Kuumenenud maapind soojendab ka pinnalähedast õhku, põhjustades selle kerkimist ning soodsat olukorda äikesepilvede tekkeks (Schneider jt, 2011b). Kogu Maal on välgulöökide suhe maismaa ja mere vahel 10:1 (Christian jt, 2003).

Äikese globaalses jaotumises on oluline osa ka hoovustel. Soojad hoovused kiirgavad mere pinnakihilt sooja ja loovad samuti eeldused konvektsiooni tekkeks, mis põhjustab püsivalt suuremat äikeseaktiivust (Dirks jt, 1988). Keskklaiustel esineb vähem äikest mandrite läänerannikutel, kus esineb külm hoovus (*Encyclopedia of World Climatology*).

## 1.2 Välgulöögi olemus

Välg on võimas elektrilahendus, mis tekib pilveosakeste vastasmärgilistest elektrilaengutest (Põiklik, 1964). Positiivselt laetud jääkristallid ja negatiivselt laetud veepiisad tekitavad äikesepilves elektrivälja. Kui elektriväli ületab õhu elektritakistuse, tekib välgulöök. Välgulöögid kaasnevad peamiselt rünksajupilvedega (*Cumulonimbus*) ning vahel ka kihtsajupilvedega (*Nimbostratus*) (Schneider jt, 2011a).

Välgulöögid võib jagada pilvesisesteks ja pilv-maa tüüpi välkudeks (Poelman, 2010). Äikesepilvega kaasnevad esimesena enamjaolt pilvesisesed välgulöögid, mis algavad ja lõpevad pilves, puudutamata maapinda (Schneider jt, 2011a). Pilvesisesed löögid ei tekita inimestele ohtu, nendega kaasneb vaid valgussähvatus, müristamine ja keemilised reaktsioonid (Veismann ja Veskimäe, 2005).

Pilv-maa välgulöögid esinevad pilve ja maapinna vahel. 90% pilv-maa välkudest kannab maapinnale negatiivset elektrilaengut (Poelman, 2010). Pilv-maa välgu kestus on enamasti 0,2 sekundit ning see koosneb impulssidest (Põiklik, 1964). Impulsi moodustavad maa poole laskuv negatiivne liidervälg, liidervälgu suunas liikuv positiivne striimer ning nende kohtumisel maapinnalt pilve liikuv positiivne vastulöök (Poelman, 2010). Esimene impulss on välgulöögis tugevaim, positiivse vastulöögi voolutugevuse maksimum on selles 30 kA (Poelman, 2010). Kui pärast esimest impulssi on elektrilaengud piisavalt tugevad, laskub uuesti negatiivne liidervälg ja sama protsess kordub taas eelnevalt kuumutatud ja ioniseeritud välgukanalis. Vähesed löögid lõpevad ühe impulsi, välgulahedused korduvad enamjaolt 2-5 korda (Veismann ja Veskimäe, 2005). Pilv-maa välgud moodustavad kõikidest välgulöökidest vaid 20%, kuid põhjustavad maapinnal olulist kahju (Schneider jt, 2011a).

Äikese uurimiseks hakati meteoroloogiajaamades esmalt kirja panema äikesepäevi. Äikesepäevaks loeti ööpäeva, kui kuuldi vähemalt ühte müristamist. Seejärel alustati äikeste algus- ja lõpukellaegade üles märkimist. Esimese müristamise alusel määrati äikese algus ja 15 minuti pärast viimast müristamist registreeriti äikese lõpp. Nendest andmetest saab tuletada äikeste kestused. Need iseloomustavad äikest paremini kui äikesepäevade andmed, sest kestuse alusel on võimalik kaudselt hinnata ka äikese intensiivust. Tänapäeval on äikesekliima uurimiseks kõige täpsemaks ja olulisemaks andmestikuks välgudetektorite poolt registreeritud välgulöökkide andmed. Nende põhjal on võimalik hinnata nii äikesepäevade arvu

(ööpäevas registreeritud vähemalt 1 välgulöök), välgulöökide ajalist ja ruumilist jaotust, tormide intensiivsust kui ka kestust (Rakov ja Uman, 2003).

### **1.3 Varasemad uuringud**

Varem on välgulöökide klimatoloogiat ja nende seost tsirkulatsiooniga uuritud mitmel pool Euroopas ning mujal maailmas. Selleks on kasutatud erinevat tüüpi äikesandmeid ja tsirkulatsiooniklassifikatsioone.

#### **1.3.1 Uuringud välismaal**

Pilv-maa välgulöökide klimatoloogiat on maailmas laialdaselt uuritud, muuhulgas ka Euroopas ja Eesti naaberriikides. Välgulöökide ajalis-ruumilise jaotuse ülevaate kogu maailma kohta on andnud Christian jt (2003). Orville ja Huffines (2001) uurisid välgulöökide klimatoloogiat USAs, Shephard jt (2013) Kanadas, Pinto jt (2003) Brasiilias ning Xie jt (2013) Hiinas. Euroopas on vastavaid uurimistöid avaldatud näiteks Austria (Schulz jt, 2005), Rumeenia (Antonescu ja Burcea, 2010), Itaalia (Bernardi ja Ferrari, 2004), Portugali (Rodrigues jt, 2010), Rootsi (Sonnadara jt, 2006) ning Soome (Tuomi ja Mäkelä, 2008) kohta. Lisaks on uuritud välgulöökide klimatoloogiat Põhja-Euroopas tervikuna, sealhulgas Eestis (Mäkelä jt, 2014)

Välgulöökide arvukuse ja tsirkulatsiooni seost on Eestile kõige lähemal uuritud Soomes, kus Tuomi ja Mäkelä (2003; 2008) jagasid tsirkulatsiooni 7 tüübiks äikese tekkepõhjustest lähtuvalt. Eristati külma, sooja ja oklusioonifronti, statsionaarset fronti, külma ja sooja õhumassi ning ebastabiilsusjoont (*squall line*). Perioodide 1998–2002 ja 1998–2007 kohta ilmnes, et Soome alal oli enim sooja õhumassi siseseid välgulööke. Aktiivseimad tormid ehk enim välgulööke ühe tormi kohta esinesid statsionaarsel frondil, soojas õhumassis ja ebastabiilsusjoonel. Kõige rohkem äikesetorme lähenes läänest, kuid need ei olnud nii intensiivsed kui idast lähenevad tormid, seega saabus enim välgulööke nii frontaalsete kui õhumassisiseste äikesetormide puhul siiski idast. Aktiivseim välgulöökide esinemise kuu kõikide tsirkulatsioonitüüpide puhul oli juuli (Tuomi ja Mäkelä, 2003; 2008).

Kolendowicz (2006) keskendus 1971–2000 aasta äikesepäevade ja tsirkulatsioonitüüpide seosele Poolas. Selles uuringus jaotati Poola ala äikesepäevade esinemise järgi regioonideks ja aasta perioodideks. Sünoptilised situatsioonid jagati seitsmeks tüübiks frontide

liikumissuuna ja õhumasside paiknemise järgi. Kõige suurem äikesepäevade esinemissagedus oli ilmastikutüübis, kus külm või okuldeerunud front koos madalrõhualaga läheneb loodest, läänest või edelast. Samuti olukorras, kus Poola kohal frondid puuduvad ning Kesk-Euroopas ei esine kõrgrõhuala. Suurim tõenäosus äikesepäeva esinemiseks sõltuvalt tsirkulatsioonitüübi esinemissagedusest oli olukorras, kus külm front või frontide süsteem liigub üle Poola loode, lääne või edela suunast ning on ühendatud madalrõhualaga. Samal ajal paikneb keskmega Lääne-Venemaal, Ukrainas või Valgevenes kõrgrõhkkond (Kolendowicz, 2006).

Käesoleva uuringuga sama, Lambi skeemi (Lamb 1972, Truija jt 2003 kaudu) automaatsel verisoonil põhinevat sünoptilist klassifikatsiooni, on kasutanud Tomás jt (2004) Pürenee poolsaare ja Ramos jt (2011) Portugali äikesekliima uurimisel. Pürenee poolsaare uuringus eristati õhuvoolu tugevuse, suuna ja pööriselisuse alusel 26 tsirkulatsioonitüüpi ning arvatati tsirkulatsioonitüüpide esinemisprotsent kõikidest päevadest ja tsirkulatsioonitüübiga kaasnenud pilv-maa välkude protsent kõigist pilv-maa välkudest. Portugali uuringus kasutati samu tsirkulatsioonitüüpe, kuid 26 tüüpi grupeeriti selgemaks ja lihtsamaks andmete esitamiseks 10 põhitüübiks. Lisaks leiti äikesepäevade arv kokku ja äikesepäevade esinemise protsent vastava tsirkulatsioonitüübi esinemise puhul. Pürenee poolsaare uuringus esitati näitajad 1992–1994 ja Portugalis 2003–2009 aastate kohta kokkuvõtvalt ning ka eraldi aastaegade kaupa.

Mõlemas uuringus esines keskmiselt aastas kõige rohkem antitsükloonaalset tüüpi, Pürenee poolsaarel 26,3% ja Portugalis 35% kõikidest vaatlustest. Portugalis domineeris antitsükloonaalne tüüp ka kõikidel aastaegadel, kuid Pürenee poolsaare uuringus esines suvel idatüüpi tunduvalt enam. Pilv-maa välkude protsent oli kõige suurem aasta kokkuvõttes Püreneel tsükloonaalses tüübis ja Portugalis kirdetüübis – vastavalt 15,5% ja 37,6% kõikidest pilv-maa löökidest. Talvel oli enim pilv-maa välgulööke Pürenee poolsaarel idatüübis, kevadel tsükloonaalses tüübis, suvel kagutüübis ja sügisel samuti tsükloonaalses tüübis. Portugalis esines talvel kõige rohkem tsükloonaalse tüübi ning kevadel, suvel ja sügisel kirdetüübi pilv-maa välgulööke. Kõige rohkem äikesepäevi kaasnes Portugalis nii aasta kokkuvõttes kui ka aastaegade kaupa tsükloonaalse tüübiga (Ramos jt, 2011; Tomás jt, 2004).

### *1.3.2 Uuringud Eestis*

Antud uuring on esimene välgulöökide arvukuse ja tsirkulatsiooni seoseid käsitlev uuring Eestis. Varem on uuritud äikesepäevade ja tsirkulatsioonitüüpide seost ning äikesepäevade, äikesetundide ja välgulöökide ajalis-ruumilist jaotust.

Meteoroloogiajaamade andmete põhjal on koostatud uurimistööd Eesti äikesepäevade (Enno, 2007) ja äikesetundide (Alber, 2010) sesoonses ja territoriaalsest jaotusest. Nii äikesepäevi kui äikesetunde esines kõige enam juulis – keskmiselt 3–7 äikesepäeva ja 10,8 äikesetundi. Äikesepäevade ja -tundide arvukus tõusis enamjaolt läänest itta, kuid äikesetundide selge maksimum esines Pandivere kõrgustikul. Aastast aastasse kõikus nii äikesepäevade kui -tundide arv tugevalt. Esines statistiliselt mitteoluline langustrend. Enim äikesetunde oli ööpäevases jaotuses kell 14–18 ning kõige vähem kell 3–10 (Enno, 2007; Alber, 2010).

Välgudetektorite võrgustiku andmetel põhinev välgulöökide ruumilise ja ajalise jaotuse ülevaate on andnud Enno (2009; 2011). 2005–2009 aasta perioodi uuringus esitati välgulöökide arv ruutkilomeetri kohta aastas 10x10 km ruutude kaupa ning analüüsiti kõige aktiivsemaid kuid, keskmist päevast pikselöökide arvu ning välgu esinemise kellaegu nii maal kui merel. Enno varasemas (2009) uurimistöös võrreldi lisaks välgudetektorite andmeid vaatleja poolt registreeritud äikesejuhtumitega. 2011. aasta uuringust (Enno, 2011) selgus, et keskmine pilv-maa välgulöökide sagedus oli Eestis perioodil 2005–2009 0,34 lööki ruutkilomeetri kohta aastas. Kõikidest registreeritud välgulöökidest 99,4% esines maist oktoobrini, äikeseline aktiivsus tipnes juulis ja augustis. Maismaa kohal oli enim välgulööke kella 15 ja 17 vahel ning merel 13 ja 21 vahel (Enno, 2011).

Balti riikide äikesekliima ülevaate on andnud Enno jt (2013) aastatel 1951–2000 meteoroloogiajaamades kogutud äikesepäevade andmestiku põhjal. Keskmine aastane äikesepäevade arv suurenes põhjast lõuna suunas – Eestis 12–22, Lätis 14–24 ja Leedus 17–29,5 äikesepäeva aastas. Kõige vähem äikesepäevi esines avamere rannikul ning kõige rohkem sisemaal, eriti kõrgustike piirkonnas. Rannikualadel esines enim äikesepäevi augustis ja sisemaal juulis. Suurim arv äikesetorme oli sisemaa kohal kohaliku aja järgi kella 14 ja 16 vahel ning kõige vähem 4 ja 10 vahel. Keskmine äikesetorm kestis 112 minutit. Rannikualadel kestsid äikesetormid harilikult kauem kui sisemaal (Enno jt, 2013).

Kõige uuem Eesti ala hõlmav uuring (Enno jt, 2014) analüüsib pikaajalisi muutusi äikese esinemissageduses ning äikesepäevade seoseid tsirkulatsioonitüüpidega aastatel 1950–2004.

Uuringus kasutati 40 meteoroloogiajaama äikeseandmeid ja Lambi (1972, Truija jt 2003 kaudu) skeemil põhineval Jenkinsoni ja Collinsoni (1977, Truija jt 2003 kaudu) atmosfääri tsirkulatsiooni sünoptilist klassifikatsiooni. Uurimisperiodile oli iseloomulik äikese esinemissageduse langus Baltimaades. Äikesepäevade arv vähenes keskmiselt 0,9 päeva võrra kümne aasta kohta. Kõige äikeselisem periood oli 1953–1963 (20–30 äikesepäeva aastas) ning madalaima aktiivsega periood 1990–1994 (15 äikesepäeva aastas). Kõige sagedamini kaasnes äike ida-, kagu-, lõuna-, edela- ja tsüklonaalse tsirkulatsioonitüübiga ning kõige vähem esines äikest loode-, põhja- ja antitsüklonaalse tsirkulatsioonitüübiga. Äikesepäevade sageduse muutus oli üldiselt vastavuses tsirkulatsioonitüüpide sageduse muutustega. Toimunud oli pikaajaline äikesepäevade arvukuse langus, sest äikese tekkeks ebasoodsate tsirkulatsioonitüüpide esinemissagedus oli soojal poolaastal suurenenud (Enno jt, 2014).

Enno (2011) uuring välgulöökide ruumilisest ja ajalisest jaotusest 2005–2009 aastatel esindab lühikest perioodi madala äikeselise aktiivsusega. Nüüdseks on võimalik uuringuperioodi pikendada ja täpsustada olemaolevat välgulöökide statistikat. Pikaajaline uuring äikese ja tsirkulatsiooni seostel perioodil 1950–2004 (Enno jt, 2014) põhineb äikesepäevade andmestikul, mis pole nii täpne kui välgulöökide andmestik. Seega täpsustab käesolev uuring lisaks äikese esinemise ja tsirkulatsiooni seoste ka seoseid äikese tugevuse ja tsirkulatsioonitüüpide vahel.

## 2. Andmed ja metoodika

### 2.1 NORDLIS välgudetektorite võrgustik ja selle andmed

NORDLIS on Põhja-Euroopa välgudetektorite võrgustik, mis hõlmab kokku 37 detektorit (joonis 1). Neist 14 asub Norras, üheksa Rootsis, kaheksa Soomes, kolm Leedus, üks Taanis, üks Suurbritannias (Shetlandi saartel) ja üks Eestis (Haapalainen, isiklik informatsioon, 26.03.2014). Soomes asub NORDLIS keskjaam, mis võtab vastu ja töötleb kõikide detektorite andmeid. Eestisse paigaldati detektor 2004. aasta lõpus, seetõttu on kõige täpsemad välgulöökide andmed Eesti piirkonna kohta kättesaadavad alates 2005. aastast (Enno, 2011). Uusim riik võrgustikus on Leedu, mille kolm detektorit liideti NORDLIS võrgustikuga 2014. märtsis (Haapalainen, isiklik informatsioon, 26.03.2014).



**Joonis 1.** NORDLIS võrgustiku välgudetektorite paiknemine 2014. aasta märtsis. Tumerohelisega on märgitud NORDLIS võrgustiku ametlikud liikmesriigid.

Süsteemis kasutatakse peamiselt IMPACT-tüüpi detektoreid, mis registreerivad eelkõige pilv-maa tüüpi välke (Enno, 2011). Seda tüüpi välkude tuvastamiseks püütakse nende poolt tekitatud madalsagedusliku elektromagnetilise kiirguse impulsse (Tuomi ja Mäkelä, 2008).

Löökide asukoht määratakse tringulatsiooni meetodil erinevate detektorite suuna- ja kaugushinnangute abil (Poelman, 2010).

Soome Meteoroloogia Instituudi (FMI) väitel registreerivad NORDLIS detektorid enamikes kohtades 90% kõikidest pilv-maa välgulöökidest ning keskmine välgulöögi asukohatäpsus on 0,5–1 km. Kõige täpsemad andmed on Kesk-Rootsi ja Lääne-Soome aladel, sest need asuvad NORDLIS võrgustiku keskosas (FMI, 2014).

Käesolevas uurimistöös on kasutatud NORDLIS välgudetektorite 2005–2013 aasta andmeid, mis saadi Keskkonnaagentuuri Ilmateenistuse vahendusel Soome Meteoroloogia Instituudist. Kasutatud andmed olid juba varem Tartu Ülikooli teadlaste poolt eeltöödeltud ning need olid kättesaadavad *MS Accessi* ja *MS Exceli* failidena.

Äikesepäevade arvud, välgulöökide sagedused, impulsside arvud ning negatiivsete pilv-maa välgude keskmised ja minimaalsed registreeritud voolutugevused olid *MS Accessis* esitatud punktide jaoks, mis katsid uurimisala korrapärase ruudustikuna 1-kilomeetriste vahedega. Äikesepäevaks loeti kuupäeva kui punktist 11,3 km raadiuses (pindala 400 km<sup>2</sup>) registreeriti vähemalt üks välgulöök. Sellise raadiuse puhul on täheldatud suur korrelatsioon meteoroloogiajaamades vaatlejate poolt registreeritud äikesepäevade arvuga (Mäkelä jt, 2014). Välgulöökide sageduse hindamisel kasutati punktidest 5,64 km raadiuses (pindala 100 km<sup>2</sup>) löönud välgude andmeid. Uurimisperioodi jooksul punktidest 5,64 km raadiuses registreeritud välgulöökide koguarv jagati pindala ja aastate arvuga ning saadi välgulöökide tihedus ruutkilomeetri kohta aastas. Vastavat punktide võrgustikul ja raadiustel põhinevat meetodit nimetatakse Kerneli tiheduse määramise meetodiks (*Kernel Density Estimation – KDE*) (Silverman, 1986).

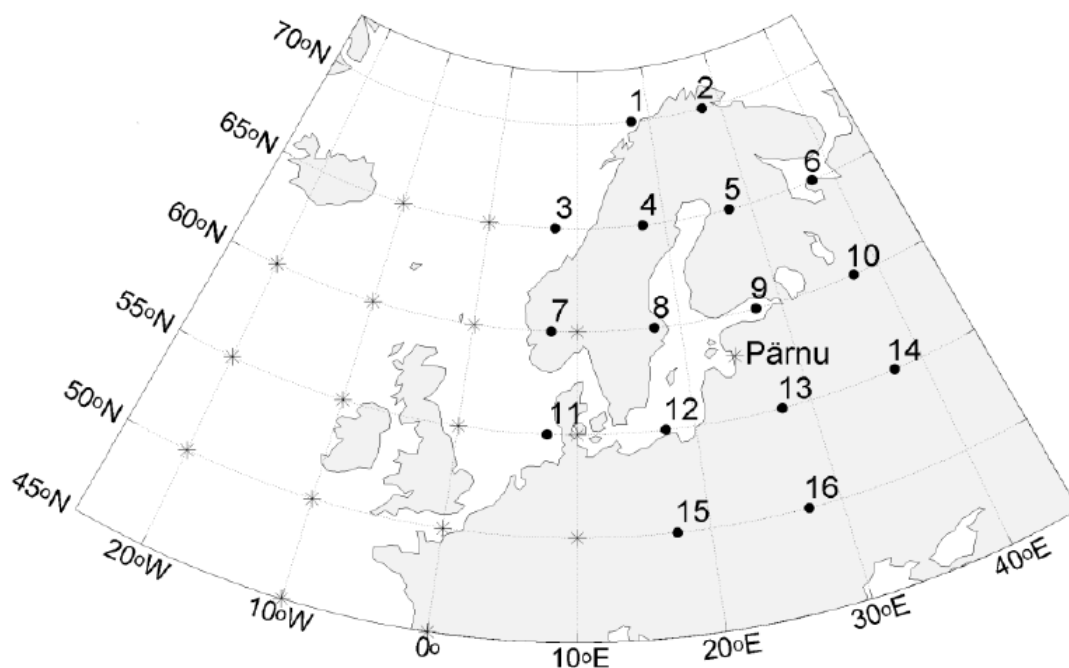
Ajalised välgulöökide andmed olid *MS Excelis* esitatud kellaegade, kuude ning päevade kaupa nii maismaa kui mere jaoks. Lisaks oli kellaajaline jaotus saadaval ka eraldi aastaegade kohta.

## **2.2 Atmosfääri tsirkulatsiooni andmed**

Uurimistöös kasutati Lambi (1972, Truija jt 2003 kaudu) skeemil põhinevat ning Jenkinsoni ja Collinsoni (1977, Truija jt 2003 kaudu) poolt väljatöötatud atmosfääri tsirkulatsiooni sünoptilist klassifikatsiooni. Sellel klassifikatsioonil põhinevad varem mainitud Pürenee

poolsaare (Tomás jt, 2004) ja Portugali (Ramos jt, 2011) äikeseuuringud. Läänemere piirkonnas on seda varem rakendanud Post jt (2002), Truija ja Post (2003), Truija jt (2003) ja Enno jt (2014). Esimesena kasutati klassifikatsiooni Eestis sünoptiliste seoste leidmiseks sademete ja temperatuuriga (Truija jt, 2003), kuid sama jaotus sobib ka äikese ja tsirkulatsiooni seoste uurimiseks (Enno jt, 2014).

Tsirkulatsioonitüübid on käesolevas klassifikatsioonis määratud õhumasside liikumise ning suhtelise pöörise suuna ja tugevusega, mille näitajad on arvutatud õhurõhu andmete põhjal 16s geograafilises punktis (joonis 2). Lääne-idasuunaline rõhugradient annab meridionaalse ehk lõunavoolu indeksi ja nihkepöörise. Põhja-lõunasuunalisest rõhugradiendist arvutatakse tsonaalne ehk läänevoolu indeks ja tsonaalne nihkepööris. Eelnevalt leitud parameetritest saadakse resultantvool, resultantpööris ja resultantvoolu suund. Saadud väärtuste põhjal määratakse esinenud tsirkulatsioonitüüp (Truija jt, 2003). Äikese ja tsirkulatsioonitüüpide seoste leidmisel rakendati skeemi merepinna rõhuvälja tasemel.



**Joonis 2.** 16 geograafilist punkti Läänemere piirkonna tsirkulatsiooniklassifikatsiooni arvutamiseks. Tärnidega on märgitud algselt rakendatud klassifikatsiooni asukoht Briti saarte piirkonnas (Post jt, 2002).

Klassifikatsioonis eristatakse kokku 27 tsirkulatsioonitüüpi (Truija jt, 2003):

- 8 suunatüüpi (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) sõltuvalt õhumassi liikumissuunast
- 2 pööriselist tüüpi (C, A) sõltuvalt õhumassi pöörlemisest tsüklaonaaalselt või antitsüklaonaaalselt
- 16 hübriidtüüpi (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW, ANW) sõltuvalt õhumassi pöörlemisest ja liikumise suunast
- 1 määramatu tüüp (U), kui õhumasside liikumiskiirus ja pööriseline aktiivsus on nõrgad (antud uuringus määramatut tüüpi ei esine)

Sarnaselt NORDLIS andmetega olid ka tsirkulatsioonitüüpide andmed varem Tartu Ülikooli teadlaste poolt eeltöödeldud. Uurimistöö jaoks vajalikud tabelid olid kättesaadavad *MS Exceli* formaadis, kus esitati 2005–2013 aasta kõikidele vaatluskordadele vastav tsonaalse ehk läänevoolu, meridionaalse ehk lõunavoolu, resultantvoolu, tsonaalse nihkepöörise, meridionaalse nihkepöörise ja resultantpöörise indeksid. Nende näitajate abil oli valmis arvutatud ka tsirkulatsioonitüüp ja lisatud vastav välgulöökkide arv.

Tsirkulatsioonitüübid olid välja toodud neli korda ööpäevas (kell 00, 06, 12 ja 18 UTC). Vastavad välgulöökkide arvud katsid kuuetunnise ajavahemiku algusega kolm tundi enne ja lõpuga kolm tundi pärast tsirkulatsiooniarvutuse kellaaega.

### 2.3 Metoodika

Äikesepäevade, välgulöökkide tiheduse, impulsside arvu ning negatiivsete pilv-maa välkude keskmiste ja minimaalsete registreeritud voolutugevuste ruumilise jaotuse kujutamiseks kasutati tarkvara *ArcGIS*. Aluskaardiks määrati Eesti 2007. aasta halduskaart L-EST97 projektsioonis. Uurimisala lõunapiiriks sai  $X = 6\,381\,000$  m, põhjapiiriks  $X = 6\,631\,000$  m, läänepiiriks  $Y = 335\,000$  m ja idapiiriks  $Y = 745\,000$  m. Kokku oli uuritava ala pindala seega  $102\,500$  km<sup>2</sup>.

Ruumiliste andmete töötlemiseks kasutati interpoleerimise meetodit IDW (*Inverse Distance Weighted*), mis esitab põhipunktide väärtused võttes arvesse keskmistatud naaberpunktide väärtusi sõltuvalt nende kaugusest põhipunktist.

Ajalisi andmeid töödeldi *MS Excelis*, kus koostati vajalikud graafikud. Välgulöökide arvukuse ja tsirkulatsiooni seoste leidmiseks kasutati samuti *MS Excelit*. Kuna olemasolevatest andmefailidest oli vaja vaid vaatluskordade aegu, vaatluskordadel esinenud tsirkulatsioonitüüpi ja vaatlusega kaasnenud välgulöökide arvu, siis tekitati eraldi fail vaid nende andmetega.

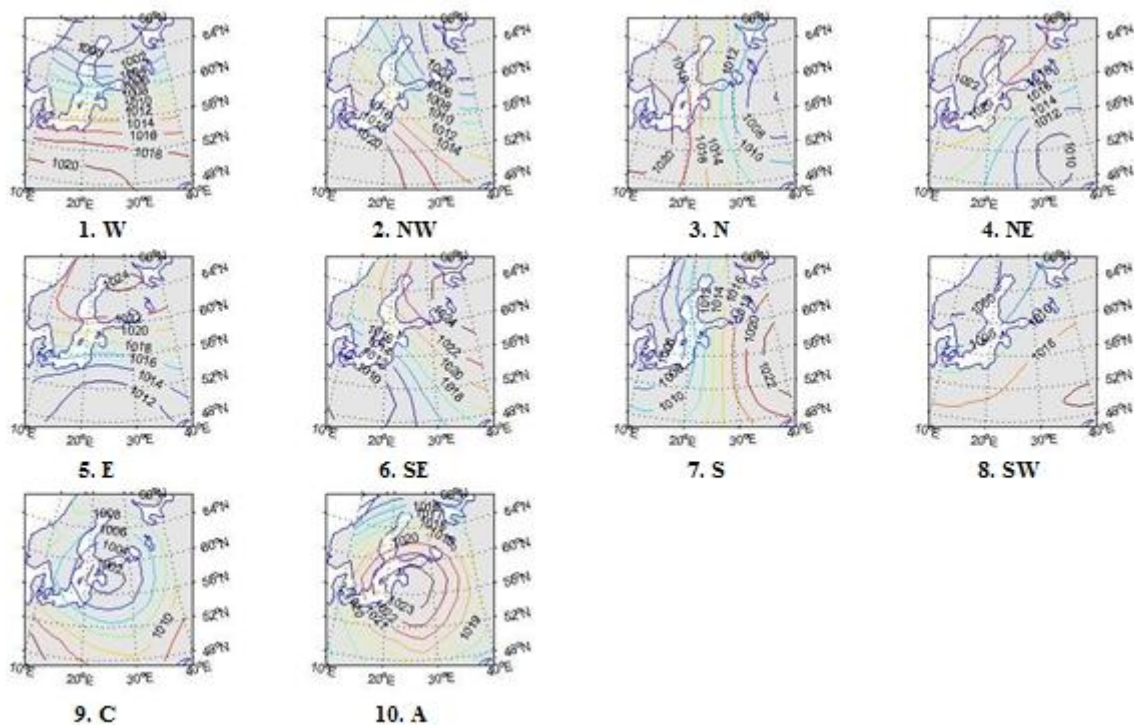
Edasi leiti vaatluskordade arv erinevate tsirkulatsioonitüüpidega igas kuus. Saadud tabelit kasutati tsirkulatsioonitüüpide protsentuaalse esinemissageduse leidmiseks aastaegade kaupa. Järgmisena koostati tabel vaatluskordade arvudega, kus oli registreeritud vähemalt 1 välgulöök. Ka need andmed leiti iga kuu ja tsirkulatsioonitüübi kohta eraldi. See andis võimaluse äikese protsentuaalse esinemissageduse leidmiseks tsirkulatsioonitüüpide ja aastaegade kaupa. Kolmandaks koostati tabel välgulöökide summadega kuude tsirkulatsioonitüüpide kaupa. Selle põhjal leiti välgulöökide arvu protsentuaalne jaotus tsirkulatsioonitüüpide vahel igal aastaajal. Äikeste intensiivsused tsirkulatsioonitüüpide kaupa arvutati vastava tüübiga registreeritud välgulöökide kogusumma ja tsirkulatsioonitüübi esinemiskordade arvu suhtena. Tulemused koondati ühte tabelisse, kus kevad on periood märtsist maini, suvi juunist augustini ning sügis septembrist novembrini.

Lihtsuse ja ülevaatlikkuse huvides kasutati sarnaselt Ramos jt (2003) uuringuga 10 tsirkulatsiooni põhិតüüpi. Hübriidtüüpidega (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW, ANW) kaasnenud välgud jagati saadud tabelites suunatüüpide ja pööriseliste tüüpide vahel võrdselt (näiteks CSE tüübist pooled välgulöögid arvati C tsirkulatsioonitüübi ja pooled SE tsirkulatsioonitüübi hulka).

Tulemuseks saadi ülevaatlik tabel, kus 10 tsirkulatsioonitüüpi (joonis 3) väljendavad olukorda, kus:

- W-läänetyüp (nr 1) – madalrõhkkond on Eestist põhjas, Põhja-Skandinaavia kohal. Kõrgrõhukese asub Eestist lõunas, Kesk-Euroopa kohal.
- NW-loodetyüp (nr 2) – madalrõhukese asub Eestist kirdes, Valgemere ja Loode-Venemaa kohal. Kõrgrõhkkond jääb Eestist edelasse, Kesk- ja Lääne-Euroopa kohale.
- N-põhjatüüp (nr 3) – madalrõhkkond paikneb Baltimaadest idas, Venemaa lääneosas. Kõrgrõhkkond on Eestist läänes, Skandinaavias ja Lääne-Euroopas.
- NE-kirdetyüp (nr 4) – madalrõhkkond asub Eestist kagus, Ida-Ukraina aladel ning kõrgrõhkkond paikneb loodes, Skandinaavia kohal.

- E-idadtüüp (nr 5) – nõrk madalrõhkkond jääb Eestist lõunasse. Kõrgrõhkkond asub Eestist põhjas, Soome ja Põhja-Skandinaavia aladel.
- SE-kagutüüp (nr 6) – madalrõhkkond asub Kesk- ja Lääne-Euroopas, Saksamaa ja Madalmaade aladel ning kõrgrõhkkond paikneb Loode-Venemaal, Valge mere lähedal.
- S-lõunatüüp (nr 7) – madalrõhkkond on Eestist läänes, Lääne-Euroopa ja Põhjamere kohal. Kõrgrõhkkond asub Eestist idas, Kesk- või Lõuna-Venemaa kohal.
- SW-edelatüüp (nr 8) – madalrõhkkond paikneb Eestist loodes, Norra ja Rootsi kohal. Kõrgrõhkkond jääb kagusse, Lõuna-Venemaa ja Mustamere piirkonda.
- C-tsükklonaalne tüüp (nr 9) – madalrõhkkond asub Eesti kohal.
- A-antitsükklonaalne tüüp (nr 10) – kõrgrõhkkond on Eesti kohal.



**Joonis 3.** Kasutatud tsirkulatsioonitüüpidele vastavad keskmised rõhuväljad Põhja-Euroopas 2005–2013.

Suurimate tormide analüüsimiseks arutati kõigi üle 1000 välgulöögiga vaatluste tsirkulatsioonitüüpide vaheline jaotus. Samaselt välgulöögide arvukuse ja tsirkulatsiooni seoste

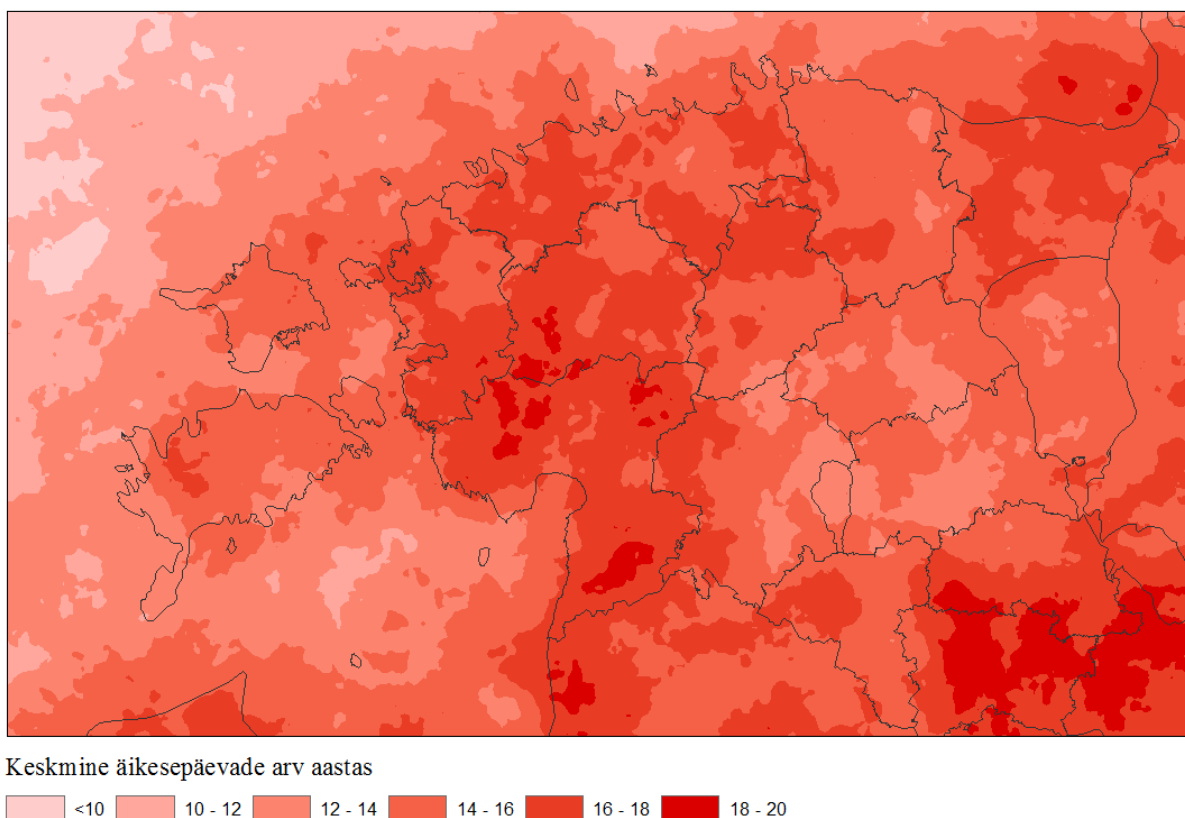
esitamisega jagati hübriidtüüpidega vaatluste arvud vastavate suunatüüpide ja pöördeliste tüüpide vahel võrdselt.

Viie kõige intensiivsema tormi kohta koostati kaardid, mille valmistamiseks kasutati Tartu Ülikooli Geograafia osakonnas loodud spetsiaalset programmi. See koostab kuupäeva sisestamisel automaatselt kõikide Eesti piirkonnas esinenud pilv-maa välgulöökide ajalis-ruumilise jaotuse kaardi.

### 3. Tulemused

#### 3.1 Äikesepäevade ruumiline jaotus

Perioodil 2005–2013 oli Eesti keskmine äikesepäevade arv ligikaudu 15 päeva aastas. Äikesepäevade kaardil (joonis 4) eristub selgelt Kagu-Eesti, kus esines 18–20 äikesepäeva aastas. Samuti oli palju äikesepäevi Edela- ja Lääne-Eestis. Seal on märgatavad väiksemad piirkonnad suure äikesepäevade arvuga Kilingi-Nõmme, Pärnu-Jaagupi ja Vändra piirkonnas. Keskmisest rohkem, 16–18 äikesepäeva aastas, esines Pärnu- ja Raplamaal ning osaliselt ka Harjumaal, Järvamaal, Läänemaal ja Ida-Virumaal. Kõige vähem äikesepäevi oli mere kohal. Uurimisala loodeservas esines piirkond, kus äikesepäevade arv aastas oli alla kümne (registreeritud äikesepäevade miinimum 7,7 päeva aastas). Keskmisest madalama äikesepäevade arvuga piirkondi on märgata veel Võrtsjärve ümbruses ning Tartumaa ja Jõgevamaa keskosas.

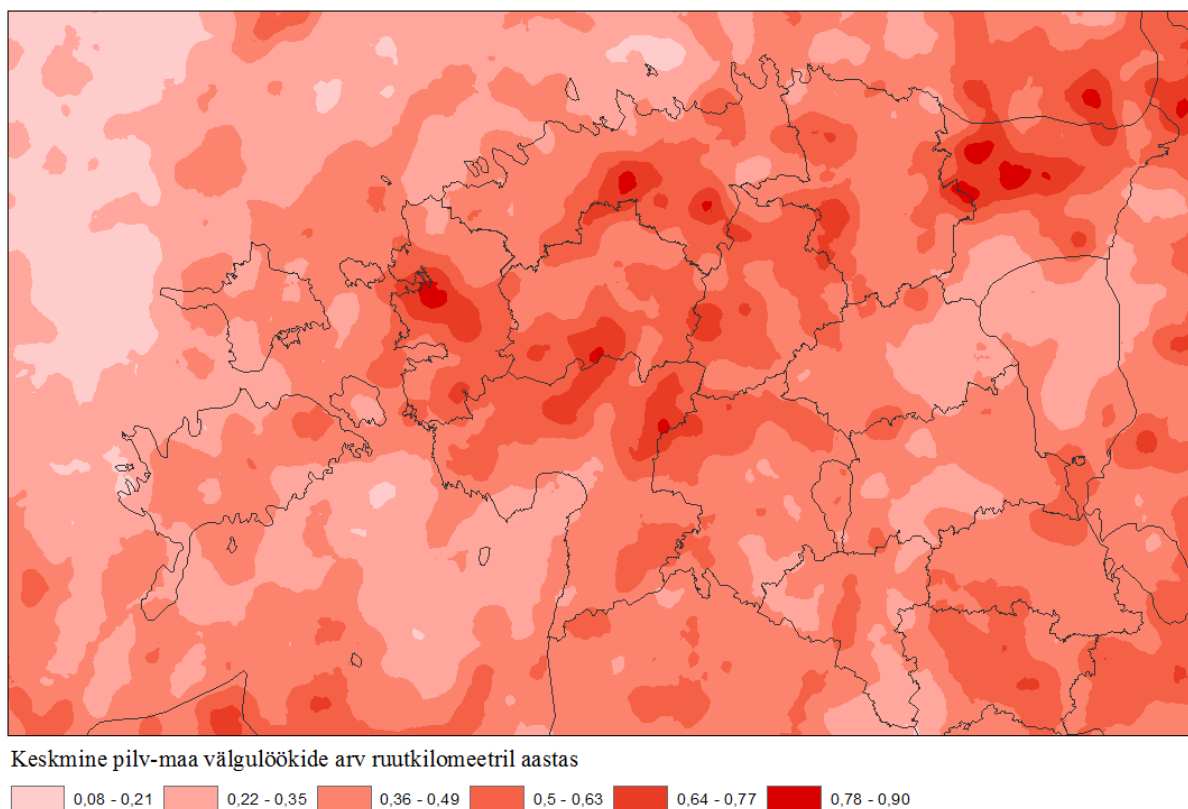


**Joonis 4.** Keskmine äikesepäevade aastane arv Eesti piirkonnas 2005–2013.

### 3.2 Välgulöökide ruumiline jaotus

Vaadeldud perioodil registreeriti 102 500 km<sup>2</sup> suurusel alal kokku 382 531 pilv-maa välku, mis teeb keskmiseks 0,41 välgulööki ruutkilomeetri kohta aastas. Ruumiliselt varieerus keskmine välgulöökide arv 9 aasta kokkuvõttes 0,09-st 0,88 välgulöögini km<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>.

Välgulöökide keskmisest suurem (üle 0,5 välgu km<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>) hulk oli edela-kirde suunalises võõndis, mis ulatus üle Eesti. Suurimad välgurohked alad (0,78–0,88 välgulööki km<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>) esinesid Ida-Virumaa lääneosas. Lisaks olid sama välgulöökide tihedusega väiksemad alad Haapsalu kandis Läänemaal, Saku ja Kose lähedal Harjumaal, Järvakandi piirkonnas Raplemaal ning Pärnumaa kaguosas. Madalaim välgulöökide tihedus domineeris uurimisala loodeservas mere kohal. Keskmisest vähem registreeriti välgulööke ka Jõgevamaa idaosas ja Peipsi järvel ning Tartumaal (joonis 5).

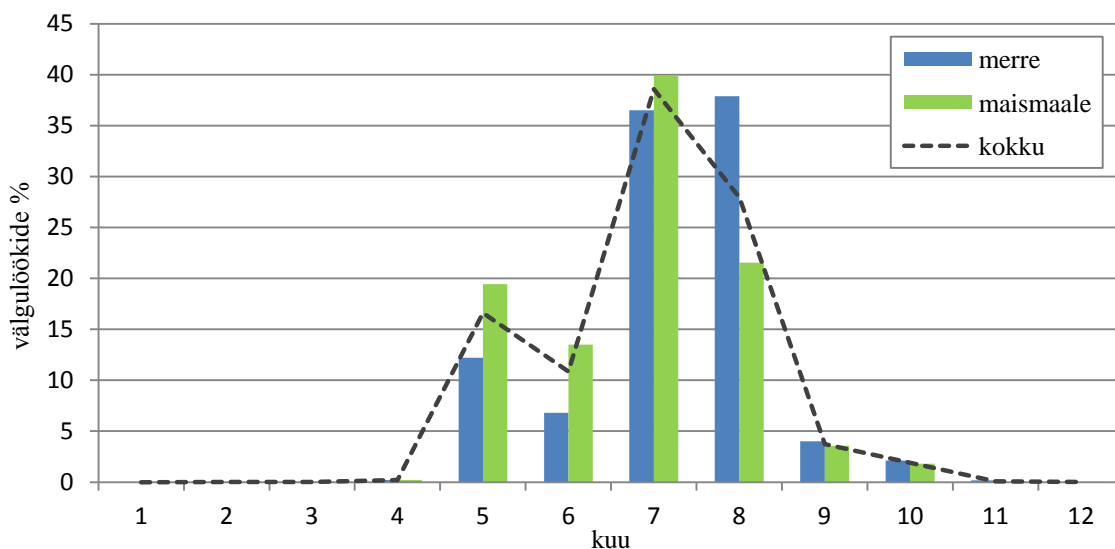


**Joonis 5.** Keskmine pilv-maa välgulöökide aastane tihedus Eesti piirkonnas 2005–2013.

### 3.3 Välgulöökide sesoonne jaotus

Välgulöökide arvukus varieerus Eestis aasta lõikes tugevalt. Perioodil 2005–2013 esines märtsist novembrini 99,98% välgulöökidest. Eristus äikesehooaeg, mis algas välgulöökide arvukuse hüppelise tõusuga mai algul ning lõppes välgude arvukuse langusega oktoobris (joonis 6 ja joonis 7).

Kõige rohkem, 147 541 välgulööki, registreeriti juulis. See moodustas 38,6% kõikidest perioodi 2005–2013 pilv-maa välgulöökidest. Juulit iseloomustas välgude sageduse maksimum maismaal. Mere kohal esines enim lööke augustis, mis andis kokku 37,9% kõikidest pilv-maa välgulöökidest merel (joonis 6). Juunis registreeriti 10,9% kõikidest välgulöökidest. See oli suvekuudest kõige madalam näitaja, jäädes 5,7%-ga alla ka maile. Septembris registreeritud välgulöökide protsent oli 3,7 ning oktoobris vaid 1,3 (joonis 6). Ka välgulöökide protsentuaalne jaotus 15 päevase libiseva keskmisena näitas selget maksimumi juulis ja augustis, mis tipnes juuli lõpus ning augusti alguses. Lisaks eristus ka varasem maksimum mai lõpus. Sügisel pärast välgude arvukuse järsku langust esines suhteliselt pikk madala aktiivsusega periood septembri keskpaigast oktoobri keskpaigani (joonis 7).



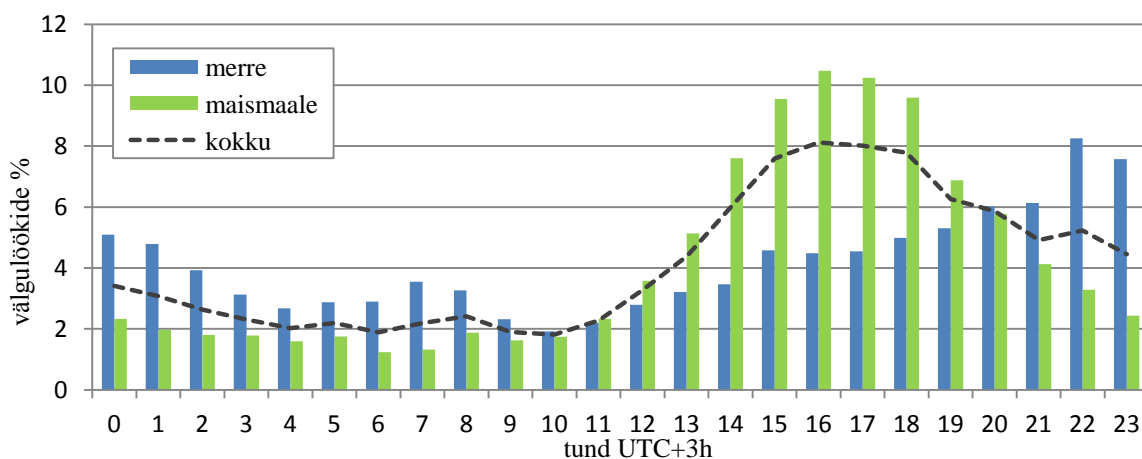
**Joonis 6.** Välgulöökide jaotus kuude kaupa Eesti piirkonnas 2005–2013.



**Joonis 7.** Välgulöökide jaotuse 15-päevane libisev keskmine märtsist novembrini Eesti piirkonnas 2005–2013.

### 3.4 Välgulöökide ööpäevane jaotus

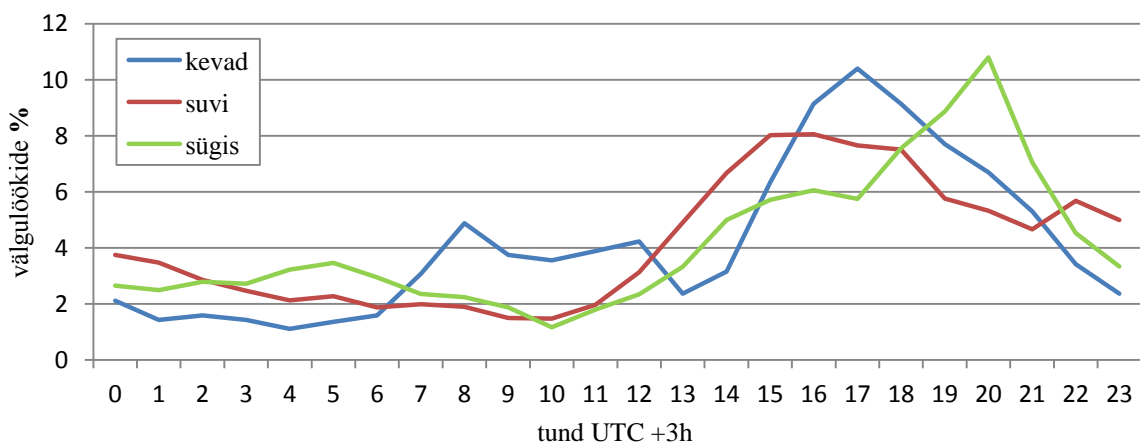
Ööpäevases jaotuses esines kõige rohkem välgulööke kella 15-18 vahel kohaliku suveaja (UTC+3 tundi) järgi, kokku 31,5% perioodil 2005-2013 registreeritud välkudest. Äikese aktiivsus hakkas tõusma pärast keskpäeva ning langema pärast kella 18 õhtul. Kõige vähem välgulööke esines kella 4–11 vahel hommikul (joonis 8).



**Joonis 8.** Välgulöökide ööpäevane jaotus maismaal ja merel Eesti piirkonnas 2005–2013.

Mere ja maismaa kohal oli registreeritud välgulöökide ööpäevane jaotus üsna erinev. Maismaa kohal esines enim välgulööke kella 15–18 vahel, moodustades ligi 40% kõikidest maismaa välgulöökidest ööpäevas. Välgulöökide arvukus hakkas langema pärast kella 19 ning saavutas miinimumi kell 6. Merel oli välgulöökide jaotus ühtlasem, maksimum esines kell 22–23 ning miinimum kell 10. 10-st 22-ni löökide arvukus tõusis ning hakkas seejärel aeglaselt langema. Seega oli mere kohal äikese aktiivsus suurem just öösel (joonis 8).

Välgulöökide ööpäevane jaotus erines ka aastaajati. Sügisel nihkus välgulöökide maksimum hilisemale ajale, esinedes kell 20. Suvel oli maksimum kella 15–16 ja kevadel kella 17 paiku. Kevadel esines äikest kõige vähem kell 4, kuid suvel ja sügisel oli miinimum kell 10 hommikul (joonis 9).



**Joonis 9.** Välgulöökide ööpäevane jaotus kevadel, suvel ja sügisel Eesti piirkonnas 2005–2013.

### 3.5 Välgulöökide arvukuse ja tsirkulatsiooni seosed

Välgulöökide ja tsirkulatsioonitüüpide seoseid on käsitletud märtsist novembrini (tabel 1), sest talvisel ajal oli Eestis äikesenähtusi väga harva.

Märtsist novembrini esines kõige enam antitsükloonaalset tsirkulatsioonitüüpi. Teistest rohkem oli ka tsükloonaalset, lääne- ja edelatüüpi. Kõige vähem esines ida- ja kirdetüüpi. Äike kaasnes keskmiselt 21,6 protsentiga kõikidest vaatlustest. Vastav protsent oli suvel 43,1, sügisel 11,8% ja kevadel 9,7%. Äikese esinemistõenäosus oli kolme aastaaja kokkuvõttes suurim

tsükloonaalse tüübiga, järgnesid kagu- ja läänetüüp. Kõige madalam oli äikese esinemisprotsent antitsükloonaalse tüübiga. Pilv-maa välkude arvukus oli suurim tsükloonaalses tüübis. Teistest enam esines välgulööke ka kagu- ja edelatüübis. Läänetüübiga kaasnes äike küll sageli, aga vaid 8,7% kõigist pilv-maa välkudest oli seotud läänetüübiga. Kõige vähem välgulööke oli seotud põhja-, kirde- ja idatüübiga. Äikese intensiivsus oli kolme aastaaja kokkuvõttes kõrgeim kagutüübis ning madalaim antitsükloonaalses tüübis.

Kevadel esines enim antitsükloonaalset ja tsükloonaalset tsirkulatsioonitüüpi ning kõige vähem idatüüpi. Äikese esinemistõenäosus oli suurim kagutüübiga – 23,6%. Samuti registreeriti rohkelt äikest tsükloonaalse tüübiga. Ka kõige enam pilv-maa välgulööke kaasnes kevadel tsükloonaalse ja kagutüübiga. Idatüübile oli iseloomulik küll suhteliselt kõrge äikese esinemistõenäosus (14,7%), kuid kuna seda tsirkulatsioonitüüpi esines ainult 4,3% kõikidest vaatlustest, siis oli idatüübiga seotud vaid 1,5% kõikidest kevade välgulöökidest. Veel vähem välgulööke kaasnes põhja- ja kirdetüübiga.

Suvel oli tsirkulatsioonitüüpide esinemissagedus üsna sarnane kevadega (enim antitsükloonaalset ja tsükloonaalset tüüpi), kuid suurenenud oli lääne- ja edelatüübi osatähtsus. Kõige vähem esines idatüüpi. Äikest oli suvel kõikide tsirkulatsioonitüüpidega tunduvalt rohkem kui kevadel, näiteks vähemalt ühe välkulöögi kaasnemine tsükloonaalses tüübis kasvas enam kui kolm ja pool korda (kevadel 18,0%, suvel 66,4%). Äikest registreeriti rohkesti ka läänetüübis, kevadel oli äikese esinemistõenäosus läänetüübiga 6 korda väiksem. Pilv-maa välgulöökidest oli kõige suurem osa seotud tsükloonaalse tsirkulatsioonitüübiga, järgnes ligi 3,5 korda madalama löökide arvukusega kagutüüp. Kuna aga kagutüüpi esines suvel vaid 4,9 protsendil vaatlustest, näitab suhteliselt suur pilv-maa välgulöökide arvukus selle tüübi äikesetormide intensiivsust. Kõige vähem välgulööke kaasnes sarnaselt kevadega põhja-, kirde- ja idatüübiga. Ka tihti esinevas antitsükloonaalses tüübis (esinemistõenäosus suvel 29,1%) registreeriti vaid 7,1% kõikidest pilv-maa välgulöökidest.

Sügisel tõusis edela- ja läänetüüpide osakaal veelgi, kuid antitsükloonaalne ja tsükloonaalne tüüp olid ka sel aastaajal sagedased. Põhja-, kirde- ja idatüübi esinemine oli võrreldes teiste aastaagadega madalaim. Äikese kaasnemine erinevate tsirkulatsioonitüüpidega langes võrreldes suvega tugevasti. Suurim äikese esinemistõenäosus kaasnes sügisel tsükloonaalse, edela- ja loodatüübiga. Kõige suurem osa, 39,5% kõikidest välgulöökidest esines sügisel edelatüübiga. Nii kevadel kui suvel oli vastav näitaja oluliselt madalam (kevadel 15,6%; suvel

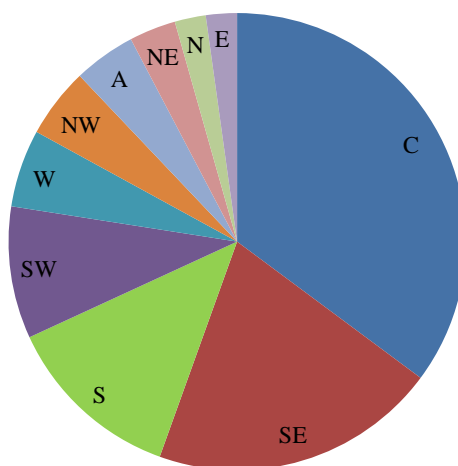
8,9%). Välgulöökide esinemine oli sügisel väga madal põhja, kirde-, ida, kagu- ja antitsükloonaalse tüübi korral (kokku vaid 2,7% sügise välkudest). Nii kevadel kui suvel olid kagutüübi äikesed kõige intensiivsemad, kuid sügisel on tugevaimad tormid lõuna- ja edelatüüpides.

**Tabel 1.** Keskmine tsirkulatsioonitüüpide esinemistõenäosus (TT%), äikese esinemistõenäosus vastavas tsirkulatsioonitüübis (Ä%), tsirkulatsioonitüübiga kaasnenud pilv-maa välgulöökide protsent kõikidest pilv-maa välkudest (VL%) ning keskmine äikese intensiivsus tsirkulatsioonitüübis (IN) kevadel, suvel ja sügisel ning kolmel aastaajal kokku 2005–2013.

|              | märts-november |        |         |       | kevad   |        |         |      | suvi    |        |         |       | sügis   |        |         |      |
|--------------|----------------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|------|
|              | TT<br>%        | Ä<br>% | VL<br>% | IN    | TT<br>% | Ä<br>% | VL<br>% | IN   | TT<br>% | Ä<br>% | VL<br>% | IN    | TT<br>% | Ä<br>% | VL<br>% | IN   |
| <b>N</b>     | 5,6            | 17,6   | 2,4     | 16,9  | 6,8     | 6,4    | 1,3     | 3,8  | 6,4     | 33,7   | 2,8     | 39,7  | 3,6     | 9,8    | 0,4     | 0,7  |
| <b>NE</b>    | 4,0            | 18,1   | 2,6     | 25,7  | 4,6     | 9,1    | 1,4     | 5,7  | 4,5     | 35,6   | 3,1     | 61,3  | 2,7     | 4,5    | 0,3     | 0,7  |
| <b>E</b>     | 3,5            | 21,6   | 2,4     | 26,0  | 4,3     | 14,7   | 1,5     | 6,8  | 3,9     | 39,5   | 2,7     | 63,1  | 2,4     | 4,5    | 0,1     | 0,2  |
| <b>SE</b>    | 4,5            | 28,6   | 13,3    | 113,6 | 5,4     | 23,6   | 26,3    | 95,2 | 4,9     | 47,5   | 11,4    | 206,6 | 3,2     | 7,6    | 0,5     | 1,1  |
| <b>S</b>     | 6,3            | 22,4   | 9,0     | 55,4  | 6,5     | 8,1    | 4,9     | 14,6 | 5,8     | 48,2   | 9,3     | 144,2 | 6,6     | 13,7   | 17,2    | 17,6 |
| <b>SW</b>    | 11,4           | 23,3   | 12,9    | 44,0  | 7,7     | 11,7   | 18,7    | 47,1 | 9,1     | 46,0   | 9,7     | 95,7  | 17,3    | 16,5   | 39,5    | 15,3 |
| <b>W</b>     | 11,4           | 26,0   | 8,7     | 29,4  | 8,9     | 8,8    | 3,7     | 8,0  | 11,0    | 55,7   | 9,1     | 74,0  | 14,4    | 13,8   | 17,3    | 8,1  |
| <b>NW</b>    | 7,8            | 22,5   | 4,8     | 23,8  | 8,4     | 6,8    | 5,1     | 11,9 | 7,4     | 46,5   | 4,7     | 56,9  | 7,5     | 16,4   | 5,1     | 4,5  |
| <b>C</b>     | 17,4           | 35,0   | 37,4    | 83,1  | 18,6    | 18     | 34,6    | 36,2 | 17,9    | 66,4   | 39,4    | 196,4 | 15,6    | 19,1   | 18,3    | 7,9  |
| <b>A</b>     | 28,2           | 10,5   | 6,4     | 8,8   | 28,7    | 2,6    | 2,4     | 1,6  | 29,1    | 24,0   | 7,7     | 23,6  | 26,7    | 4,0    | 1,4     | 0,3  |
| <b>Kokku</b> | 100            | 21,6   | 100     | 38,6  | 100     | 9,7    | 100     | 19,4 | 100     | 43,1   | 100     | 89,4  | 100     | 11,8   | 100     | 6,7  |

### 3.6 Intensiivseimad tormid

Üle 1000 pilv-maa välgulöögiga vaatlusi esines uuritud perioodil 92. Enim oli intensiivseid torme tsüklonaalse tsirkulatsioonitüübi korral (35% kõigist juhtudest). Järgnesid kagu- ja lõunatuüp. Need kolm tüüpi kokku andsid 68% kõigist üle 1000 välgulöögiga vaatlustest. Kõige vähem esines üle 1000 löögiga torme ida- ja põhjatüübis (mõlemas kaks vaatlust) ning seejärel kirde- ja antitsüklonaalses tüübis (vastavalt kolm ja neli vaatlust) (joonis 10).



**Joonis 10.** Enam kui 1000 välgulöögiga vaatluste jaotus tsirkulatsioonitüüpide vahel Eesti piirkonnas 2005–2013.

Suurima pilv-maa välgulöökide arvuga torm vaadeldud perioodil esines 28. juulil 2011. See kaasnes tsüklonaalse tsirkulatsioonitüübiga ning välgulöögid koondusid peamiselt Pärnu-, Viljandi-, Rapla-, Harju- ja Virumaale. Tormist jäid suures osas puutumata vaid läänesaared, Tartumaa ja Jõgevamaa. Pilv-maa välgulöökide koguarv oli antud kuupäeval 13 098 ning need esinesid peamiselt kella 14 ja 16 vahel (lisa 4).

Intensiivsuse teine äikesetorm esines ööl vastu 9. augustit 2013. Kokku registreeriti 10 050 pilv-maa välgulööki. Torm liikus edelast kirdesse üle Eesti, mõjutades peamiselt Lääne- ja Põhja-Eestit (lisa 5). Torm kuulus tsüklonaalse pööriselisuse mõjuga edela tsirkulatsioonitüüpi (alguses jaotuses hübriidtüüp CSW).

Päev enne perioodi 2005–2013 suurimat äikesetormi ehk 27. juulil 2011 oli Eesti kohal samuti väga tugev tsükloonaalset tüüpi äike (lisa 6). See esines peamiselt Liivi lahel ja Edela-Eestis. Kokku registreeriti õhtusel ajal 8795 välgulööki maksimumiga kell 19.

Välgulöökide arvukuse poolest neljas torm (lisa 7) uuritud perioodil esines 29. juulil 2012. Tormis registreeriti 8663 pilv-maa välgulööki peamiselt uuritud ala loodeosas mere kohal. Välgulöökide maksimum oli kella 23 ja 24 vahel. Hilisõhtune torm oli lõunatüüpi, milles esines ka tsükloonaalse pööriselisuse mõju (algses jaotuses hübriidtüüp CS).

Välgulöökide arvukuse poolest viies torm uuritud perioodil oli 23. ja 24. augustil 2007. Tormis registreeriti kokku 7787 välgulööki ning tegemist oli edelatüüpi tormiga, millel esines ka tsükloonaalse pööriselisuse mõju (algses jaotuses hübriidtüüp CSW). Torm liikus üle Lääne- ja Põhja-Eesti ning löökide maksimum oli öösel kell 2 (lisa 8).

## 4. Arutelu

### 4.1 Välgulöökide klimatoloogia

NORDLIS 2005–2013 aasta andmete põhjal oli Eesti piirkonnas 8-20 äikesepäeva aastas (joonis 4). Seda on veidi vähem kui perioodi 1951-2000 meteoroloogiajaamade vaatlusandmete põhjal leitud 12–22 äikesepäeva aastas (Enno jt, 2013). Erinevuse üheks põhjuseks on kindlasti see, et meteoroloogiajaamade andmetel põhinev uuring ei hõlmanud madalaima äikeselise aktiivsusega merealaid. Lisaks ei saa kindel olla, et käesolevas uuringus kasutatud 11,3 kilomeetrine raadius äikesepäevade arvu leidmisel vastab täpselt meteoroloogiajaamas registreeritud vaatlustele. Üldiselt on aga saadud tulemus suhteliselt heas vastavuses naaberlade uuringutega. Soomes on vastav keskmine näitaja sarnase perioodi kohta 12 (Tuomi ja Mäkelä, 2008), Lätis 14–24 ja Leedus 17–9,5 (Enno jt, 2013).

Keskmine välgulöökide arv ruutkilomeetri kohta aastas oli uuritud perioodil 0,41, varieerudes 0,09-st 0,88-ni (joonis 5). Sama näitaja 2005–2009 aastate kohta oli 0,07 võrra madalam – 0,34 (Enno, 2011). Andmetest selgus, et aastatel 2010–2013 lõi 83 tuhat pilv-maa välku rohkem kui eelneval viiel aastal, mis on käesolevas töös saadud suurema keskmise välgulöökide sageduse põhjuseks. Soomes oli vastav näitaja 1998–2007 perioodil 0,34 (Tuomi ja Mäkelä, 2008) ning Rootsis varieerus see 1987–2000 perioodil 0,03-st 0,4-ni (Sonnadara jt, 2006). Võrreldes Lõuna-Euroopaga on nii Eesti kui teiste Põhja-Euroopa maade keskmine välgulöökide arv ruutkilomeetri kohta aastas oluliselt madalam. Näiteks Portugalis on suurim tihedus küündinud 4 (Rodrigues jt, 2010) ja Põhja-Itaalias 6-8 välgulöögini  $\text{km}^2 \text{ a}^{-1}$  (Bernardi ja Ferrari, 2004).

Eesti äikesepäevade territoriaalse jaotuse maksimum (18–20 äikesepäeva aastas) Kagu-Eestis (joonis 4) võib olla tingitud künklikust reljeefist Karula, Otepää ja Haanja kõrgustikul. Ebatasane aluspind tekitab orograafilisi äikeseid, sest õhk on sunnitud künkliku reljeefi tõttu tõusma. Samas on huvitav, et vaatamata äikesepäevade suurele arvule jääb sealne välgulöökide arvukus Eesti keskmise taseme lähedale (joonis 5). On võimalik, et antud piirkonnas esinebki palju nõrka äikest. Samas võis tulemusi mõjutada ka Eesti asumine NORDLIS võrgustiku äärealal.

Äikesetundide ja välgulöökide tiheduse vahel on leitud lineaarne korrelatsioon (Huffines ja Orville, 1999), seetõttu toetab looduslikult nõrgemate äikesetormide esinemist Kagu-Eestis fakt, et perioodil 1991–2003 oli äikesetundide arvukus Kagu-Eestis poole madalam kui

näiteks Kesk-Eestis (Alber, 2010). Võib oletada, et kõrgustike kohal võivad ülekaalus olla lühiajalised ja mitte väga tugevad orograafilise tekkega õhumassisised äikesed.

Samas kontrolliti ka oletust, mille järgi jäävad NORDLIS võrgustiku äärealal paikneva Eesti kaguosa nõrgemad välgud lihtsalt registreerimata. Selleks koostati NORDLIS andmete põhjal uurimisala negatiivsete pilv-maa välgulöökide keskmise ja minimaalse registreeritud voolutugevuse ning keskmise impulsside arvu kaardid (lisad 1–3). Selgus, et Lõuna- ja Kagu-Eestis on keskmiselt suurema voolutugevusega välgud (lisad 1–2). Tegelikult viitab see sellele, et osad nõrgemad välgud jäävad registreerimata. Sama kinnitavad ka välgulöökide impulsside andmed (lisa 3), kus Kagu-Eesti väiksem keskmine impulsside arv seostub nõrgemate kordusimpulsside registreerimata jäämisega. Vastavad tulemused toetavad väidet, et selle piirkonna madalam välgulöökide arvukus tulenes Kagu-Eesti asendist NORDLIS võrgustiku äärealal. 2014. aastast peaksid Kagu-Eesti andmed muutuma täpsemaks tänu Leedu detektorite lisamisele NORDLIS võrgustikku.

Huvitaval kombel esines uurimisperiodil rannikule lähemal Pärnu-, Lääne- ja Raplamaal rohkem äikesepäevi kui sisemaal Järva-, Lääne-Viru-, Jõgeva- ja Tartumaal. Varasemad meteoroloogiajaamade vaatlusandmete põhinevad uuringud näitavad vastupidist äikesepäevade arvu vähenemist sisemaalt ranniku suunas (Enno, 2007; Enno jt 2013).

Mandri lääneosas, eriti Pärnumaal, võib äikese suuremat sagedust soodustada Liivi lahelt pärinev suhteliselt soe ja niiske õhk, mida sagedased edela- ja lõunatuuled rannikule toovad. Maismaale jõudes on see sunnitud tõusma. Ka sealsed metsad, rabad ning kohatine suurte luidetega künklik reljeef soodustavad õhu muutumist ebastabiilsemaks.

Suurim välgulöökide sagedus esines uurimisperiodil Ida-Virumaa lääneosas. See ühtib Enno (2011) järeldustega perioodi 2005–2009 välguandmete põhjal. Samuti esines 1991–2003 aasta äikesekestvuse uuringu kohaselt Ida-Virumaal keskmisest kõrgem äikesetundide arv (Alber, 2010). Seega käesolev töö kinnitab, et Ida-Virumaal esineb kohalik välgumaksimum, mis vääriks edaspidi põhjalikumat uurimist.

Kuna Eestis on sagedased edelatuuled, siis edela-kirde suunaline välgu- ja äikeserohke vöönd Lääne- ja Edela-Eestist üle Kesk-Eesti Virumaani võibki peamiselt tingitud olla tormide valdavast liikumissuunast. Väidet toetab uuritud perioodi intensiivsusest teise (lisa 5) ja viienda (lisa 8) äikesetormi liikumine edela-kirde suunal. 8.–9. augustil 2013. aastal esines edelast kirdesse liikuv torm (lisa 5), milles oli üle 10 tuhande välgulöögi ning 23.–24. augustil

2007. aastal esines samal suunal liikuv torm ligi 7800 pilv-maa löögiga (lisa 8). Välgulöökide kõrge tihedus sellel suunal avaldus ka Põhja-Euroopa välgulöökide uuringus (Mäkelä jt, 2014). Samas ei ole need näited piisavad, et kinnitada oletust lõplikult. Kindlasti oleks vajalik edaspidine uuring äikesetormide liikumissuundadest.

Üksikud väiksed välgumaksimumid Lääne-Eestis võivad olla juhuslikud tormide ristumiskohad. Samas näiteks Haapsalu lähedal olev maksimum avaldus ka perioodil 1991–2003 seal esinenud keskmisest kõrgema äikesetundide arvuna (Alber, 2010). Seega on Haapsalu lähedal ilmselt siiski püsivam kliimaatiline äikesemaksimum.

Selgelt vähem äikesepäevi ja välgulööke mere kohal on seletatav mere aeglase soojenemise ja jahedama temperatuuriga suvel. Sellest tingitud külmem õhk mere kohal takistab termilise äikeste teket. Sarnane tulemus esines ka välgulöökide ruumilises jaotuses aastatel 2005–2009 (Enno, 2011) ning Põhja-Euroopa välgukliima uuringus (Mäkelä jt, 2014). Lisaks esines perioodil 1951–2000 Baltimaade uuringus rannikujaamades vähem äikesepäevi (Enno jt, 2013).

Äikesehooaja koondumine soojale poolaastale on iseloomulik kogu parasvöötmele (Christian jt, 2003). Välgulöökide maksimum langes aasta kõige soojemale kuule, kuna siis on õhus enim energiat konvektsioonivoolude tekkeks. Maismaal oli selleks juuli, merel august.

Huvitav on mai suurem välgulöökide protsent võrreldes juuniga (joonis 6), kuigi juunis on päikesekiirgus tugevam ning õhutemperatuur kõrgem. Välgulöökide jaotuse 15-päevane libisev keskmine (joonis 7) näitab selgelt mai teisel poolel eelmaksimumi, mis esines oluliselt varem kui kesksuvine põhiline äikesemaksimum. Sarnane tulemus on varem saadud nii Eesti 2005–2009 aastate välgulöökide andmestiku põhjal (Enno, 2011) kui ka Baltimaade 1951–2000 äikesekliima uuringus äikesekestuse andmete alusel (Enno jt, 2013). Sellist jaotust pole varem teiste riikide uuringutes kirjeldatud ja seega on ebaselge, miks esineb mais kõrgem välguaktiivsus kui juunis. Argumenteeritud vastuse leidmiseks vajaks välgulöökide ajaline jaotus edasist uurimist.

Talvel on välgulöökide esinemine väga haruldane ja enamik külmal aastaajal registreeritud välkudest esinevad mere kohal. Meri jahtub aeglasemalt ning püsib talvel maismaast soojem. Seetõttu on talvise äikese tekkeks suuremad eeldused just seal.

Aluspinna temperatuurikäik mõjutab ka välgulöökide ööpäevast jaotust. Maapinna kohal olev õhk saavutab maksimumtemperatuuri pärast keskpäeva kella 14–15 ajal ning kohe selle järel

esines ka välgulöökide maksimum kella 15–18 vahel. Sama kinnitavad ka varasemad välgulöökide ja äikesetundide ööpäevase jaotuse uuringud (Enno, 2011; Alber, 2010; Enno jt 2013). Merel oli välgulöökide ööpäevane arvukus ühtlasem, kuid kella 22–23 ajal esines siiski eristuv maksimum. Sarnane äikesetundide jaotuse maksimum oli Eesti rannikujaamas Vilsandil perioodil 1963–2008 (Alber, 2010) ning Baltimaade rannikujaamades perioodil 1951–2000 (Enno jt, 2013).

Välgulöökide maksimum esines ööpäevases jaotuses suvel ja kevadel pärastlõunal ning sügisel õhtul. Kuna sügisel langes äikseline aktiivsus maismaa kohal palju kiiremini, siis kasvas protsentuaalselt mere kohal löönud välkude osakaal. Mere kohal esines välgulöökide maksimum õhtul, tõenäoliselt seetõttu oli ka sügisel välgulöökide maksimum hiljem kui kevadel ja suvel.

#### **4.2 Seosed tsirkulatsioonitüüpidega**

Äikseperioodil enim esinenud antitsükloonaalse tüübi korral asub Eesti kohal kõrgrõhkkond, mille laskuvad õhuvoolud ei soodusta äikesepilvede arengut. Seetõttu kaasnes antsitsükloonaalse tüübiga kõikidel aastaegadel kõige vähem äikest. Kõige harvemini esinenud kirde- ja idatüüpides oli äikese kaasnemine samuti madal.

Enim välgulööke kolme aastaaja kokkuvõttes tsükloonaalses tüübis on üheltpoolt tingitud selle ilmastikutüübi kõrgest esinemisprotsendist. Oluline on ka frontide sage kaasnemine tsükloonaalse tüübiga, mis on intensiivsete äikesetormide põhjustajateks. Äikesehooaja intensiivseimad tormid esinesid aga kagutüübis, kus madalale ilmastikutüübi esinemissagedusele vastas kõrge välgulöökide arv. Madal äikese esinemissagedus ja välgulöökide protsent põhja- ja kirdetüübis on põhjustatud saabuvast külmemast ja kuivast kontinentaalsest õhust, milles on konvektsiooni tekkeks vähe energiat.

Sarnaselt käesoleva uuringuga esines Baltimaade äikesepäevade ja tsirkulatsiooni uuringu (Enno jt, 2014) põhjal 1950–2004 perioodil maist septembrini enim antitsükloonaalset tüüpi ning ka äikese esinemisprotsent oli selles tüübis kõige madalam. Kõige vähem esinev ilmastikutüüp oli Baltimaade uuringus kagutüüp, käesolevas uuringus esines kagutüübist veel vähem kirde- ja idatüüpi. Äikese esinemisprotsent oli äikesepäevade ja tsirkulatsiooni seoste uuringus samuti kõrgeim tsükloonaalses ja kagutüübis.

Kevadel oli äikese esinemine kõige tõenäolisem kagutüübis. Enno jt (2014) põhjendas kevadel ja suvel ida- ja lõunatüüpides äikese kõrget esinemistõenäosust sooja ja niiske õhu kandumisega Eesti aladele väiksematelt laiuskraadidelt. Teiste aastaegadega võrreldes oli kevadel äikese esinemine madalam lääne- ja edelatüübis. Kevadel soojeneb meri aeglasemalt, mistõttu kandub lääne- ja edelasuunast mandrile külmem õhk, milles on äikese tekkeks vähe energiat. Enim välgulööke oli kevadel uuritud perioodil tsükloonaalses tüübis. Siiski olid kagutüübi äikesed sel ajal ühtlaselt kõige intensiivsemad, sest kagutüüpi esines vaid 5,4% vaatlustest, kuid selles tüübis oli 26,3% kõikidest välgulöökidest (tsükloonaalses tüübis vastavalt 18,6% ja 34,6%).

Suvel oli suurim äikese tõenäosus tsükloonaalse tüübiga, kõrge äikese esinemisprotsent kaasnes ka läänetyübiga. Enim välgulööke oli tsükloonaalses ja kagutüübis, kuid kagutüüpi esines tsükloonaalsest tüübist tunduvalt vähem, seega olid selle tüübi tormid ka suvel kõige intensiivsemad. Läänetyübiga kaasnes küll tihti äikest, kuid selle tüübi tormid olid intensiivsusest nõrgemad. Suvel on mere kohalt tulevad õhuvoolud jahedamad kui kagu poolt lähenevad kontinentaalsed õhuvoolud, mistõttu võimsate äikesetormide tekkeks on neis vähem energiat. Samas esinesid uuritud perioodil merelt saabuvas õhus (edelatüübiga) ühed intensiivseimad tormid just suvel (lisa 5 ja 8). Nii 2007. aasta kui 2013. aasta võimsad äikesetormid esinesid augustis Liivi lahelt saabuvas õhus. Selleks ajaks on meri saavutanud maksimumtemperatuuri ning intensiivsete äikesetormide esinemine on tõenäolisem kui juunis ja juulis. Edelatüübiga kaasnevad läänetyübigast intensiivsemad äikesetormid ilmselt ka seetõttu, et Liivi laht on väiksem ja soojeneb tugevamalt kui avameri.

Sügisel tõusid märgatavalt lääne- ja edelatüüpide esinemiste osakaalud, sest intensiivne tsükloonaalne tegevus koos lääne- ja edelavooluga on Eestis kliimas sügisele omane (Veismann ja Veskimäe, 2005). Kõrge äikese esinemistõenäosus edela- ja loodetyübis ning suurim välgulöökide arvukus edelatüübis on põhjustatud mere aeglasemast jahtumisest. Tuuled kannavad soojemat ja niisket õhku Atlandi ookeani põhjaosast ja Läänemerelt. Saabuv õhk soodustab sügisel konvektsiooni teket enam kui kontinentaalsete õhumasside toodud jahedamad ja seega ka kuivemad õhuvoolud (Enno jt, 2014). Lõunatyüpi esines sügisel vaid 6,6% vaatlustest, kuid selles oli 17,2% kõikidest välgulöökidest. Intensiivseimad tormid lõunatyübis on võimalikud väiksematelt laiustelt saabuva mere mõjutustega õhumassides, mis on endiselt soojad ja niisked. Jahedamate õhuvoolude tõttu mandri siseosast on sügisel kagutüübi välgulöökide protsent ning intensiivsus võrreldes teiste aastaegadega väga madal

(välgulöökide protsent kevadel 26,3; suvel 11,4; sügisel 0,5). Samuti on peaaegu nullilähedane välgulöökide esinemisprotsent põhja-, kirde- ja idatüübis. Nende tüüpide õhuvoolud jõuavad Eestisse selleks ajaks juba tugevalt jahtunud aladelt.

Üle 1000 pilv-maa välgulöögiga vaatluskordade jagunemine tsirkulatsioonitüüpide vahel on üldiselt vastavuses tsirkulatsioonitüüpide keskmise äikese intensiivsusega. Üheks erinevuseks on intensiivseimate tormide esinemine kagutüübis (tabel 1), samas kui üle 1000 löögiga vaatluste arv oli suurim tsükloonaalses tüübis. Ka uuringuperioodi kõige suurema välgulöökide arvukusega torm esines tsükloonaalses ilmaolukorras (lisa 4). Erinevuse põhjustab ilmselt asjaolu, et tsükloonaalset tüüpi esines tunduvalt sagedamini ning selles oli nii nõrkasid kui intensiivseid torme. Kagutüübi tormid olid aga ühtlaselt kõrgema intensiivsusega. Kõige vähem üle 1000 löögiga torme on esinenud ida-, põhja- ja kirdetüübis, kuid välgulöökide ja tsirkulatsioonitüübi esinemise suhtest tulenevast näitajast on äikese intensiivsus madalaim antitsükloonaalses tüübis. Erinevuse põhjustab tegelikkuses vaid üks-kaks vaatlust, kuid üldjoontes on põhjus sarnane eelnevale – antitsükloonaalset tüüpi esines märtsist novembrini teistest kõige enam, selles tüübis esinesid mõned intensiivsemad tormid, kuid enamik neist olid nõrgad äikesed. Seepärast on kokkuvõtvalt selle tüübi äikeste intensiivsus siiski madalaim.

## Kokkuvõte

Käesolev uurimistöö annab ülevaate välgulöökide ajalis-ruumilisest jaotusest ning seostest tsirkulatsioonitüüpidega Eesti piirkonnas aastatel 2005–2013. Töö põhineb NORDLIS välgudetektorite võrgustiku andmetel ning valitseva õhuvoolu suuna, tugevuse ja pööriselisuse alusel määratud atmosfääri tsirkulatsiooni sünoptilisel klassifikatsioonil.

Uuritud alal oli aasta keskmine äikesepäevade arv 15 ning keskmine pilv-maa välgulöökide tihedus ruutkilomeetril aastas 0,41. Äikesepäevade arv varieerus 8-st uurimisala loodeservas mere kohal 20-ni Kagu-Eestis. Välgulöökide tihedus ulatus 0,09 löögist  $\text{km}^2 \text{ a}^{-1}$  uurimisala loodeosas avamerel 0,88 löögini  $\text{km}^2 \text{ a}^{-1}$  Ida-Virumaa lääneosas ning Haapsalu lähedal.

Kagu-Eestis ilmnes suhteliselt madal välkude sagedus äikesepäeva kohta. See võib ühelt poolt olla tingitud orograafilise tekkeviisiga nõrgemate äikeste suuremast osakaalust kõrgustike piirkonnas. Teiselt poolt näitasid negatiivsete pilv-maa välgulöökide voolutugevuste ja impulsside andmed selles piirkonnas NORDLIS detektorite võrgustiku madalamat registreerimisefektiivsust.

Äikesehooajal märtsist novembrini esines 99,98% kõikidest välgulöökidest. Maismaa kohal esines välgu sageduse maksimum juulis, mere kohal aga augustis, mil veetemperatuur on kõrgeim. Ööpäevases lõikes oli enim välgulööke maismaal kell 15–18 ning merel kell 22–23.

Tsirkulatsioonitüüpidest tõid kõige sagedamini äikest kaasa tsükloonaalne ja kagutüüp ning kõige harvemini antitsükloonaalne tüüp. Välgulöökide protsent kõikidest pilv-maa löökidest oli kõrgeim tsükloonaalses tüübis ning intensiivseimad tormid esinesid kagutüübis. Kõige väiksema osa välgulöökide koguarvust andsid põhja-, kirde- ja idatüüp, intensiivsusest olid nõrgimad antitsükloonaalsed äikesed.

Kevadel oli suurim äikese esinemistõenäosus kagutüübis, kuid enim välgulööke registreeriti tsükloonaalses tüübis. Suvel oli nii äikese esinemisprotsent kui välgulöökide arvukus suurim tsükloonaalses tüübis. Samas olid nii kevadel kui suvel kagutüübi tormid kõige intensiivseimad. Sügisel kaasnes kõige enam äikest tsükloonaalse tüübiga, kuid kõige rohkem välgulööke registreeriti edelatüübis. Intensiivseimad äikesed esinesid sügisel lõunatüübis.

Üle 1000 välgulöögiga vaatlusi oli enim tsükloonaalse ning kagu- ja lõunatüübi korral. Ka vaadeldud perioodi intensiivseim, 13 090 pilv-maa välgulöögiga torm esines tsükloonaalses tsirkulatsioonitüübis. Kõige vähem tugevaid torme esines ida-, põhja- ja kirdetüübis.

## Summary

### **A climatology of cloud-to-ground lightning and its relationships with circulation weather types over Estonia 2005–2013**

**Laura Eiber**

The study presents an overview of spatio-temporal distribution of cloud-to-ground lightning and its relationships with circulation weather types over Estonia 2005–2013. The main goal of the research is to find out which circulation weather types cause most of the lightning and which types bring the most intense thunderstorms. The study bases on Nordic Lightning Information System (NORDLIS) data. Circulation weather types are determined on the basis of strength, direction and vorticity of the geostrophic flow.

Maps of thunder day frequency and cloud-to-ground lightning density were made by using the *ArcGIS* software. Necessary graphs to demonstrate the temporal distribution of lightning were drawn in *MS Excel*. To study the relationships between lightning and circulation weather types, seasonal thunderstorm probability, cloud-to-ground lightning fraction and thunderstorm intensity was calculated for each weather type.

Annual mean thunder day number was 15 and annual mean flash density was 0.41 flashes/km<sup>2</sup> y<sup>-1</sup> over Estonia 2005–2013. Annual mean thunder day number varied from 8 in the northwestern part of the study area to 20 in southeastern Estonia. The flash density varied from 0.09 to 0.88 flashes km<sup>2</sup> y<sup>-1</sup>. Maximum flash density appeared in the western part of Ida-Viru county and around Haapsalu in western Estonia. The lowest flash density was over the Baltic Proper in northwestern part of the study area. Southeastern Estonia interestingly showed relatively low ground flash density in comparison with high thunder day numbers. It is possible that storms are naturally weaker there. However, the peak current and flash multiplicity data supports the idea that weaker flashes just remain undetected over southeastern Estonia as it is located near the edge of NORDLIS network.

During the thunderstorm season from March to November 99.98% of lightning was registered. Over land the highest activity occurred in July, whereas over the sea the lightning incidence was highest in August. Diurnal distribution of lightning peaked between 3pm and 6pm over land and between 10pm and 11pm over the sea.

During the thunderstorm season lightning was most frequently associated with cyclonic and southeastern type and least frequently with anticyclonic type. The cyclonic type gave the highest fraction of all registered flashes. The most intense storms occurred in case of southeastern type. The lowest fractions of registered ground flashes were associated with northern, northeastern and eastern circulation types. The intensity of storms was lowest in case of anticyclonic type.

In spring the highest thunderstorm probability was associated with southeastern type, whereas the highest fraction of cloud-to-ground flashes was associated with the cyclonic type. In summer, thunderstorm probability and lightning fraction were the highest in the cyclonic type. During spring and summer, the southeastern type storms were the most intensive. In autumn thunderstorm probability was the highest in case of cyclonic type, but the highest lightning fraction was registered in case of southwestern type. The most intense storms appeared in case of the southern type in autumn.

Storms with more than 1000 flashes were most frequently associated with cyclonic, southeastern and southern circulation types. The most intense thunderstorm during the study period with 13 090 cloud-to-ground flashes was associated with cyclonic circulation type. Storms with more than 1000 flashes were the least frequent in case of eastern, northern and northeastern types.

## **Tänuavaldused**

Täna oma juhendajat Sven-Erik Ennot tema toetava suhtumise ja abi eest. Suur aitäh ka Piia Postile, kes töötles andmed minu uurimistööks sobivale kujule.

## **Kasutatud kirjandus**

- Alber, R., 2010. Äikese ajaline kestus ja sesoonne ning ööpäevane jaotus Eestis 1963-2008. Bakalaureuse töö, Tartu Ülikool.
- Antonescu, B., Burcea, S., 2010. A cloud-to-ground lightning climatology for Romania. *Mon. Weather Rev.* 138, 579–591.
- Bernardi, M., Ferrari, D., 2004. Evaluation of the LLS efficiency effects on the ground flash density, using the Italian lightning detection system SIRF. *J. Electrostat.* 60, 131–140.
- Christian, H. J., Blakeslee R.J., Boccippio D. J., Boeck, W. L., Buechler, D. E., Driscoll, K.T., Goodman, S. J., Hall, J. M., Koshak, W. J., Mach, D.M., Stewart M. F., 2003. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *Journal of Geophysical Research* 108, 1–15.
- Dirks, R. A., Kuettner, J. P., Moore, J. A., 1988. Genesis of Atlantic Lows Experiment (GALE): An overview. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 69, 148–160.
- Encyclopedia of World Climatology, 2005. Oliver, J. E. (toimetaja). Springer, Dordrecht.
- Enno, S.-E., 2007. Äikese sageduse ajalis-ruumiline muutlikkus Eestis. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool.
- Enno, S.-E., 2009. Välgulöökide ajalis-ruumiline jaotus Eesti piirkonnas 2005–2008 ja NORDLIS andmete võrdlus kliimajaamade vaatlustega. Magistritöö, Tartu Ülikool.
- Enno, S.-E., 2011. A climatology of cloud-to-ground lightning over Estonia, 2005–2009. Elsevier. *Atmospheric Research* 100, 310–317.
- Enno, S.-E., Briede, A., Valiukas, D., 2013. Climatology of thunderstorms in the Baltic countries 1951-2000. *Theor. Appl. Climatol.* 111, 309–325.
- Enno, S.-E., Post P., Briede A., Stankunaite I., 2014. Long-term changes in the frequency of thunder days in the Baltic countries, 1950–2004. *Boreal Environmental Research* 19 (aktsepteeritud).
- FMI – Finnish Meteorological Institute. Thunderstorms in Finland <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/thunderstorms-in-finland>, 2.05.2014.

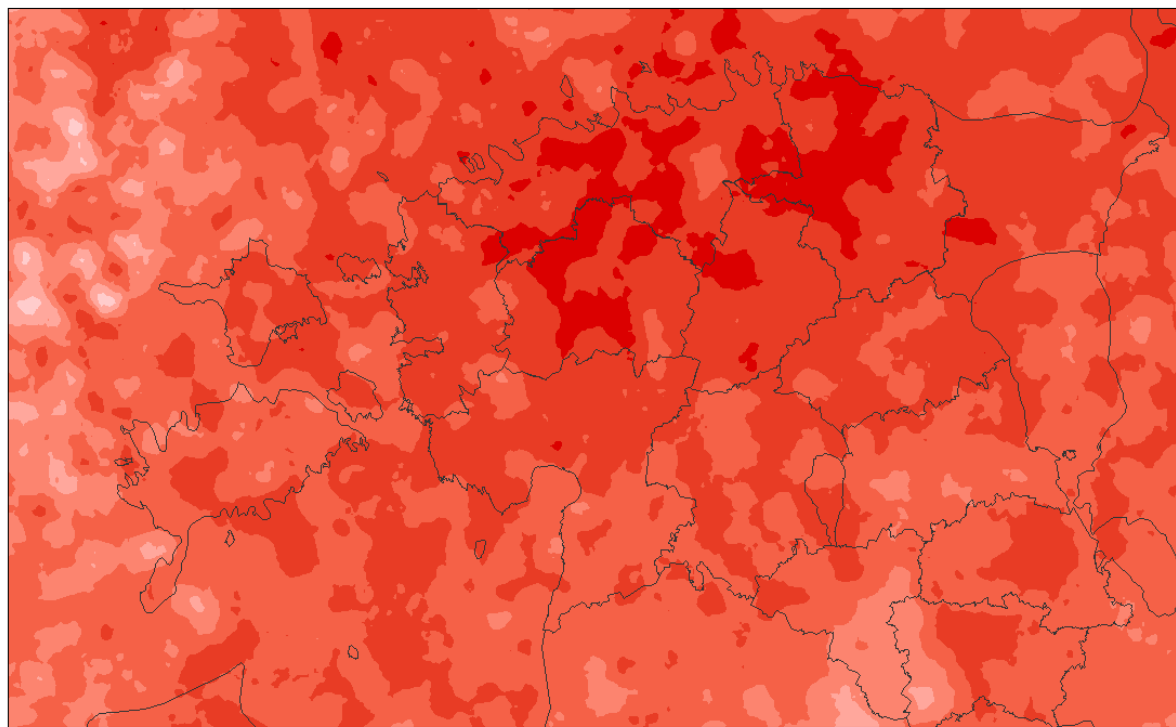
- Huffines, G. R., Orville, R. E., 1999. Lightning ground flash density and thunderstorm duration in the continental United States: 1989-96. *Journal of Applied Meteorology*, 38(7), 1013-1019.
- Kolendowicz, L., 2006. The influence of synoptic situations on the occurrence of days with thunderstorms during a year in the territory of Poland. *Int. J. Climatol.* 26, 1803–1820.
- McNulty, R. P., 1995. Severe and Convective Weather: A Central Region Forecasting Challenge. *Wea. Forecasting* 10, 187–202.
- Mäkelä, A., Enno, S.-E., Haapalainen, J., 2014. Thunderstorm climate of Northern Europe for the period 2002–2011. *Atmospheric Research* 139, 46–61.
- Orville, R.E., Huffines, G.R., 2001. Cloud-to-ground lightning in the United States: NLDN results in the first decade, 1989–98. *Mon. Weather Rev.* 129, 1179–1193.
- Pinto I.R.C.A., Pinto O. Jr., 2003. Cloud-to-ground lightning distribution in Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 65-6, 733–737.
- Poelman, D.R. 2010. *On the Science of Lightning: An Overview*. Royal Meteorological Institute of Belgium Report, Brüssel.
- Post, P., Truija V., Tuulik J., 2002. Circulation weather types and their influence on the temperature and precipitation in Estonia. *Boreal Env. Res.* 7, 281–289.
- Põiklik, K., 1964. *Üld- ja agrometeoroloogia*. Kirjastus Eesti Raamat, Tallinn.
- Rakov V.A., Uman M.A., 2003. *Lightning: physics and effects*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ramos, A.M., Ramos, R., Sousa, P., Trigo R. M., Janeira, M., Prior, V., 2011. Cloud to ground lightning activity over Portugal and its association with circulation weather types. *Atmospheric Research* 101, 84–101.
- Rodrigues, R.B., Mendes, V.M.F., Catalão, J.P.S., 2010. Lightning Data Observed With Lightning Location System in Portugal. *IEEE Transactions On Power Delivery* 25 (2), 870–875.
- Schneider, S. H., Root T. L., Mastrandrea, M. D., 2011a. *Encyclopedia of Climate & Weather* 2. Oxford University Press, New York.

- Schneider, S. H., Root T. L., Mastrandrea, M. D., 2011b. Encyclopedia of Climate & Weather 3. Oxford University Press, New York.
- Schulz, W., Cummins, K., Diendorfer, G., and Dorninger, M., 2005. Cloud-to-ground lightning in Austria: A 10-year study using data from a lightning location system. *J. Geophys. Res.* 110, D09101.
- Shephard, M. W., Morris R., Burrows W. R., Welsh L., 2013. A High-Resolution Canadian Lightning Climatology. *Atmosphere-Ocean* 51 (1), 50–59.
- Silverman, B.W., 1986. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman & Hall, London, New York.
- Sonnadara, U., Cooray, V., Götschl, T., 2006. Characteristics of cloud-to-ground lightning flashes over Sweden. *Phys. Scr.* 74, 541–548.
- Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A., 2013. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu.
- Tomás, C., de Pablo, F., Rivas Soriano, L., 2004. Circulation weather types and cloud-to-ground flash density over the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.* 24, 109–123.
- Tuomi, T.J., Mäkelä, A., 2003. Synoptic Classification of Thunderstorms in Finland. *Geophysica* 39 (1-2), 3–30.
- Tuomi, T.J., Mäkelä, A., 2008. Thunderstorm Climate of Finland 1998–2007. *Geophysica* 44 (1-2), 67–80.
- Truija, V., Post, P., 2003. Peakkomponentanalüüsil baseeruva atmosfääri tsirkulatsiooni klassifikatsiooni rakendamine Põhja-Euroopas. Jaagus, J. (toimetaja), *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 93. Uurimusi Eesti kliimast. Tartu Ülikooli Geograafia Instituut, Tartu, 116–128.
- Truija, V., Post, P., Tuulik, J., 2003. Atmosfääri tsirkulatsiooni sünoptiline klassifikatsioon Läänemere piirkonnas ning selle seosed Eesti sademete ja temperatuuriga. Jaagus, J. (toimetaja), *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 93. Uurimusi Eesti kliimast. Tartu Ülikooli Geograafia Instituut, Tartu, 102–115.
- Veismann U., Veskimäe R., 2005. Universum valguses ja viimas. OÜ Reves Grupp. Tallinn.

Xie, Y.R., Xu, K., Zhang, T.F., Liu, X.T., 2013. Five-year study of cloud-to-ground lightning activity in Yunnan province, China. *Atmospheric Research* 129, 49–57.

## Lisad

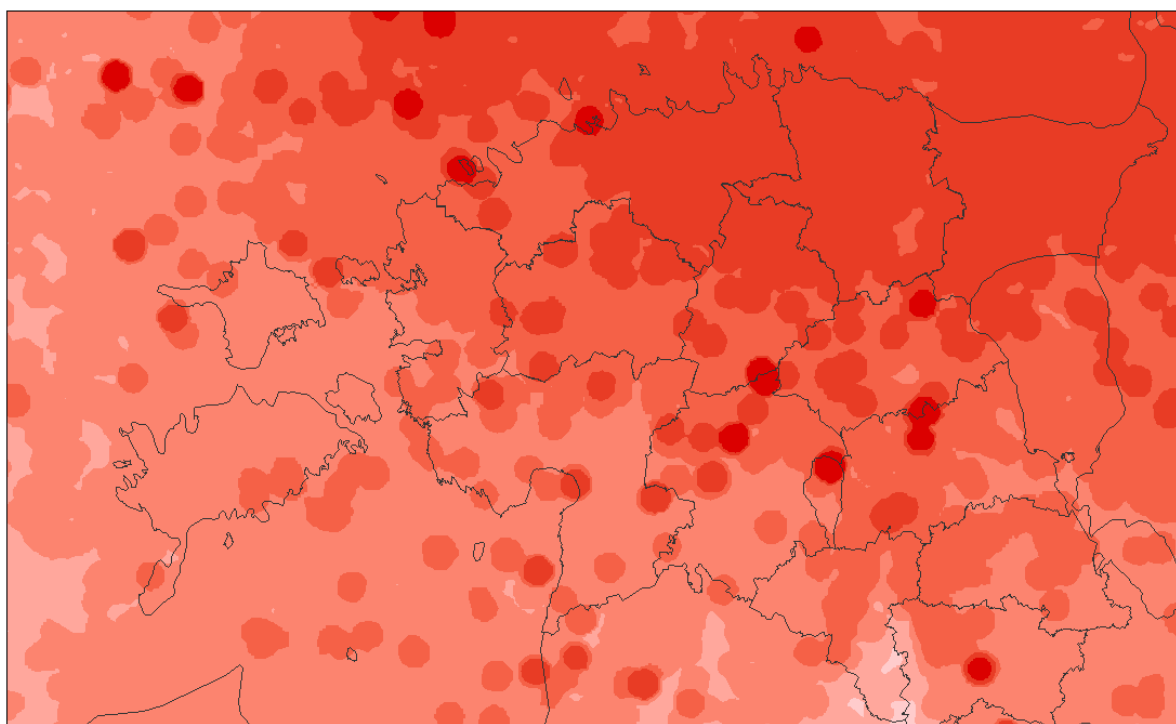
**Lisa 1.** Negatiivsete pilv-maa välgulöökide keskmine voolutugevus kiloamprites Eesti piirkonnas 2005–2013.



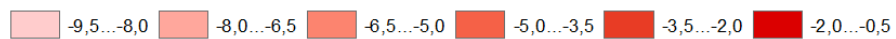
Keskmine voolutugevus kiloamprites



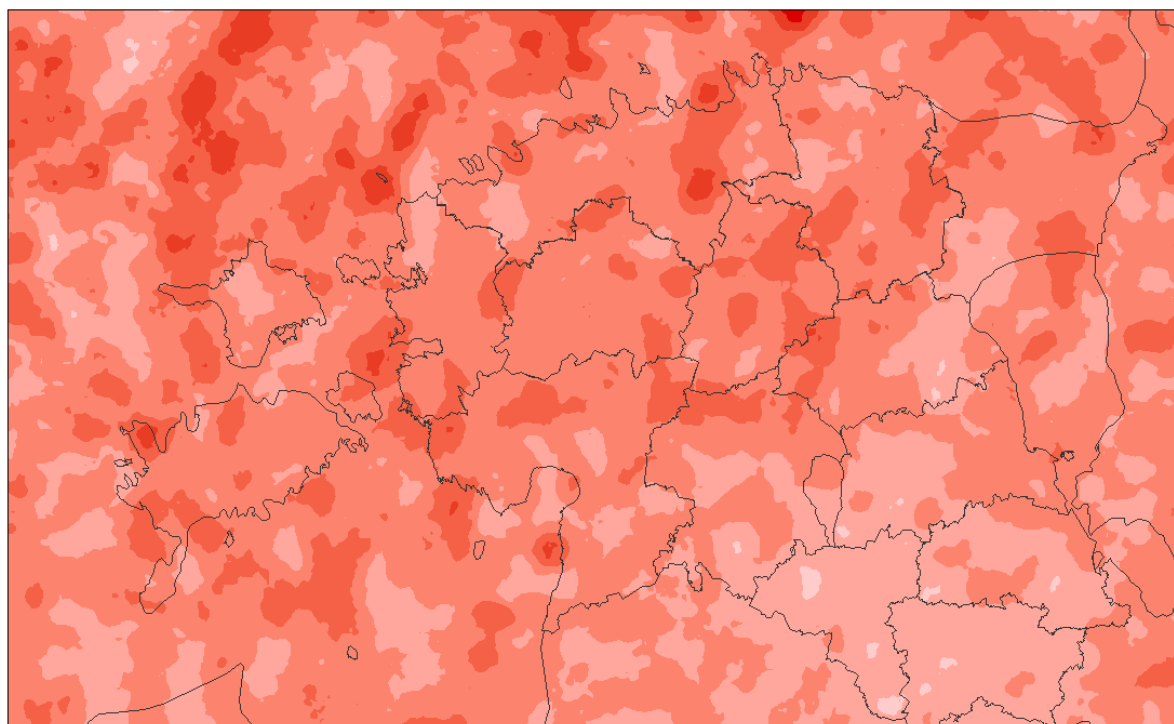
**Lisa 2.** Negatiivsete pilv-maa välgulöökide minimaalne voolutugevus kiloamprites Eesti piirkonnas 2005–2013.



Minimaalne voolutugevus kiloamprites



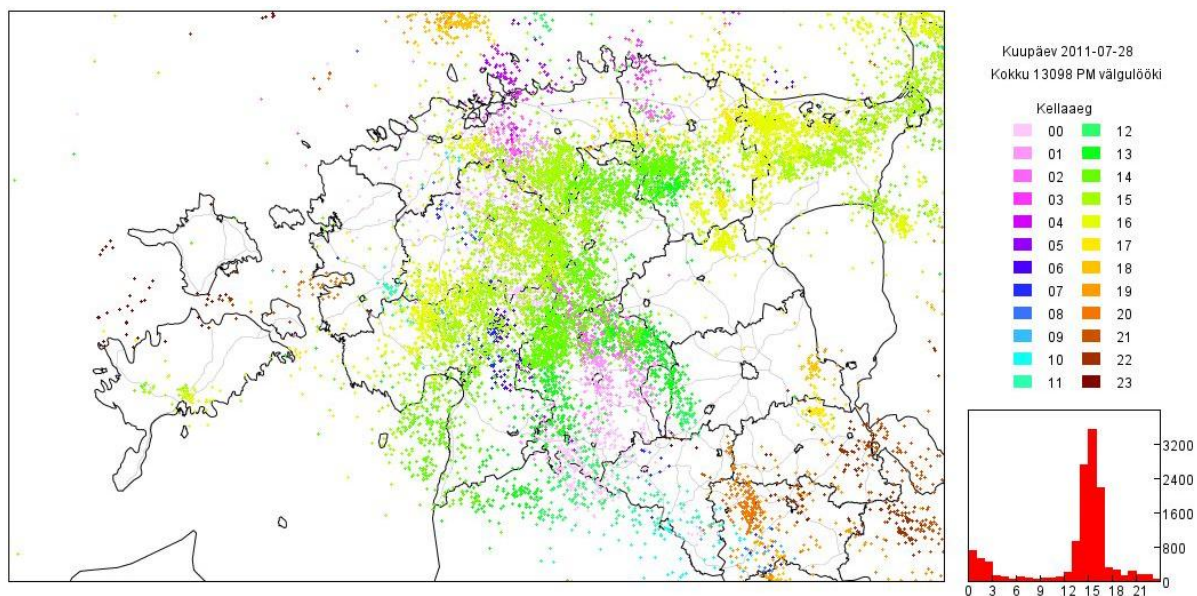
**Lisa 3.** Keskmise impulsside arv pilv-maa välgulöögis Eesti piirkonnas 2005–2013.



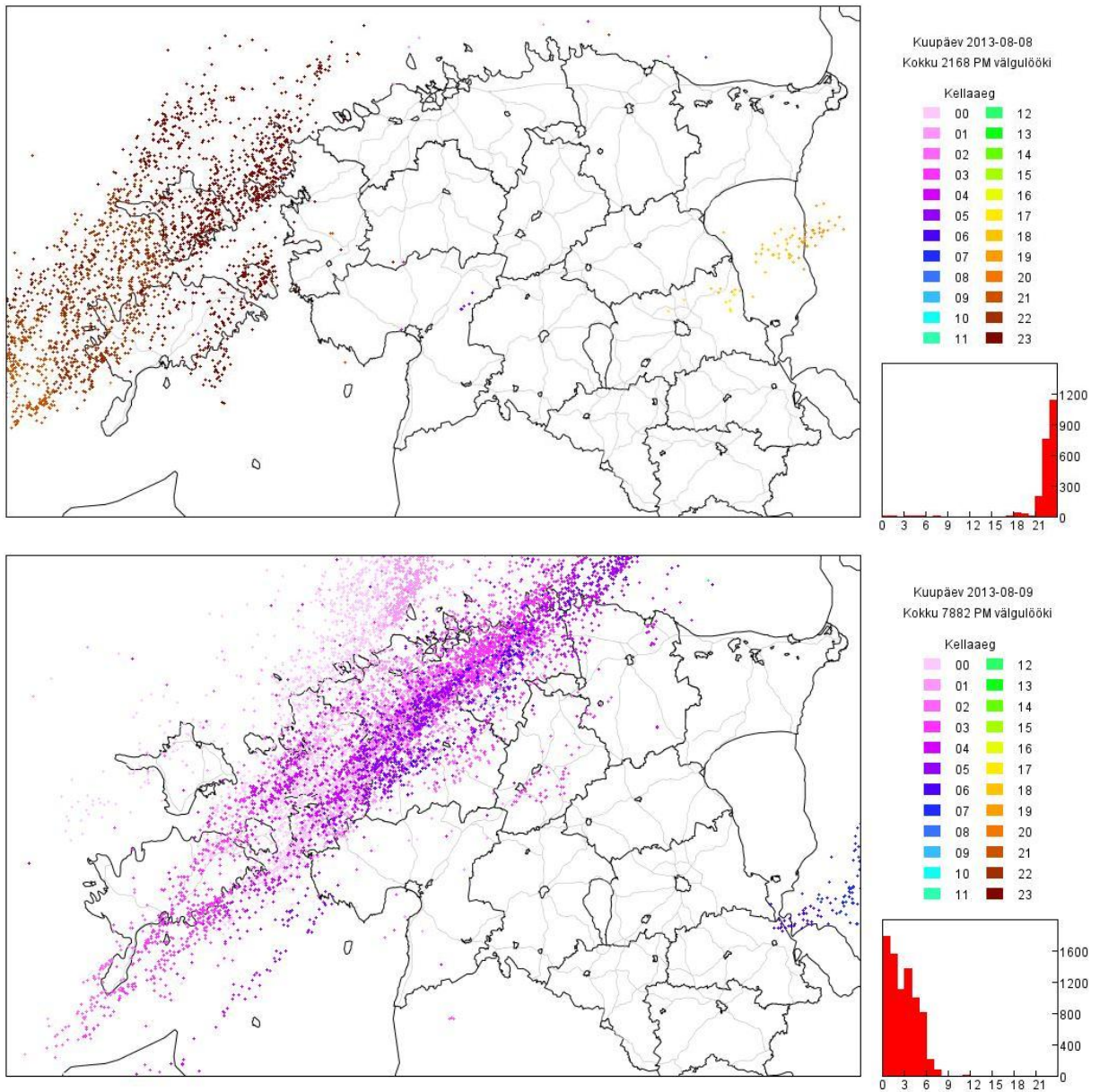
Keskmine impulsside arv pilv-maa välgulöögis



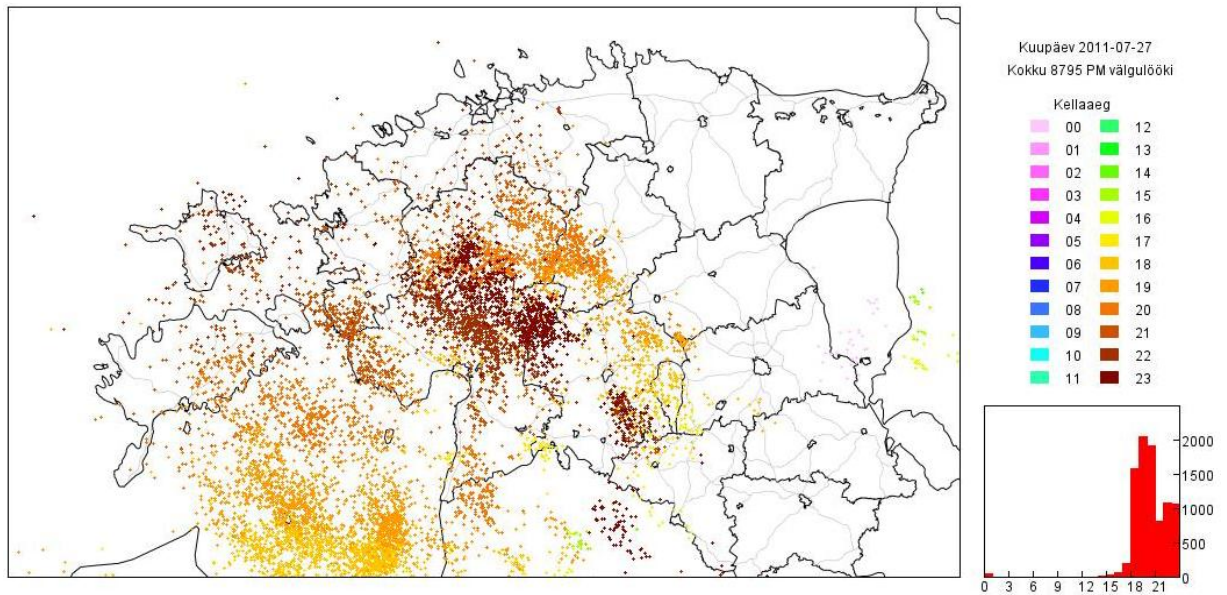
**Lisa 4.** Suurima välgulöökide arvuga torm Eesti piirkonnas 2005–2013 (28. juulil 2011).  
Välgulöökide esinemised on värvitud vastavalt kellaajale.



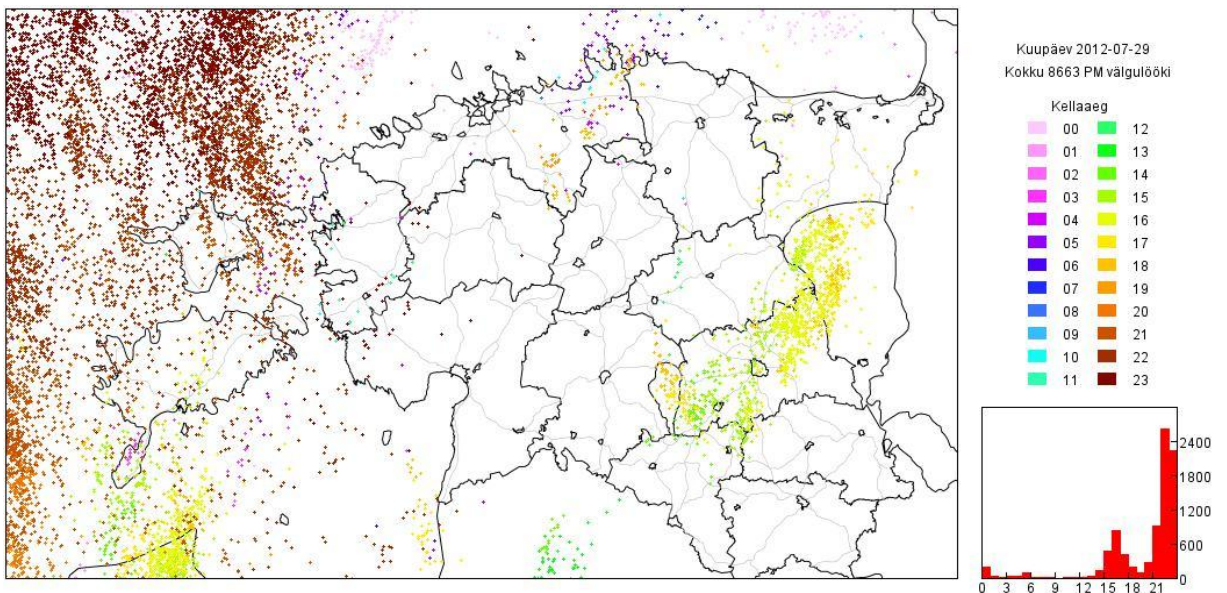
**Lisa 5.** Välgulöökide arvukuse poolest teine torm Eesti piirkonnas 2005–2013 (8.–9. augustil 2013). Välgulöökide esinemised on värvitud vastavalt kellaaajale.



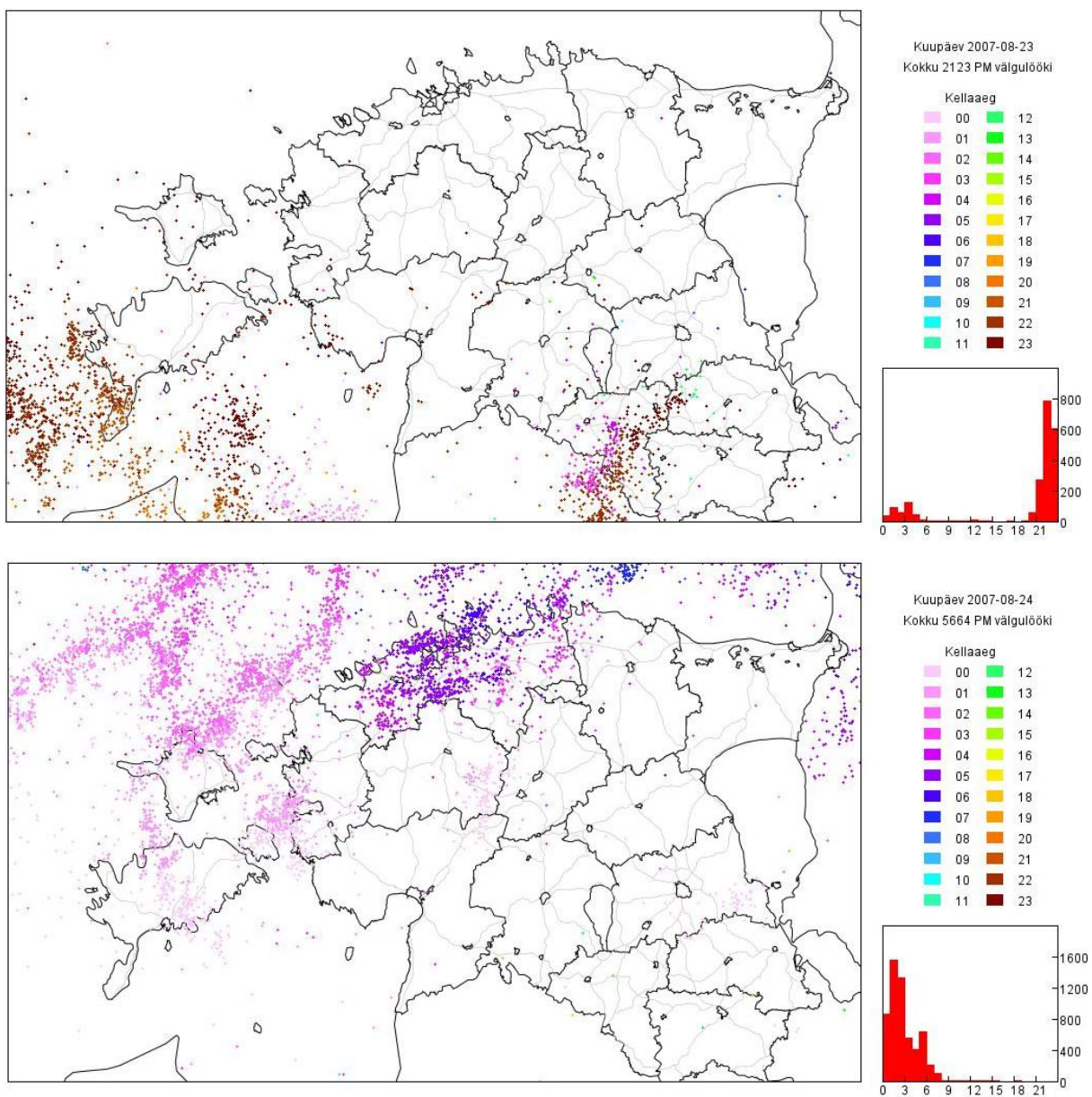
**Lisa 6.** Välgulöökide arvukuse poolest kolmas torm Eesti piirkonnas 2005–2013 (27. juulil 2011). Välgulöökide esinemised on värvitud vastavalt kellaaajale.



**Lisa 7.** Välgulöökide arvukuse poolest neljas torm Eesti piirkonnas 2005–2013 (29. juulil 2012). Välgulöökide esinemised on värvitud vastavalt kellaaajale.



**Lisa 8.** Välgulöökide arvukuse poolest viies torm Eesti piirkonnas 2005–2013 (23.–24. augustil 2007). Välgulöökide esinemised on värvitud vastavalt kellaajale.



## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Laura Eiber, (sünnikuupäev 07.05.1991)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Välgulöökide klimatoloogia ja arvukuse seos tsirkulatsioonitüüpidega Eestis 2005-2013, mille juhendaja on Sven-Erik Enno,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus **19.05.2014**