

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

Ohtlikud ilmanähtused Eestis 1997–2019

Kairo Kiitsak

Juhendajad: Sven-Erik Enno

Jaak Jaagus

Tartu 2020

Annotatsioon

Ohtlikud ilmanähtused Eestis 1997–2019

Käesoleva bakalaureusetöö peamine eesmärk on koostada võimalikult täielik ja põhjalik andmestik ohtlikest ilmanähtustest Eestis perioodil 1997–2019 ja neid andmeid kasutades uurida,. Uurimuse aluseks on Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrgu andmed välgukahjustuste, tornaadode, vesipükside, paduvihmade, rahe, tormituule ning pagide kohta. Töös leiti, et ohtlike ilmanähtusi esineb kõige sagedamini soojal poolaastal ja enamasti pärastlõunal ning õhtul. Sageduselt tuvastati enim pagi ja tormituule juhtumeid. Ohtlike ilmanähtustega seotud uuringuid on Eestis vähe ning arvestades, et kliima soojeneb, on kindlasti oluline pöörata nende nendele suuremat tähelepanu.

Märksõnad: ohtlikud ilmanähtused, konvektiivsed tormid

CERC kood: P510 - füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

Abstract

Severe weather phenomena in Estonia during 1997–2019

The first aim of this Bachelor thesis is to compile a comprehensive and exhaustive database of severe weather phenomena in Estonia during 1997–2019. The second aim is to use this database to investigate the frequency, patial and temporal distribution of severe weather phenomena in Estonia. The study bases on Estonian Thunderstorm Observers Network data which contains reports of damaging lightning, tornadoes, waterspouts, heavy rain, hail and severe wind. It was found that severe weather phenomena usually occur during the warm season and mainly in the afternoon and evening hours. Most severe weather reports were associated with straight line winds and cyclonic storms. This is the first comprehensive study on the climatology of severe weather phenomena in Estonia and it provides a lot of new information that is useful in the context of warming climate.

Keywords: severe weather, convective storms

CERC code: P510 - Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Teoreetiline ülevaade	6
1.1 Ohtlikud ilmanähtused	6
1.1.1 Äike	6
1.1.2 Välgu olemus ja selle ohud	6
1.1.3 Äikese liigid	7
1.1.4 Tormituul ja pagi	9
1.1.5 Tornaadod ja vesipüksid	11
1.1.6 Rahe	12
1.1.7 Paduvihm	13
1.2 Ohtlike nähtuste uuringud Euroopas	14
1.3 Ohtlike nähtuste uurimine Eestis	16
2. Andmed ja metoodika	19
2.1 Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrk ja selle andmed	19
2.2 ATDnet välgudetektorite võrgustik	22
3. Tulemused ja arutelu	25
3.1 Välgukahjustused	25
3.1.1 Välgukahjustuste ruumiline jaotus	25
3.2 ATDnet-i välgulöökide võrdlus välgukahjustustega	26
3.3 Tormituul ja pagid	29
3.3.1 Tormituule ja pagide ruumiline jaotus	30
3.3.2 Tormituule ja pagide sesoonne ning ööpäevane jaotus	30
3.4 Vesipüksid ja tornaadod	32
3.4.1 Vesipükside ja tornaadode ruumiline jaotus	32
3.4.2 Vesipükside ja tornaadode sesoonne ning ööpäevane jaotus	33
3.5 Rahe	34
3.5.1. Rahe ruumiline jaotus	35
3.5.2 Rahe sesoonne ja ööpäevane jaotus	36

3.5.3 Raheterade suurus	37
3.6 Paduvihm	38
3.6.1 Paduvihmade ruumiline ja sesoonne jaotus	38
Kokkuvõte	40
Summary	42
Tänuavaldused	44
Kasutatud kirjandus	45
Lisa 1	52

Sissejuhatus

Ilmastik on oma olemuselt väga muutlik ja see mõjutab nii loodust, ühiskonda tervikuna kui ka iga üksikisiku elutegevust. Kliimatingimused on alati muutunud ja muutuvad ka tulevikus. Ilmast sõltuvad väga paljud eluvaldkonnad, nagu näiteks põllumajandus, lennundus, merendus jpt. Suurt majanduslikku ja sotsiaalset kahju põhjustavad enim just ohtlikud ilmanähtused, mis ohustavad nii inimest kui ka loodust ja võivad mõnikord kaasa tuua väga tõsiseid tagajärgi (Papagiannaki *et al.* 2013). Nende alla kuulub terve hulk atmosfäärinähtusi: äike, rahe, tugevad vihmajärgid, tormituuled, pagid, tornaadod ja vesipüksid.

Selleks, et osata ohtlikke ilmanähtusi tulevikus paremini ennetada ja nende tagajärgi leevendada, on vaja neid üksikasjalikumalt uurida. Eriti tähtis on see just praegusel ajal, mil kliima soojeneb. Eestis on hinnatud aasta keskmise õhutemperatuuri tõusuks 20. sajandi teises pooles 1–1,5 kraadi, sealjuures kevadkuude (märts, aprill, mai) arvelt on olnud tõus enam kui kaks kraadi (Jaagus, 2003; 2006). Prognooside kohaselt võib globaalne soojenemine põhjustada Euroopas suuremat sademete intensiivsust ja pikemaid kuivaperioode. Tugevate sadude intensiivsus suvel ja talvel on Põhja- ja Kirde-Euroopas juba alates 1960. aastatest suurenenud (EEA, 2019).

Tulevikus, mil kliima on tõenäoliselt soojem, võib äikese üldine esinemissagedus mõnevõrra väheneda, kuid senisest enam võib ette tulla võimsaid (tugevaid) äikesetorme, mis võivad suurendada välkude koguarvu 10% iga kraadi globaalse keskmise temperatuuri tõusu kohta (Price, 2009). Tulevikustsenaariumid äikesekliima osas on siiski väga erinevad ja tegelikult on ohtlike nähtustega juhtuvas veel palju ebaselgust (Finney *et al.* 2018).

Eriti pakub huvi kliimamuutuste mõju ohtlike nähtuste esinemissagedusele. Eelduste kohaselt mõjutavad 21. sajandi kliimamuutused üha rohkem atmosfääri õhuniiskust, stabiilsust, dünaamikat ja temperatuurirežiimi (Collins *et al.* 2013). Isegi väikesed muutused globaalses keskmises temperatuuris võivad mõjutada märkimisväärselt ekstreemsete ilmanähtuste esinemise sagedust (Rosenzweig *et al.* 2001).

Ohtlike nähtuste sagedusega toimuva mõistmiseks on vaja luua võimalikult täielik andmebaas ja seda kliimaatilist analüüsida. Tänapäeval pole paljudes riikides, kaasa arvatud Eestis, sellist andmebaasi veel loodud, aga see on ohtlike nähtuste uurimise seisukohalt kindlasti vajalik.

Sellest lähtuvalt on käesoleval bakalaureusetööl kaks eesmärki. Esiteks on vaja koostada võimalikult põhjalik ja ammendav andmestik ohtlikest ilmanähtustest perioodil 1997–2019 ning neid andmeid kasutades analüüsida ohtlike ilmanähtuste ajalis-ruumilist muutlikkust Eestis. Töö teine suurem eesmärk on hiljem nende nähtuste kättesaadavaks tegemine Euroopa

ohtlike ilmanähtuste andmebaasis (*European Severe Weather Database* ehk ESWD) ja selle kaudu kogu maailma teadlastele, kes saavad hiljem selle töö raames kogutud andmeid kasutada.

Antud bakalaureusetöö käigus otsiti vastuseid järgmistele küsimustele:

1. Millised ohtlikud ilmanähtused on Eestis suurima esinemissagedusega?
2. Kuidas need nähtused on jaotunud Eesti territooriumil?
3. Kuidas on ohtlikud nähtused jaotunud aastaajaliselt ja ööpäeva lõikes?

1. Teoreetiline ülevaade

1.1 Ohtlikud ilmanähtused

1.1.1 Äike

Äike on võimas, ohtlik ja üks enim kahjustusi põhjustav loodusnähtus. Kõige lihtsama definitsiooni kohaselt on äike elektrilahendus, mis esineb rünksajupilve eri osade või pilve ja maa vahel (Tammets, 2012). Äikese täpsema käsitluse puhul saab rääkida rünksajupilvedest, millega on seotud mitmeid nähtusi sademetest ja tuulest kuni elektriliste ilminguteni – see on üks suur nähtuste kompleks. Intensiivne õhuringlus äikesepilves võib põhjustada ka muid atmosfäärinähtusi, nagu näiteks pagituuli, tugevaid vihmasid, hiidrahet, tornaadosid ja vesipükse, mis kõik on reaalseks ohuks ühiskonnale (Papagiannaki *et al.* 2013).

1.1.2 Välgu olemus ja selle ohud

Välg kujutab endast võimast sädelahendust atmosfääris. Selle teke on seotud vastandmargiliste elektrilaengutega, mille omandavad erinevad pilveosakesed (Põiklik, 1964). Enamasti saavad veepiisad ja kogu rünksajupilve alumine osa negatiivse elektrilaengu ning jääkristallid ning pilve ülemine osa positiivse elektrilaengu. Selle tulemusena moodustub vastandmargiliste laengutega pilveosade vahele elektrivälgi. Pilve arengu käigus toimub samaaegselt üha suurema elektrilaengu kogunemine pilve üla- ja alaossa ning seeläbi suureneb elektrivälja tugevus. Ühel hetkel ületatakse õhu elektritakistus ja tekibki välgulöök (Enno, 2019a).

Välgulööke võib esineda pilvede vahel, pilve ja maapinna vahel või ka pilvede ja neid ümbritseva õhu vahel. Välgud jagunevad peamiselt kaheks: pilvevälgud ja pilv-maa välgud (MacGorman ja Nielson, 1991). Pilvevälgud jagunevad omakorda pilvesisesteks, pilv-õhk- ning pilv-pilv välkudeks. Üldiselt on pilvevälke rohkem kui pilv-maa välke. Pilvevälgud moodustava umbes 70-80% kõigist registreeritud välkudest ja pilv-maa välgud 25-30% (Pinto *et al.* 2003; Chilingarian *et al.* 2017). Ühe välgu kestuseks on hinnatud tavaliselt 0,2 sekundit (Põiklik, 1964). Temperatuur välgukanalis võib küündida üle 25 000 kraadi Celsiuse skaala järgi (NSW, 2020a) ja voolutugevus kuni 200 000 amprit või isegi rohkem (Enno, 2019a).

Ligikaudu 78% kõigist maakeral esinevatest välkudest registreeritakse troopikas vahemikus 30° S ja 30° N (Christian *et al.* 2003). Mõistagi on välg ohuks nii inimesele kui ka loodusele. Erinevate hinnangute kohaselt hukub maailmas igal aastal välgutabamustes 6000– 24 000 inimest ja umbes kümme korda rohkem saab vigastada (Cardoso *et al.* 2011; Holle ja López, 2003). Palju juhtumeid leiab aset just arengumaades, kuid seal ei dokumenteerita neid piisavalt ja seetõttu pole ka täpne arv teada. Välg võib kahjustada mitmesuguseid objekte, nagu näiteks

puid, hooneid, elektri- ja sideliini, laevu, lennukaid jms. Välguohvriks võivad sattuda ka loomad.

1.1.3 Äikese liigid

Äikeseid liigitatakse tänapäeval kahel viisil: esimene lähtub sünoptilisest olukorrast ja teine äikesepilve ehitusest. Kui võtta aluseks struktuur, siis kõige tavalisem tüüp on lihtäikesepilv ning ülejäänuid on võimalik käsitleda kui lihtäikesepilvede variatsioone või kogumeid (Enno, 2019a).

Lihtäikesepilvega (*single cell*) seotud äike on üldiselt nõrk ja kestab lühikest aega, kuid võib põhjustada lühiajalisi tugevaid vihmavalanguid, rahet ja tugevaid tuuleiile. See tekib enamasti pärastlõunal aluspinna tugeva soojenemise käigus ja hääbub keskmiselt umbes tunni aja jooksul. Lihtäikesepilv (*multicell*) on märksa tugevam, ulatuslikum, pikema elueaga (võib kesta mitu tundi) mitmest lihtäikesepilvest koosnev kogum. See võib põhjustada hiidrahet, tugevaid tuuleiile, lühiajalisi tornaadosid ja välistatud pole isegi lokaalsed üleujutused (NSW, 2020a).

Üliäikesepilv (*supercell*) on kõige võimsam ja pika elueaga (kestab üldjuhul mitmeid tunde) äikesesüsteem, mis on hästi organiseerunud ning mis sisaldab endas mesotsüklonit (*mesocyclone*) – spiraalselt kallutatud pöörlevat tõusva õhu sammast. Mesotsüklon on tavaliselt 2–10 km lai, mõnikord võib olla isegi 16 km lai ja 15 km kõrge (AMS Glossary, 2012a). Üliäikesepilved põhjustavad sageli rohkelt välgulööke, väga tugevaid puhangulisi tuuleiile, hiidrahet, suuri üleujutusi ja nendega käivad käsikäes ka kõige laastavamad tornaadod (NSW, 2020a).

Lisaks on veel konvektiivsüsteemid (*mesoscale convective systems* ehk MCS), mis oma olemuselt on võimsad ja ulatuslikud äikesepilvede kogumid – nende alla kuuluvad näiteks pagiliinid ja hiidpagid. Sellised äikesed võivad haarata enda alla Eesti pindalaga võrreldava territooriumi ja kesta rohkem kui 12 tundi (NSW, 2020a).

Pagiliin (*squall line*) kujutab endast lineaarselt orienteeritud äikeseliini, mis võib põhjustada palju välke, tugevaid pagisid ja tugevat vihma. Ohuks on ka hiidrahe ja tornaadod. Pagiliine iseloomustab äkilisus ja suur liikumiskiirus. Lisaks on need äikesed väga ulatuslikud, küündides horisontaalselt mõnikord sadadesse või isegi tuhandetesse kilomeetritesse (NSW, a). Näiteks 3. oktoobril 2014 oli ühe pagiliini pikkus Ameerika Ühendriikides ligi 2000 km (The Vane – Gawker).

Hiidpagi (*derecho*) on samuti üks konvektiivsüsteemide erinähtusi, mis liigub tavaliselt kiiresti frondina edasi ja selle süsteemi esiosa võib olla sirge või kaarjas (radaripildil esineb sageli vibukujuline/kaarekujuline kaja). Inglise keeles on selle jaoks isegi vastav termin: „*bow echo*“. Tugeva kaarkaja korral on oht kõige tugevamateks puhanguteks äikeseliini keskosas, kus

rünksajupilvede liikumine on kõige kiirem. Kaarkaja otste-katkete ümbruses pole välistatud ka lühiajaliste tornaadode esinemine (NSW, 2020a).

Tänapäeva definitsioon on tuletatud Johnsi ja Hirti poolt (1987), kes määratlesid hiidpigi sündmuste tuvastamiseks vastavad kriteeriumid. Need on järgmised:

- Tuule poolt tekitatud kahjustuste või pagituulte (puhangud >25 m/s) pikem telg peab olema vähemalt 400 km pikk
- Jälgitav peab olema kahjustuste või pagituulte ajaline järgnevus, mitte juhuslik esinemine;
- Tormi alal peab olema vähemalt kolm punkti (distsants vähemalt 64 km või rohkem) tuuleiilidega vähemalt 33 m/s või siis EF1 tornaadole vastavad kahjustused (Fujita-Pearsoni skaala alusel tuule kiirus 33–50 m/s) ;
- Järjestikuste tuulekahjustuste vahe peab jääma alla 3 tunni;
- Tuulest tingitud kahjustused peavad olema seotud sama konvektiivsüsteemiga.

Sünoptilise klassifikatsiooni kohaselt jaguneb äike enamasti kaheks: frontaalseks ja õhumassisiseseks. Õhumassisisesed ehk lokaalsed äikesed tekivad õhu vertikaalse tõusu tagajärjel õhumassi sees. Selleks peab olema aluspind tugevalt soojenenud, õhumass maapinnalähedastes õhukihtides niiske ja soe. Lisaks on vajalik labiilne ehk ebapüsiv õhukihistus, et õhu vertikaalne tõus oleks võimalatud. Õhumassisese äikese teke on soodustatud näiteks olukorras, kus õhutemperatuur küündib aluspinna lähedal üle 20 kraadi ja õhutemperatuur langeb tõustes 0,75 kraadi või rohkem iga 100 m kohta ja kastepunkt on rohkem kui 15 kraadi. Kastepunkt tähendab õhutemperatuuri, mil jahtumise käigus hakkab õhus olev veeaur kondenseeruma, kuna õhk on veeaurust küllastunud (Tammets, 2012).

Frondiäikest ehk frontaaläikest kohtab kõige sagedamini sooja aastaajal, kuid seda esineb isegi varakevadel, hilissügisel ja südatalvel. Frondiäikeseid on mitmesuguseid, need võivad olla seotud külma frondiga, sooja frondiga, oklusioonifrondiga ja statsionaarse frondiga. Kõige tüüpilisem on siiski külma frondi äike, mille teke on seotud sooja õhu tõusuga külma õhu survele. Sooja frondi äikest esineb harvemini. Selline äike tekib enamasti sooja õhumassi pealetungi käigus ja on kõige tugevam just öisel ajal, sest siis toimub pilvede ülemise pinna jahtumine, mistõttu suureneb temperatuuri vertikaalne gradient ja kujunevad välja vertikaalsed õhuvoolud (Tammets, 2012; Enno, 2019a).

Mida suurem on õhumasside tiheduse erinevus (see tuleneb temperatuurist ja niiskusest), mida kiiremini front liigub ja mida suurem on tõusvas õhumassis niiskussisaldus, seda tugevam võib olla frondiäike. Kõige paremad on tingimused äikese tekkeks külma frondi ees soojas õhumassis kui esineb ebapüsivusjoon (tähistab mõttelist piiri, kus ühel pool on õhk niiskem kui teisel pool ning temperatuur ei muutu; esineb tavaliselt külma frondi ees, sellega paralleelselt).

Frontaaläikesed võivad ulatuda horisontaalselt sadadesse või isegi tuhandetesse kilomeetritesse (Tammets, 2012; Enno, 2019a).

Statsionaarne ehk liikumatu front tekib siis, kui soe või külm front jääb paigale püsima. See võib juhtuda olukorras, kus kaks erinevat õhumassi suruvad tugevasti üksteise vastu, kuid kumbki pole teise liigutamiseks piisavalt võimas (UCAR, 2019). Olukorras, kus õhumass on labiilne, kuum ja niiske ning frondil esineb suur temperatuurierinevus, võib seal toimuda pidev äikeste teke. Äikesed ise võivad olla seejuures väheliikuvad (Enno, 2019a).

Oklusioonifront on front, kus külm ja soe front on liitunud. Külm front liigub soojast frondist kiiremini ja kui see jõuab talle järele, siis toimub frontide ühinemine ja sooja sektori sulgumine. Frontidevaheline soe õhk surutakse vertikaalselt kõrgematesse õhukihtidesse. Liitunud frondil võivad olla nii sooja kui ka külma frondi tunnused, kuid sagedamini on äike seotud külma tüüpi oklusioonifrondiga. Selline äike võib ka tugev olla, põhjustada intensiivset sadu ja tugevaid pagisid (UCAR, 2019; Enno, 2019a).

1.1.4 Tormituul ja pagi

Oluline on eristada termineid „tormituul“ ja „pagi“. Rahvusvahelise leppe kohaselt tuleks tormist rääkida siis, kui tuule keskmine kiirus ulatub 21 m/s ja üle selle. Niisugune tuul võib olla tingitud tsüklonist ja haarata suure maa-ala või tekkida rünksajupilves, mõjutades vaid selle lähiümbrust. Tormituul võib murda puid, tekitada kahjustusi hoonetele ja langetada elektriliine (Riigi Ilmateenistus, 2019a).

Tuule lühiajalist äkilist tugevnemist äikesepilve all või selle läheduses tuntakse pagi nime all. Selle korral puhub tuul ühest suunast või muutub selle suund vaid vähesel määral (Enno, 2019). Näiteks 12. augustil 2017 mõõdeti Osmussaarel äikese ajal pagi tugevuseks 38,2 m/s (Riigi Ilmateenistus, 2019b).

Pagi tekkeks on vajalikud tugevad tõusvad ja laskuvad õhuvoolud äikesepilves. Sageli kujuneb välja maapinnalähedases paari kilomeetri paksuses õhukihis äikesepilve ees madalama õhurõhuga ala ja selle keskmes ning tagaosas kõrgema õhurõhuga ala. Õhurõhu erinevuste tõttu tekivad pilve all ja selle lähiümbruses tugevad tuuled. Pagisid võib võimendada ka suur tuulekiirus troposfääri kesk- ning ülaosas, kust tõmmatakse äikesepilve ümbritsevat õhku, millel võib juba olla arvestatav horisontaalne liikumiskiirus (kümneid meetreid sekundis). Pagi ülemineku ajal üldiselt õhurõhk tõuseb järsult ja tihti kaasneb temperatuuri langus (Enno, 2019a).

Eriti ohtliku pagiga on tegemist siis, kui tuule kiirus on vähemalt 25 m/s või küündib üle selle. Kaasneda võivad ka purustused asulates või metsades (Riigi Ilmateenistus, 2019c). Lisaks võivad pagid lühikese aja vältel räsida metsi ja lõhkuda hooneid ulatuslikul alal. Tihtipeale ajavad inimesed pagituult segamini tornaadoga. Kõige paremini saab pagituult tornaadost eristada kahjustuste põhjal: kui metsas on puud ühes suunas maha langenud, siis see viitab pagile, aga tornaado puhul oleksid puud maha langenud hoopis risti-rästi (Enno, 2019a).

Pagide puhul võib eristada veel selliseid nähtusi nagu makropuhe (*macroburst*) ja mikropuhe (*microburst*). Need on üsna uued terminid tänapäeva meteoroloogias ja Eestis vähe levinud. Makropuhe on äkiline tugev tuul maapinnal või selle läheduses, hõlmates rohkem kui 4 km suurust maa-ala (horisontaalmõõdtes) ja see ilmneb, kui tugev laskuv õhuvool sööstab järsku äikesepilvest vastu aluspinda. Seda protsessi aitab visualiseerida üks lihtne näide: kraani lahti keeramisel hakkab vesi sellest välja voolama (veesammas on laskuv õhuvool) ja kui see tabab suure hooga kraanikausi põhja, siis sel hetkel lendavad veepritsmed kiiresti laiali (vallandub tugev tuul ehk see ongi makropuhe). Sellised tuuled võivad alguse saada väiksema maa-ala kohal ja laieneda seejärel laiemale alale, põhjustas mõnikord tornaadole sarnaseid kahjustusi (NSW, 2020a).

Mikropuhe on samuti äkiline tugev tuul maapinnal või selle läheduses, kuid hõlmab väiksemat kui 4 km suurust maa-ala ja kestab lühemat aega (umbes 5–10 minutit). Maksimaalsed tuuleiilid võivad küündida üle 40 m/s, mis on samaväärne EF1 tornaadoga. Mikropuhe omakorda jaguneb kaheks: kuiv ja märg (NSW, 2020b). Kuiv mikropuhe (*dry microburst*) tähendab seda, et laskuvas õhuvoolus jõuab maapinnale ühes väga tugeva tuulega vähesel määral või üldse mitte sademeid - suur osa nendest aurustub (Theweatherprediction). Märg mikropuhe (*wet microburst*) tähendab seda, et lisaks tugevatele tuuleiilidele kaasneb ka tugev vihmasedu (NWS, 2020a).

Sellised allapuhked (*downbursts*), olgu see siis makro- või mikropuhe, on tõsiseks ohuks lennuliiklusele. Kõige rohkem ohustavad need õhusõidukeid madalamatel kõrgustel, eriti õhkuõusmisel või maandumisel. Olukorras, kus lennuk läheneb allapuhkele, hakkab seda kõigepealt mõjutama tugev vastutuul, mis võib suurendada oluliselt piloodi kabiinis näidatud õhukiirust. Kui proovitakse läheneda kohale, kus esineb parajasti allapuue, fikseeritud kiirusega, võib piloodil tekkida kiusatust võimsust vähendada. See oleks väga ohtlik, sest kui lennuk lendab läbi selle osa, kus esineb tugev allapuue, muutub tuul järsku taganttuuleks ning näidatud õhukiirus ja lennuki kandevõime vähenevad. Märkimisväärne õhujõud allapoole võib olla piisav, et põhjustada oluliselt lennukõrguse vähenemist või kukutada järsku lennuk maapinnale (SKYbray).

1.1.5 Tornaadod ja vesipüksid

Tornaado ehk keeristorm ehk tromb on mõne meetrise kuni mitme kilomeetrise läbimõõduga võimas õhupööris, mis kujuneb välja rünksajupilve ja maapinna vahel. Kui õhupööris ei ulatu maapinnani, vaid lõpeb kõrgemal, on korrektne nimetada seda lehterpilveks (*funnel cloud*) (Enno, 2019a).

Tornaadod põhjustavad väga tugevaid tuuli. Tuulekiirused võivad küündida kuni 140 meetrini sekundis. 2013. aastal mõõdeti Põhja-Ameerikas Oklahoma osariigis El Reno piirkonnas tornaado tuulte maksimaalseks kiiruseks 150 m/s, mis on uus teadaolev rekord (Wurman *et al.* 2014). Tornaado laastamistöö on enamasti põhjalik ja kiire. Eluiga on neil väga erinev: tornaado kestus ulatub alates mõnest sekundist kuni paari või isegi mõnekümne minutini (vahel veelgi kauem). Senine teadaoleva rekord pärineb 18. märtsist 1925, mil Ameerika Ühendriikide kolme osariiki (Kagu-Missouri, Lõuna-Illinois ja Edela-Indiana) läbis laastav F5 tornaado, mis kestis üle 3 tunni ja tappis ligi 700 inimest (Maddox *et al.* 2013).

Tornaadod võivad läbida kilomeetreid ja põhjustada lühikese aja jooksul suuri kahjustusi, hävitades kõik, mis teele jääb. Selle konkreetse USA juhtumi puhul mõõdeti kahjustuste vööndi pikkuseks lausa 352 km (Maddox *et al.* 2013). Tornaado purustuse vöönd on üldiselt kitsas ja selgemalt piiritletud ning kahjustused kipuvad olema palju suuremad kui pagi korral (Enno, 2019a).

Tornaadod jagunevad kaheks: mesotsükloonaalseteks ja mittemesotsükloonaalseteks (AMS Glossary, 2012a,b). Mesotsükloonaalsed tornaadod on tavaliselt tugevamad ja saavad alguse üliäikesepilvedes paiknevast mesotsüklonist. Mittemesotsükloonaalsed tornaadod on seevastu nõrgemad, väiksemad, saavad alguse piirkihist ja nende eluiga on tunduvalt lühem. Nende tekkeks piisab ka äikeseta rünksajupilvest või võimsast rünkpilvest. Mittemesotsükloonaalse tornaado tekke korral on oluline, et esineks järsk tuulesuuna muutus pilve alla jäävas õhukihis, sest kui eri suunaga tuuled puutuvad kokku, tekivad nõrgad keerised. Kui esineb konvektsioon, hakkavad tõusvad õhuvoolud keerist pilve suunas venitama. Keerise horisontaalse läbimõõdu vähenemine põhjustab pöörlemiskiiruse kasvu ja võib põhjustada tornaado tekke (Enno, 2019a).

Olgugi et Eesti asub ilmastiku poolest suhteliselt ohutus piirkonnas, võib ka meil esineda laastavaid tornaadosid. Eestiga seotud dokumenteeritud tornaadojuhtumid ulatuvad tagasi 18. sajandisse (Kallis, Tarand, 2017).

Vesipüks (*waterspout*) on lühidalt öeldes tornaado, mis areneb veepinna kohal (AMS Glossary, 2012c). Vesipüks ei koosne ainult õhust, vaid ka veest, mis on merepinnalt üles imetud. Eestis esineb kõige rohkem vesipükse alates juulist kuni septembrini lõpuni, sest selleks ajaks on merevesi jõudnud üles soojeneda ja tingimused konvektsiooniks mere kohal on head. Enamasti

on vesipüksid ohutud, mittemesotsükloonaalse päritoluga ja kaovad maapinna kohale jõudes kiirelt. Kõige suuremat ohtu avaldavad need väiksematele paatidele ja suurtele laevadele. Mesotsüklonist arenenud vesipüks on sama ohtlik kui klassikaline tornaado. Selline vesipüks ei nõrgene maabumisel, vaid võib isegi tugevamaks muutuda (Tarand jt. 2013).

1.1.6 Rahe

Rahe on tahkete sademete liik, mida põhjustavad rünksajupilved. Kõige rohkem esineb rahet soojal poolaastal, kui on ka äikest. Raheterad on jäised ning vähemalt 0,5 cm läbimõõduga (kui on väiksemad, siis on tegu enamasti jääkruupide või peenrahega). Kujult on väiksemad raheterad tavaliselt kerakujulised ja mõnikord läbipaistvad. Suuremad võivad olla isegi ogalised, läbipaistmatud, kihilise ehitusega, lapikud ja korrapäratu kujuga (Enno, 2019a).

Rahe tekib enamasti kolme peamise atmosfääriteguri koosmõjul. Esiteks on vaja labiilset õhukihistust, et konvektsiooni mõjul saaksid tekkida rünksajupilved, milles omakorda kujunevad välja tugevad tõusvad ja laskuvad õhuvoolud. Teiseks on oluline see, et madalamates õhukihtides oleks rohkelt niiskust – vesi on oluline energia ülekandja maapinnalähedalt arenevasse pilve. Kolmas vajalik komponent on tugev tuulenihe, mis võimendaks tõusvaid õhuvoolu, andes neile suurema kiiruse. Mõnikord on abiks ka muud dünaamilised mehhanismid, mis võivad aidata kaasa stabiilse õhukihistuse lõhkumisele, nagu näiteks õhuvool mäestike kohal (Bal *et al.* 2014). Need komponendid pole ainult rahele omased, vaid kehtivad ka tugevamate äikeste korral.

Rünksajupilved sisaldavad endas tohutul hulgal energiat tõusvate ja laskuvate õhuvoolude näol. Tõusvate õhuvoolude kiirus võib küündida kohati üle 50 m/s. Mida võimsamad on tõusvad õhuvoolud, seda suuremad võivad ka raheterad olla. Rahe kasvab pilvesüsteemi peamises tõusvate õhuvoolude osas, kus suurem osa pilvest koosneb alajahtunud veepiiskadest. See on vesi, mis säilitab oma vedela oleku hoolimata sellest, et temperatuur on suurtel kõrgustel nullkraadist madalam. Alajahtunud veepiisk omakorda vajab midagi, mille peal külmuda. Selleks sobivad näiteks pilves eksisteerivad jääkristallid, külmunud veepiisad, tolm või vahel isegi ookeanist pärinev sool. Kokkupõrke korral saavad veepiisad nende külge külmuda, põhjustades uute raheterade teket või muutes suuremaks juba neid, mis on varem moodustunud. Kui raheterad hakkavad pilvest alla laskuma, siis võivad nad sattuda mõnda teise tõusvasse õhuvoolu, mis kannab nad uuesti niiskes õhus üles ja seeläbi võib rahe diameeter veel suuremaks kasvada. Ühel hetkel muutub rahe juba nii raskeks, et tõusvad õhuvoolud ei suuda seda enam õhus kanda ja see langeb väga suurel kiirusel (kuni 40 m/s või rohkemgi) maapinnale (Bal *et al.* 2014).

Alati ei pruugi äikesepilvedes tekkiv rahe maapinnani jõuda, sest see võib enne uuesti üles sulada maapinnalähedases väga soojas õhukihis ja muutuda lihtsalt veepiiskadeks. See on ka

ilmselt üks põhjus, miks soojema kliima äikesesüsteemid põhjustavad rahet harvemini. Parasvöötmes seevastu on rahetormide poolt tekitatud kahjustused saagenenud (Bal *et al.* 2014).

Kui rahe diameeter küündib juba kahe sentimeetrini või üle selle, loetakse seda ohtlikuks nähtuseks. Selline rahe võib avaldada suurt negatiivset mõju põllumajandusele (Changon *et al.* 2009). Hiidrahest räägitakse siis, kui rahe diameeter ulatub vähemalt viie sentimeetrini või üle selle – sellisel juhul on rahe eriti ohtlik. Rohkem kui 5 cm läbimõõduga rahet põhjustavad sagedamini organiseerunud äikesesüsteemid, nagu nt üliäikesepilved (Blair *et al.* 2017). Kõigi aegade suurim rahetera, mis sadas taevast alla 23. juuli õhtutundidel 2010, on mõõdetud Ameerika Ühendriikides Lõuna-Dakota osariigis väikeses Viviani asulas. Selle läbimõõt oli 20 cm (suurem kui bowlingu kuul) ja kaal 0,9 kg (NWS, 2020b). Hiidrahe kujutab eelkõige ohtu loodusele, inimestele ja nende varale. Suured rahetormid võivad põhjustada tõsiseid kaotusi ja majanduslikku kahju infrastruktuurile (Wapler, 2017). Piisab vaid ühest laastavast rahetormist tihedalt asutatud piirkonnas ja kahjude suurus võib küündida halvimal juhul miljonitesse või isegi miljarditesse eurodesse.

1.1.7 Paduvihm

Paduvihmaga on tegu juhul kui sadu põhjustab üleujutusi ja kahjustusi või näitavad mõõtmistulemused, et akumulatsioon sajuhulk on konkreetsele piirkonnale erakordselt suur (ESSL).

Kõige intensiivsemad vihmahood ja sellest tulenevad probleemid tuleneva äikesepilvedest. Paduvihmaga seotud juhtumite puhul on leitud varasemates uurimistöodes palju sarnaseid tunnuseid. Järgnevalt on mõned välja toodud: maapinna lähedal esines kõrge kastepunktitemperatuur, niiskusesisaldus troposfääris oli suur ja esines nõrk või mõõdukas tuulenihe. Paljudel juhtudel oligi tugev sadu seotud just äikesetormidega (Schumacher, 2017).

Mõnikord on sünoptiline olukord selline, mille korral on äikesepilved väheliikuvad või hoopis paigal seisvad (tüüpiline just õhumassisistestele äikestele). Sellisel juhul võib tugev vihmasedu tunde kesta ning üleujutused on väga tõenäolised, sest saju pikem ajaline kestus tähendab suuremat summaarset sajuhulka (Enno, 2019a).

Euroopa ohtlike ilmanähtuste laboratoorium (ESSL), on aluseks võtnud Wussowi (1922) ja Nachtnebeli (2003) poolt välja arendatud äärmuslike sademete kriteeriumi, mille kohaselt perioodil t [minutites] langenud sademete hulk P [mm] peab olema:

$$P \geq 2\sqrt{(5 t)}$$

ESSL-i poolt juurde lisatud tingimus on, et $1/2 \text{ h} < t < 24 \text{ h}$ (ESSL). Kui nimetatud kriteeriumid on täidetud, siis on sobilik rääkida paduvihmast.

Riigi Ilmateenistuse definitsiooni kohaselt on tegu eriti ohtliku vihmajuga siis, kui tunniga akumulereerub vähemalt 30 mm või 12 tunni või lühema aja jooksul akumulereerub 50 mm vihma. Eesti ametlik rekord on mõõdetud 23. juulil 1957. aastal Jõgevamaa põhjaosas Toomal, kui minuti jooksul sadas taevast alla 3,6 mm vihmavett. Suurim ööpäevane sademete hulk on mõõdetud Saaremaal Metsaküla kandis 4. juulil 1972. Siis akumulereerus 148 mm vihmavett (Riigi Ilmateenistus, 2019d).

Tugevate sadude puhul mängib rolli ka piirkonna geograafilised iseärasused, eelkõige kohalik topograafia. Mõningate ekstreemsete vihmasadude peamiseks põhjuseks on niiske õhu tõus üle topograafilise tõkke – nt üle mäestiku. Niiske õhu liikumine mööda tuulepoolset mäekülge üles poole (nimetatakse ortograafiliseks tõusuks) kutsub esile kondenseerumise, mille tulemusena tekivad pilved ja sademed (Schumacher, 2017). Sellistes kohtades võib lühikese ajaga rohkelt sademeid akumulereeruda ja on tõsine oht üleujutusteks ning maaliheteks. Nii juhtuski näiteks Cherrapunji piirkonnas Indias, kus 48 tunniga (15.–16. juunil 1995) sadas 2493 mm vihma (Burt, 2014). Eestis mõjutab sademete jaotust ning hulka enim Läänemeri ja aluspinna kõrgus. Kõrgustikel ning merest umbes 10–60 km eemal sisemaal sajab üldiselt rohkem. Viimast nähtust tuntakse kui Lääne-Eesti sademete harjana, mis kulgeb Soomaa piirkonnast üle Raplamaa Harjumaani välja (Jaagus jt. 2010).

1.2 Ohtlike nähtuste uuringud Euroopas

Euroopas kogub ja esitab üksikasjalikku ning kvaliteedikontrollitud teavet ohtlike ilmanähtuste kohta Euroopa ohtlike ilmanähtuste laboratoorium (*European Severe Storms Laboratory* ehk ESSL), kellele kuulub Euroopa ohtlike ilmanähtuste andmebaas (*European Severe Weather Database* ehk ESWD). Koostöös oma partneritega, sealhulgas vabatahtlike vaatlejate, meteoroloogiateenistuste ja üldsusega, on kogutud juba kümneid tuhandeid raporteid (ESSL).

Klimatoloogilisest aspektist on äikese klimatoloogiat Euroopas tervikuna on uurinud Tszarek *et al.* (2019a). Perioodi 1979–2017 kohta leiti, et kõige rohkem äikesepäevi aastas on Vahemere rannikul ja mägi piirkondade kohal (Apenniini poolsaar, Aadria mere idarannik ja Alpide lõunanõlvad). Kesk-, Ida- ja Põhja-Euroopas on äikest enim juulis ja augustis. Lääne- ja Kagu-Euroopas on äikesemaksimum keskmiselt mais ja juunis, Pürenee poolsaare lääneosas ja Türgi idaosas aprillis ja mais. Tehti ka trendianalüüs, mis näitas, et keskmine aastane äikesepäevade arv alates 1979. aastast on oluliselt tõusnud Alpide, Kesk-, Ida- ja Kagu-Euroopa piirkonnas ja langenud Edela-Euroopas (Tszarek *et al.* 2019a). Sarnase uurimuse on läbi viinud ka Enno *et*

al. (2019b), kasutades välkude ajalis-ruumilise jaotuse uurimiseks ATDneti 2008–2017 andmeid. Leiti, et uuritaval perioodil oli Euroopas üle 148 miljoni välgulöögi ja keskmiselt 20–40 äikesepäeva aastas. Kõige rohkem äikesepäevi oli Türgi-Armeenia piiril ühel väikesel alal – lausa 87,6. Uuriti ka välgulöökide tihedust. Leiti, et Euroopas oli aastas keskmiselt 0,3–3 välgulööki/km², sealjuures maksimum oli lausa 7,8 välgulööki/km² Kirde-Itaalias.

Lätis on äikese pikaajalisi muutusi sageduses ja tugevuses uurinud Avotniece *et al.* (2017). Tööst selgus, et uuritaval perioodil 1960–2015 oli Lätis aastas keskmiselt 14–23 äikesepäeva (kõige vähem Läänemere ääres, enim riigi idaosas). Esile tõsteti ka aastate vahelist varieeruvust äikese osas ja seda, et alates 1960. aastast on äikesepäevade sagedus Lätis oluliselt langenud (Avotniece *et al.* 2017). Baltimaade äikesekliimat on põhjalikult uurinud ka Enno *et al.* (2013).

Poola äikesekliimat on uurinud Tazarek ja Czernecki (2015). Ajaperioodil 2002–2013 registreeriti Poola territooriumil kokku 4 328 892 pilv-maa välku. Tööst tuli välja, et äikesepäevade varieeruvus Poola lõikes oli suur – näiteks Läänemere ääres oli aastas keskmiselt 15–20 ja Karpaatide piirkonnas koguni 30–35 äikesepäeva (Tazarek ja Czernecki, 2015). Sarnasel teemal uurimistöid erinevate Euroopa riikide kohta leiab veelgi.

Konvektiivsüsteemidega seotud nähtusi, näiteks hiidpagide klimatoloogiat on uurinud Saksamaal Gatzen *et al.* (2019), kes võtsid vaatluse alla perioodil 1997–2014 esinenud 40 hiidpagi juhtumit, Belgias uuris kuut juhtumit Hamid (2012), Poolas uuris hiidpagisid Mysław ja Matuszko (2014), Tazarek *et al.* (2019b) jne.

Euroopa tornaadode klimatoloogiat on üksikasjalikult uurinud Kühne ja Groenemeijer (2014). Enamik nende andmestikust (8741 raportit 9529-st) pärines Euroopa ohtlike ilmanähtuste andmebaasist. Leiti, et tornaadosid on kõige rohkem täheldatud viimaste aastakümnete jooksul Kesk-Euroopas ja Lääne-Euroopas. Tornaadode tõttu hukkunute koguarv oli vähemalt 822, 10 tornado puhul küündis inimohvrite arv üle 20. Selgus, et igal aastal hukkub Euroopas keskmiselt 10–15 inimest (Kühne ja Groenemeijer, 2014).

Tornaadosid on uuritud ka Rumeenias (Antonescu, 2015) ja Poolas (Tazarek ja Gromadzki, 2017). Poola üks laastavamaid tornaadosid (F4/5 kategooria) esines 20. juulil 1931 ja läbis 20 km. Selle teele jäi ka Lublini linn, kus võimas õhupööris lõhkus hooneid, murdis puid ja tappis vähemalt 6 inimest (Tazarek ja Gromadzki, 2017). Soomes uuris perioodil 1796–2007 esinenud tornaadosid Rauhala *et al.* (2011), kasutades selleks vanadest ajalehtede arhiividest ning muudest ajalooarhiividest saadud andmeid. Värskem andmestik (perioodi 1997–2007 kohta) saadi Soome Ilmateenistusest. Tulemustest selgus, et pisut rohkem kui 200 aasta jooksul, on Soome pinnal dokumenteeritud vähemalt 298 tornaadojuhtumit – see hõlmab nii trombe kui ka vesipükse. Leiti, et igal aastal on Soomes keskmiselt 14 tornaadot (kaasaarvatud vesipüksid).

Vesipükside maksimumiks osutus august. Kõik dokumenteeritud juhtumid leidsid aset aprillist novembrini (Rauhala *et al.* 2011).

Hiirahe esinemissagedust ja selle sotsiaalseid ning majanduslikke mõjusid Euroopas on hiljuti uurinud Púčik *et al.* (2019), kasutades selleks ESWD ja Munich Re NatCatSERVICE andmeid. Kokku analüüsiti 39 537 kvaliteedikontrollist läbinud raheraportit. Täpsemalt uuriti hiirahe esinemissagedust ja selle sotsiaalseid ning majanduslikke mõjusid. Selgus, et kui rahe diameeter on 5 cm või suurem, siis katuste, akende ja sõidukitega seotud kahjustuste tõenäosus on suur. Põllukultuuride, puude ja kasvuhoonetega seotud kahjustuste korral oli rahe tavaliselt 2-3 cm läbimõõduga. Inimeste vigastustest teatati kõige sagedamini 4 cm läbimõõduga ja suurema rahe korral ning vigastuste arv suurenes rahe suuruse kasvades (Púčik *et al.* 2019).

Cică *et al.* (2015) hindasid ilmaradari andmete abil ohtlike rahetorme ja raheohtu Rumeenias ning Tuovinen *et al.* (2008) uurisid Soome hiidrahe (rahe läbimõõduga 2 cm või rohkem) klimatoloogiat ja leidsid perioodi 1930–2006 kohta vähemalt 240 juhtumit (mõnel juhul oli rahe läbimõõt 7–8 cm). Kõige sagedamini esines Soomes hiidrahet juuli lõpust kuni augusti alguseni, üldiselt kella 14–20 vahel. Enamik hiidrahe juhtumeid leidis aset Edela- ja Lääne-Soomes – kaugemale põhja poole liikudes kahanes ka rahejuhtumite arv (Tuovinen *et al.* 2008).

1.3 Ohtlike nähtuste uurimine Eestis

Ohtlike ilmanähtustega seotud uuringuid on Eestis pigem vähe ja kohati puudub ka sobiv terminoloogia. Uuemad meteoroloogiateterminid on alles välja töötamisel.

Äikese sageduse ajalis-ruumilist muutlikust on Eesti territooriumil klimatoloogilisest aspektist varasemalt uurinud Enno (2007) ja Alber (2010). Mõlemas töös võeti vaatluse alla Riigi Ilmateenistuse meteoroloogiajaamad. Enno (2007) leidis, et perioodil 1950–2000 algas äikesehooaeg enamasti mais ja kestis septembrini. Kõige äikeselisem kuu oli juuli, mil keskmiselt esines 3–7 äikesepäeva. Juulis oli ühtlasi ka kõige rohkem äikesetunde – keskmiselt 10,8. Nii äikesepäevade kui ka äikesetundide arv kasvas üldjuhul läänest ida suunas. Töös rõhutati suurt aastate vahelist varieeruvust. Näiteks kõige äikesevaesematel aastatel sõltuvalt vaatluspunktist oli märgitud äikest ainult 1–10 päeval ja kõige äikeserohkematel 26–42 päeval. Äikesetunde oli perioodil 1963–2008 aastas keskmiselt 30–40. Ööpäevases jaotuses oli äikest kõige rohkem kella 14–18 vahel ning kõige vähem kella 3–10 vahel. (Enno, 2007; Alber, 2010)

Välgulöövide ajalist ja ruumilist jaotust on mitmel korral uurinud Enno (2009; 2011). Selleks kasutas ta põhjamaade välgudetektorite võrgustiku (NORDLIS) andmeid. Oma 2009 uurimistöös kasutas ta lisaks NORDLIS-e andmetega võrdlemiseks ka vabatahtlike vaatlejate andmeid äikesujuhtumite kohta. Töö tulemustest selgus, et välgulöövide jaotus kuude kaupa oli

üsna ebahütlane. Kõigist aastail 2005–2008 registreeritud pilv-maa välkudest 99,7% registreeriti aprillist oktoobrini. Lisaks uuris Enno (2009) pilv-maa löökide esinemise ruumilist tihedust. Ta leidis, et kogu uurimisalal oli keskmiselt 0,3 lööki/km² aastas. Kõige rohkem äikest esines sellel perioodil 28. mail 2007, mil Eesti territooriumil registreeriti kuni 6500 pilv-aluspind tüüpi välgulööki.

Välgulöökide ajalis-ruumilist jaotust Eestis on NORDLIS-e andmete põhjal uurinud ka Eiber (2014), kuid tema püüdis leida perioodi 2005–2013 kohta seoseid tsirkulatsioonitüüpidega. Ta leidis, et kõige sagedamini põhjustasid äikest tsükloonaalne ja kagutüüp ja kõige harvemini antitsükloonaalne tüüp. Kõige rohkem välgulööke esines sel perioodil tsükloonaalse tüübi korral ning tugevaimad äikesetormid oli seotud eelkõige kagutüübiga. Põhja-, kirde- ja idatüübi puhul esinenud välgud moodustasid vaid väga väikese osa kõigist registreeritud välkudest (Eiber, 2014).

Oma hilisemas töös on Enno (2011) uurinud perioodi 2005–2009 kõige äikeserohkemaid kuid, keskmist päevast välgulöökide arvu ning välgulöögi esinemise kellaegust nii sisemaal kui ka merel. Uuritava ala suurus oli 102,500 km². Välgustatistika esitamiseks koostas ta 10 x 10 km kaardiruumistikud, millel on kujutatud välgulöökide arvu ruutkilomeetri kohta aastas. Selgus, et perioodil 2005–2009 registreeriti kokku 172 613 pilv-maa välku ja aastane keskmine välgulöökide tihedus oli kogu uuritava alal 0,34 lööki/km² aastas. Ööpäevases jaotuses oli äikest sel perioodil kõige rohkem kella 15–17 vahel ja kõige vähem kella 2–9 vahel (Enno, 2011).

Enno *et al.* (2013) on uurinud põhjalikult ka Baltimaade äikesekliimat perioodil 1951–2000, kasutades selleks nii Eesti, Läti kui ka Leedu meteoroloogiajaamade andmeid. Selgus, et äikesepäevade andmearv on heas korrelatsioonis tsirkulatsioonandmetega. Selle põhjal tehti ka loogiline järeldus, et pikaajalised muutused äikesekliimas, näiteks maksimum 1960. aasta paiku ja miinimum 1990. aasta paiku, on seotud eelkõige kliimaatilise varieeruvusega. Eesti osas toodi välja ka mõned konkreetset aastad, millal on siin viimati esinenud võimsaid äikesetorme – näiteks 1998, 2001, 2002, 2010 ja 2011 (Enno *et al.* 2013).

Ajavahemikus 16.–19.07.2001 mõjutasid Eestit laastavad äikesetormid, põhjustades kahju enam kui 12 miljoni euro eest. Selle kohta on ülevaate teinud Merilain ja Tooming (2003). Enno (2005) on ka põhjalikult uurinud 2001. aasta juulitorme ja laastavate pagide tekkemehhanisme.

2010. aasta 8. augusti äikesetormist on põhjaliku ülevaate teinud Toll (2013). Tema modelleerimistulemused on Eestis üks esimesi õnnestunud töid *derecho*-tüüpi konvektiivse tormi modelleerimisel. Selleks kasutas ta kõrglahutuslikku mittehüdrostaatilist atmosfäärimudelit HARMONIE ja tõdes, et see mudel on igati sobilik töövahend sellist tüüpi konvektiivtormi modelleerimiseks ning prognoosimiseks. Enno (2014) on uurinud ka 27–28.

juulil 2011 Eestit tabanud äikeseid, kasutades selleks NORDLIS-e andmeid ja Riigi Ilmateenistuse radariandmeid. Need päevad paistavad silma erakordselt suure välgulöökide arvu poolest. Näiteks 28. juuli arenes ligi 250 km pikkune pagiliin, millega kaasnes ka kõige suurem perioodil 2005–2013 registreeritud välgulöökide sagedus (Enno, 2014b).

Eestiga seotud teadaolevad dokumenteeritud tornaadojuhtumid ulatuvad tagasi 18. sajandisse. Neid on üksikasjalikult uurinud Ain Kallis ja Andres Tarand, kelle ühise töö tulemusena valmis raamat pealkirjaga „Eesti tornaadod“ (Kallis, Tarand 2017). Kindlasti ei saa mainimata jätta maailmakuulust baltisaksa päritolu tornaadode uurijat Johannes Peter Letzmanni, kes on teinud ära juba väga suure töö. Nimelt oli ta üks tornaadode uurimise algatajaid maailmas koos kuulsaks meteoroloogiks Alfred Wegeneriga. Letzmann töötas Tartu Ülikoolis kuni 1939. aastani ja avaldas üle 20 tornaadodega seotud artikli, kus kirjeldas põhjalikult nende struktuuri ja tekkemehhanisme (Peterson, 1991). Tornaadosid on Eestis uurinud ka Heino Tooming. Ta on koostanud näiteks ülevaate 15. juulil 2000 Rakvere linna tabanud tornaadost (Tooming, 2000).

Rahe klimatoloogiat on Eestis vähe uuritud. Mingil määral on seda kirjeldanud Tarand jt. (2013), kelle ühise tööna ilmus raamat „Eesti kliima: minevikus ja tänapäeval“. Raamatus on välja toodu hulganisti rahejuhtumeid lähiminevikust ja kaugematest aegadest. Voormansik jt. (2017) on rahet uurinud hoopis tehnilisest aspektist. Täpsemalt vaadeldi konvektiivsete tormide automaatset detekteerimist, kasutades nelja aasta pikkust radariandmestikku (2011–2014) ja nendes tormides pilv-maa välkude ning rahe esinemise riski hindamise võimekust. Selleks kasutati NORDLIS-e ning atmosfääri sondeeringute andmetel põhinevaid indikaatoreid. Kokku tuvastati 123 360 tormiala (alad, kus madalaima nurgaga skaneeringul on radari peegelduvus ≥ 35 dBZ) 195 päeval. Leiti, et 33,9% nendest tormidest esines pilv-maa-välke ja 25,9% esines rahet (Voormansik jt. 2017).

Äikesega seotud sademete ajalis-ruumilist jaotust ning pikaajalist muutlikkust Eestis perioodil 1950–2005 on uurinud Kamenik (2013). Ta leidis, et perioodil 1991–2003 oli aastane äikesepäevade sademete koguhulk keskmiselt 80–160 mm. Lisaks selgus, et äikesesademetes hulk suurenes läänest ja edelast ida ning kirde poole liikudes. Äikesesademetes maksimumid jäid enamasti Jõgevamaa ja Kirde-Eesti piirkonda. Perioodil 1991–2003 moodustas aasta keskmine äikesega seotud sademete osatähtsus 14–22% kogu aasta saju summast (Kamenik, 2013).

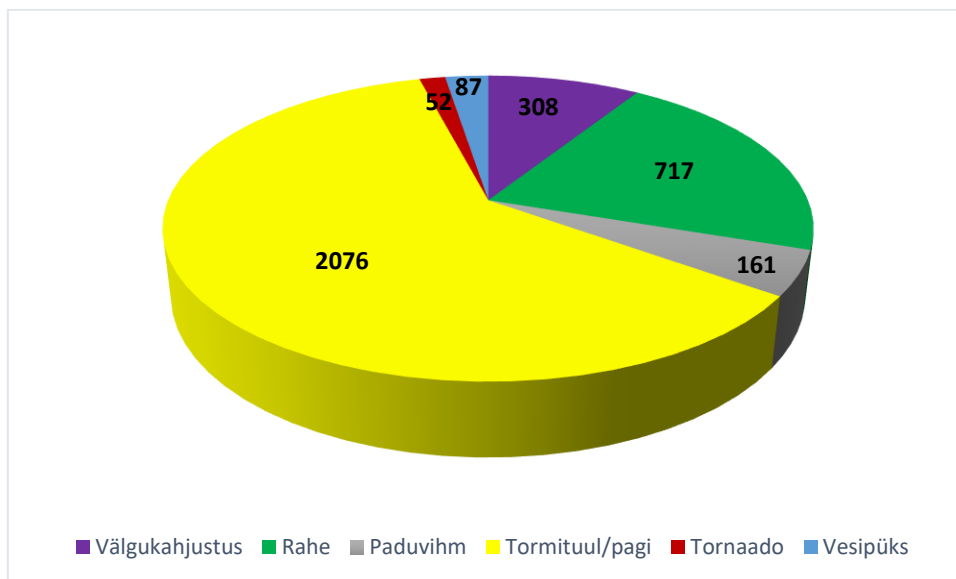
Ekstreemsademetes uurimisega on tegelenud näiteks Tammets ja Jaagus (2013). Ühises töös lähtuti liigsademetes päevadest ja ööpäeva sademesummade libisevatest keskmistest. Perioodi 1957–2009 uurimiseks kasutati 51 meteoroloogiajaama andmeid. Huvitava tulemusena leiti, et selliseid päevi, mil 10 päeva jooksul sajab Eestis rohkem kui 100 mm, esineb vaid suvel ja sügisel, kusjuures kuudest enim juulis ning augustis (Tammets ja Jaagus, 2013).

2. Andmed ja metoodika

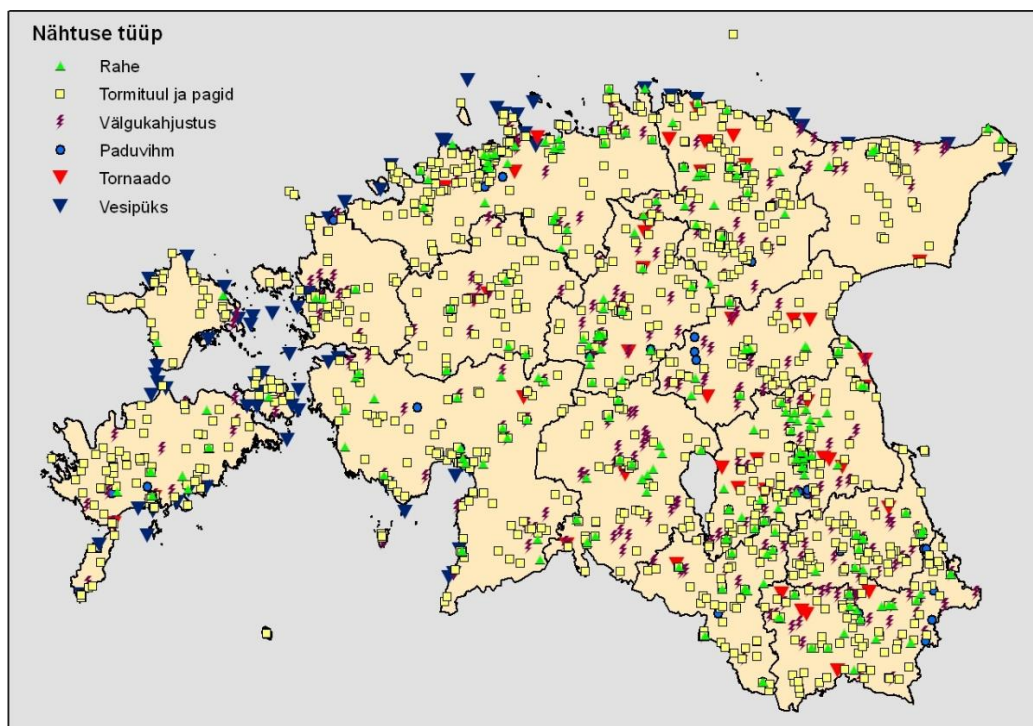
2.1 Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrk ja selle andmed

Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrk (EÄV) alustas oma tööd 2005. aastal ja tegeleb tänaseni koostöös vabatahtlikega ohtlike ilmanähtuste kogumisega. Selle loojaks on toonane Tartu Ülikooli geograafia osakonna bakalaureusetudeng Sven-Erik Enno. Alates 2015. aastast hõlmab Eesti Äikesevaatlejate Võrk ka tormivaatlejaid. 18. mai seisuga 2020 oli andmebaasis 2262 tormituule ja pagidega seotud juhtumit, 326 välgukahjustust, 161 paduvihma juhtumit, 723 rahe juhtumit, 52 tornaado juhtumit ja 87 vesipüksi juhtumit.

Käesoleva uurimuse põhialuseks on EÄV andmebaasi koondatud ohtlike ilmanähtuste andmed, mis on digitaalsel kujul kättesaadavad. Selles töös kasutati andmeid perioodil 1997–2019 esinenud välgukahjustuste, tormituule, pagide, rahe, tornaadode, vesipüksi ja paduvihmade kohta. Joonisel 1 on sektordiagrammina esitatud analüüsitud vaatluste koguhulk nähtuste kaupa ja joonisel 2 on kujutatud nende ruumiline paiknemine. Mõningad tähelepanuväärsemad sündmused, mis on Eestis viimase 22 aasta jooksul aset leidnud, on esitatud tabelina lisas 1.



Joonis 1. Ohtlike ilmanähtustega seotud raportite hulk perioodil 1997–2019.



Joonis 2. Ohtlikud ilmanähtused Eesti territooriumil perioodil 1997–2019.

Käesoleva töö esimeseks sammuks oli EÄV andmebaasi kontroll ja täiendamine. Selleks otsiti perioodil 1997–2019 esinenud ohtlike ilmanähtuste juhtumeid ajakirjandusest, eeskätt riiklikest ajalehtedest, nagu näiteks Postimees, Delfi, Õhtuleht jne ning seejärel vaadati ka maakonnalehtede digiarhiive. Lisaks neile osutus suureks abiks ka Päästeameti ja Eesti Energia kodulehekül, kust leiti tormide ja välgust tingitud kahjustuste kirjeldusi. Nähtuste otsimiseks kasutati põhiliselt ilmaga seotud märksõnu, nagu näiteks: „äike“, „torm“, „välgukahjustus“, „rahe“ jne. Digiarhiividest kätte saadud juhtumid salvestati programmis MS Word koostatud tabelitesse, kus märgiti ära iga sündmuse kuupäev, asukoht ja vastav allikas. Läbi vaadatud allikad perioodide ja märksõnade kaupa on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Ohtlike ilmanähtuste kogumiseks läbi vaadatud allikad ja otsinguks kasutatud märksõnad.

Allikad	Periood	Märksõnad
Postimees Delfi Õhtuleht	1997-2019	„rahe“, „raheterad“, „hiidrahe“, „tromb“, „tornado“, „keeristorm“, „tugev tuul“, „torm“, „äike“, „välk“, „pikne“, „pikselöök“, „paduvihm“
Lõuna-Eesti Postimees	1997-2019	„rahe“, „raheterad“, „hiidrahe“, „tromb“, „tornado“, „keeristorm“, „tugev tuul“, „torm“, „äike“, „välk“, „pikne“, „pikselöök“, „paduvihm“
Eesti Energia	1999-2019	„torm“, „tugev tuul“, „äike“, „pikne“

Tartu Postimees	2001-2013	„rahe“, „raheterad“, „hiidrahe“, „äike“, „pikne“, „välk“
Pärnu Postimees	2002-2013	„rahe“, „raheterad“, „hiidrahe“, „tromb“, „tornaado“, „keeristorm“, „tugev tuul“, „torm“, „äike“, „välk“, „pikne“, „pikselöö“, „paduvihm“
Virumaa Teataja	2004-2014	„rahe“, „raheterad“, „hiidrahe“, „torm“, „tugev tuul“, „pikne“, „äike“, „välk“
Lõunaleht	2008-2018	„pikne“, „äike“, „välk“
Järva Teataja	2009-2016	„rahe“, „raheterad“, „hiidrahe“, „pikne“, „välk“, „torm“, „tugev tuul“
Saarte Hääl	2009-2018	„pikne“, „välk“, „paduvihm“
Maaleht	2010-2013	„tornaado“, „tromb“, „pikne“, „äike“, „välk“
Päästeamet	2017-2019	„tugev tuul“, „torm“, „välk“, „äike“, „pikne“

Lisaks koguti andmeid sotsiaalmeediast, näiteks uuriti mitmesuguseid blogisid ja ilmateemalisi foorumeid, millest nii mõnigi on tänaseni aktiivne. Sotsiaalmeedias osutus kõige kasulikumaks andmeallikaks Facebook. Seal on mitmeid gruppe ja lehekülgi, kuhu inimesed postitavad igapäevaselt infot, pilte ja videoid ilmanähtustest oma kodukandis. Nendeks on näiteks autori poolt loodud grupid „Ilmahuvilised“, kus liikmete arv küündis 18. mai 2020 seisuga üle 13 900 ja „Äikesehuvilised“, kus oli üle 15 000 inimese. Teatud juhtudel oli vaja täpsustavat informatsiooni mingi konkreetse juhtumi kohta ja sellisel juhul võeti inimestega Facebookis ühendust. Abiks oli ka erialane kirjandus – mitmesugused ilmateemalised raamatud ja ajakirjad, kust saadi lisaandmeid.

Kokku kogutud andmed sisestati kõik andmebaasi (autori poolne panus on näidatud tabelis 2), kasutades selleks vastava ohtliku ilmanähtuse sisestusvormi EÄV koduleheküljel. Iga nähtuse puhul märgiti ära täpne asukoht või kui seda polnud teada, siis vähemalt ligikaudne asukoht täpsusega kuni ± 20 km; algus- ja lõppkuupäev (kui täpset kuupäeva polnud teada, siis sai panna umbes teadaoleva vahemiku ja märkida selle täpsuseks ± 1 päev kuni ± 6 kuud); algus- ja lõpukellaeg (ajaliseks täpsuseks on võimalik valida ± 1 minut kuni ± 12 tundi); lisati nähtuse kirjeldus ja kui nähtusega kaasnes kahjustusi, siis toodi ka need välja (andmebaasis on vastavad lahtrid kahjustuste jaoks – näiteks „varalise kahju kirjeldus“, „aia- ja põllukultuuride kahjustuse kirjeldus“ jne). Kõige viimasena märgiti ära info allikas – näiteks kas info põhines kaudsetel allikatel või oli vaateleja seda ise pealt näinud.

Tabel 2. Esialgne ja autori poolt juurde lisatud raportite arv EÄV andmebaasis.

Nähtused	Raportite arv alguses	Autori poolt sisestatud raportite arv	Raporteid kokku
Tormituul ja pagid	1034	1042	2076
Välgukahjustused	48	260	308
Rahe	615	102	717
Vesipüks	26	61	87
Tornaado	8	44	52
Paduvihm	157	4	161

Andmete sisestamisel teostati kvaliteedikontroll, mille käigus vaadati üle, kas sündmuste kuupäevad ja nende asukohad on korrektsed ning kas tegemist on ikka õige nähtusega, mida algallikas oli mainitud (näiteks kipuvad tavainimesed tugevaid pagituuli tornaadodeks pidama). Parandada ja täiendada tuli jooksvalt ka vabatahtlike poolt sisestatud raporteid, sest sageli esines seal vigu või olid andmed puudulikud.

Kui tööks vajalik andmestik oli andmebaasi sisestatud, siis võeti need sealt välja CSV-vormingus ja esitati korrastamiseks ning analüüsiks programmis MS *Excel* aastate, kuude, päevade ning kellaaegade kaupa. Nähtusi uuriti aastate, kuude ja päevade kaupa. Ohtlike ilmanähtuste ööpäevaste jaotuste uurimiseks valiti algandmetest välja ainult sellised juhtumid, mille ajaliseks täpsuseks oli kuni ± 1 tund. Analüüsist jäid välja juhtumid, mille ajaline täpsus oli sellest suurem või mille ajalisi täpsust ei olnud teada. Ööpäevase jaotuse koostamisel on oluline võimalikult hea ajaline täpsus – sellest ka selline valik.

Ohtlike ilmanähtuste andmete põhjal koostati veel mitmesuguseid diagramme ja kaarte. Kaartide loomiseks kasutati programmi nimega *ArcGis*. Ruumilise analüüsi käigus tulid esile ka mõningad vead, näiteks punkt asus kaardil vales kohas, sest sisestatud koordinaadid oli vigased. Sellised parandused viidi sisse nii andmebaasis kui ka algandmetes. Lisaks tuvastati kontrolli käigus mitmeid duplikaate, mis eemaldati. Kuna töös on kasutatud ka vabatahtlike poolt ülestähendatud ohtlike ilmanähtusi, siis peab arvestama sellega, et elanikkonna tihedus on väga ebaühtlane ja vaatlusi on rohkem tihedamalt asustatud piirkondades.

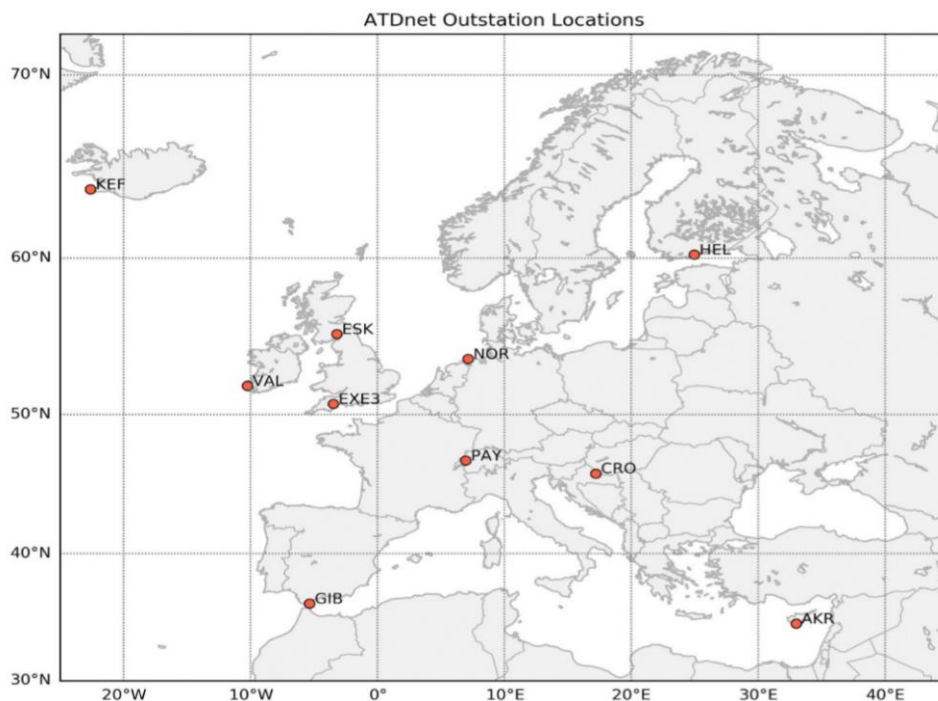
2.2 ATDnet välgudetektorite võrgustik

Kui enamasti piirdub ohtlike nähtuste kohta kogutud info vabatahtlike vaatlustega siis välgukahjustusi on võimalik võrrelda välgudetektorite võrgustike poolt registreeritud välgulöövide aja- ja asukohaandmetega. Selline võrdlus võimaldab muuhulgas hinnata

välgudetektorite võrgustiku andmete asukohatäpsust. Antud töös valiti võrdluseks ATDnet ehk Met Office (Suurbritannia Ilmateenistuses) väga madalal sagedusel (*very low frequency* ehk VLF) töötav välgudetektorite süsteem. Välgude tuvastamine toimub väga madala sagedusega (13,733 kHz) välgu raadiolainete (atmosfääririkud, inglise k. *sferics*) registreerimise abil. ATDnet-i detektorid (*outstations*) registreerivad väga täpselt välgu atmosfääririkute maksimumi kellaaja (täpsus umbes 100 nanosekundit) ja võrdlevad ühe ja sama välgu maksimumi kellaega erinevate detektorite asukohtades. Leitud ajaliste erinevuste ja detektorite geograafiliste koordinaatide alusel saab arvutada välgu asukohta. Arvutused põhinevad atmosfääririkute maksimumi saabumisaaja erinevuse meetodil (*Arrival Time Difference* ehk ATD) (Enno *et al.* 2019b).

ATD välgudetektorite süsteem alustas tööd 1987. aastal. Hiljem, 1990ndate lõpus tehtud süsteemi uuendused suurendasid selle võimekust ja asukohatäpsust. Järgmine oluline uuendus (riistvarauuendus) viidi läbi 2007. aasta detsembris. Selle eesmärk oli suurendada ATD-net-i tundlikkust ja tööulatust (Enno *et al.* 2019b).

Praegune ATDnet koosneb 10-st sensorist, mis on paigutatud Euroopa erinevatesse osadesse ja töötavad kesksagedusel - 13,733 kHz. Detektorite asukohad on välja toodud joonisel 3. ATDnet-i efektiivne tööraadius hõlmab peamiselt Euroopat, Põhja-Aafrikat ja Põhja-Atlandi Ookeanit (Enno *et al.* 2019b).



Joonis 3. ATDnet-i detektorite asukohad (Enno *et al.* 2019b).

Ajavahemikus 3–9.02.2019 töötas autor Suurbritannias Exeteris Met Office'is Sven-Erik Enno juhendamisel ATDnet 1997–2019 andmete ning Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrgu andmebaasist saadud välgukahjustuste ajalis-ruumilise analüüsiga. Lisaks uuriti välgulöökide sesoonset ja ööpäevast jaotust, milleks vajalikud andmed olid kättesaadavad alates 2001. aastast.

Kasutatud ATD-neti välguandmed olid CSV formaadis ettevalmistatud väljavõtted Suurbritannia Ilmateenistuse välguandmete arhiivist. Need sisaldasid Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrgu andmebaasis olevatele välgukahjustustele ruumiliselt (20 km raadiuses) ja ajaliselt (± 12 tundi) lähedasi välgulööke. Päringu aluseks oli väljavõtte Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrgu andmebaasist. See sisaldas kokku 308 välgukahjustustega seotud juhtumit, mis esitati aastate, kuude, päevade ja kellaaegade kaupa MS *Excelis*. ATDnet-iga võrdlemiseks valiti välja ainult sellised juhtumid, mille ajaliseks täpsuseks oli märgitud kuni ± 1 tund – valimi tegemisel lähtuti võimalikult heast ajalisest täpsusest. Valimist jäid välja juhtumid, mille ajaline täpsus oli sellest suurem või mille ajalise täpsust ei olnud üldse teada. Seetõttu jäi uurimiseks 264 välgukahjustust.

Seejärel leiti neile kõigile viis lähimat ATD-neti poolt fikseeritud välku (kuni 20 km raadiuses). Sellest piisab, et välja selgitada lähim välgulöök, mis võis kahjustuse kõige tõenäolisemalt põhjustada. Igal välgulöögi kohta olid andmestikus koordinaadid (pikkuskraad, laiuskraad), kellaaeg (tund, minut, sekund) ja kaugus punktist, kus esines välgukahjustus. Kahjustusele lähimad ATD-neti sündmused esitati uues tabelis. Lõpuks kasutati veel programmi *ArcGis*, mis võimaldas ruumiliselt võrrelda ATD-neti andmeid ja välgukahjustusi – koostati mõned kaardid illustreerimaks ATDneti välguandmete ruumilist täpsust.

3. Tulemused ja arutelu

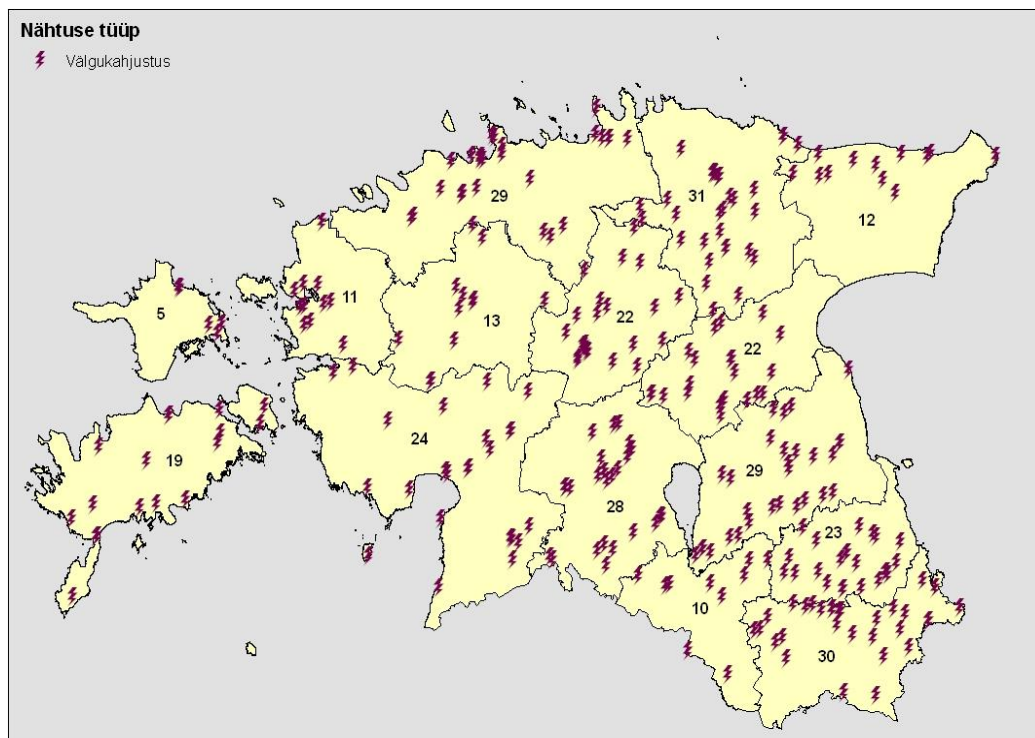
3.1 Välgukahjustused

Perioodil 1997–2019 oli Eestis vähemalt 308 välgulöögist tingitud kahjustust. Need olid enamasti seotud tulekahjudega erinevates hoonetes, puude, elektri- ja sideliinide või liini postide ja mastidega. Leiti ka juhtumeid, kus välk oli tapnud koduloomi või kariloomi. Juhtumeid, kus viga oli saanud inimene, leiti kokku 16. Nendest kolm lõppesid surmaga – kõigi hukkunute vanus jäi vahemikku 30–40 eluaastat.

Haruldase keravälguga juhtumeid fikseeriti vähemalt kaheksal korral. Keravälgu tõttu teadaolevalt inimesi surma ei saanud, küll aga põhjustas see kohati kahjustusi inimeste majapidamistes, põletades läbi juhtmeid ja lõhkudes elektroonikat. Ühel juhul oli isegi korstnast mitu kivi ning tahmaluuk ahjutruubi eest ära lennanud. Õhus oli tunda ka väävli lõhna. Selline juhtum leidis aset Tartumaal Nõo vallas Etsaste külas 8. juuli pärastlõunal 2010.

3.1.1 Välgukahjustuste ruumiline jaotus

Ruumilisest jaotusest (joonis 4) on näha, et kahjustuste hulk on Lääne-Eestis ja saartel Ida-Eesti ning Kesk-Eestiga võrreldes väiksem. Uuritava perioodi lõikes oli 25 või enam välgust tingitud kahjustust Lääne-Virumaal, Võrumaal, Harjumaal, Tartumaal ja Viljandimaal. Nendest kolm esimest on üsna äikeselised piirkonnad. Näiteks Eiber (2014) leidis pilv-maa välkude ruumilist jaotust uurides, et Lääne-Virumaal, Võrumaal ja Harjumaal oli pilv-maa välgulöökide tihedus perioodil 2005–2013 tunduvalt kõrgem kui Viljandimaal ja Tartumaal. Ülejäänud maakondades oli kahjustuste koguarv madalam. Kõige vähem välgukahjustusi tuvastati Hiiumaal - kokku vaid 5. Avamere rannikul on tavaliselt kõige vähem äikest ja sisemaal tunduvalt rohkem. Seda on oma töödes märkinud ka Eiber (2014) ja Enno (2014). Põhjuseks on jällegi õhutemperatuur – suvel on sisemaal aluspinna kohal õhk oluliselt soojem kui merel ja kõrgem temperatuur loob paremad tingimused äikesepilvede tekkeks.

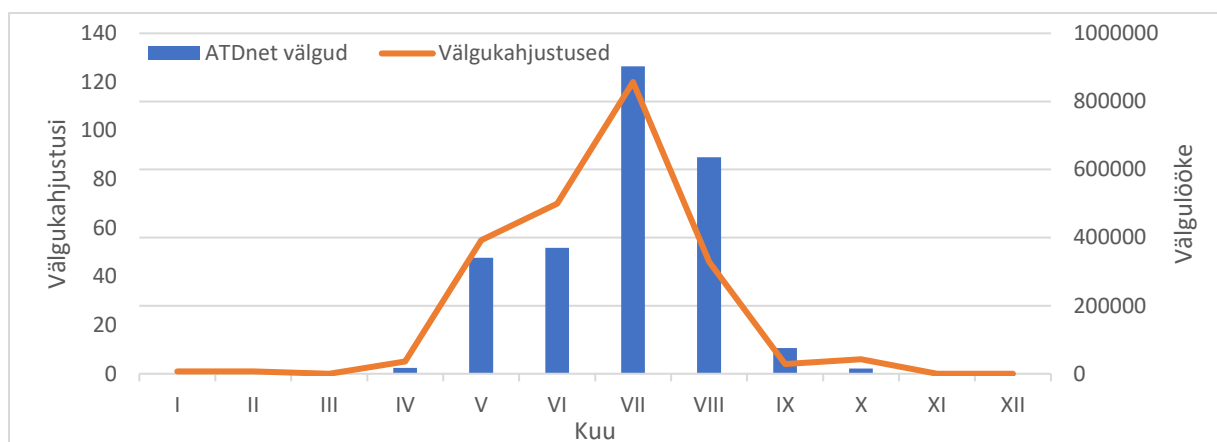


Joonis 4. Välgukahjustuste ruumiline jaotus perioodil 1997–2019.

3.2 ATDnet-i välgulöökide võrdlus välgukahjustustega

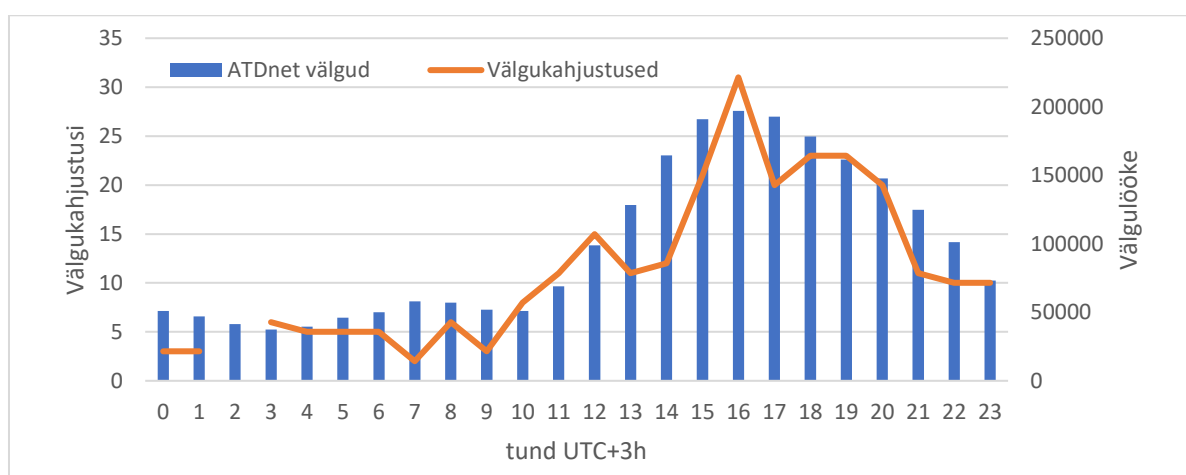
ATDnet-i andmete kohaselt registreeriti perioodil 2001–2019 Eesti territooriumil ligi 2,4 miljonit välgulööki, millest valdav osa (99,3%) esines soojal poolaastal (aprillist septembrini). Keskmiselt oli 124 112 välgulööki aastas. Kõige rohkem välgulööke tuvastati 2010. aastal ja neid oli kokku 347 914. See moodustas ligi 15 % kõigist registreeritud välgulöökidest uuritava perioodil.

ATDnet-i välkude ja välgukahjustuste sesoonses jaotusest (joonis 5) on näha, et välgulöökide maksimum esines juulikuus (903 055 välgulööki), mis moodustas 38,3% kõigis registreeritud välgulöökidest uuritava perioodil. Enamik välgukahjustusi esines maist augustini. Mais tuvastati neid 55, juunis 70, juulis 120 ja augustis 46. Ülejäänud kuudel oli välgukahjustusi väga vähe või üldse mitte. ATDneti välkude ja välgukahjustuste sesoonne jaotus on omavahel heas kooskõlas. Samuti klapivad tulemused varasemate uuringutega, mis näitavad, et põhiline äikesehooaeg kestab Eestis maist septembrini ja tipneb juulis (Enno, 2007; Alber, 2010; Enno, 2011; Eiber, 2014). Sügise saabudes hakkas nii välgulöökide kui ka välgukahjustuste arvukus kiiresti vähenema.



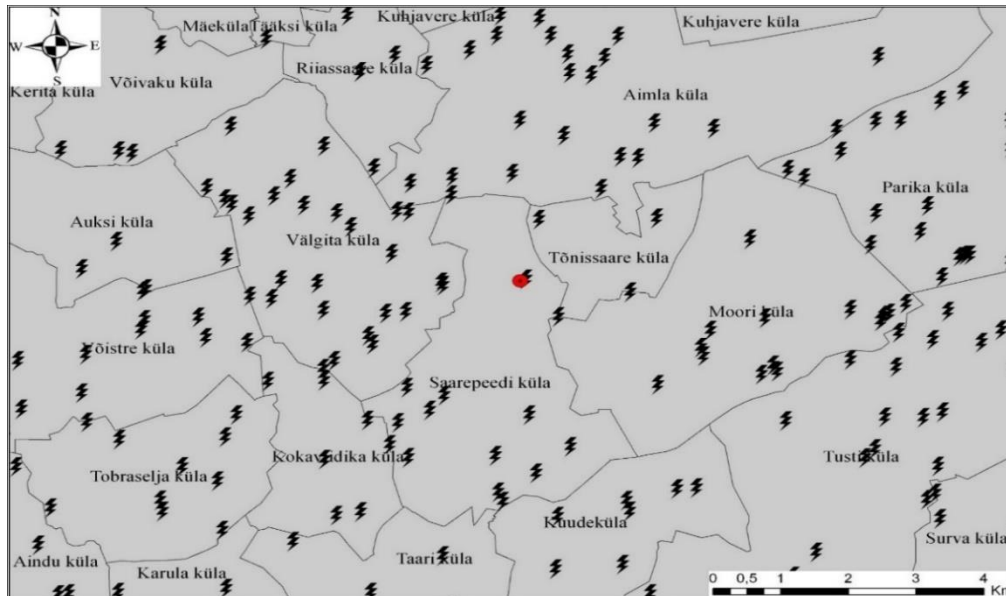
Joonis 5. ATDnet välgulöökide ja välgukahjustuste sesoonne jaotus perioodil 1997–2019.

Mis puudutab ATDnet-i välgulöökide ja välgukahjustuste ööpäevasest jaotust (joonis 6), siis sellelt on näha, et kõige vähem välgulööke oli öösel ja hommikul kella 00–10 vahel, samas kui maksimum esines pärastlõunal kella 15–18 vahel. Välgukahjustusi esines kõige rohkem pärastlõunal kella 16 paiku – kokku 31 juhtumit. Seega on välgukahjustuste ööpäevane jaotus heas kooskõlas välgulöökide ööpäevase jaotusega. Näiteks Eiber (2014), kes uuris samuti välgulöökide ajalis-ruumilist jaotust, leidis oma töös, et välgulöökide maksimum jäi kella 15–18 vahele. Sarnaste tulemusteni jõudsid ka Alber (2010), Enno (2011) ja Enno *et al.* (2013). Välgulöökide suurem arvukus päeva teises pooles tuleneb otseselt aluspinna temperatuurikäigust, sest pärastlõunal kella 14–18 vahel on maapind tavaliselt kõige soojem, tingimused äikesepilvede arenguks kõige soodsamad ja seega on ka äikese aktiivsus oluliselt kõrgem. Baltimaade ja Põhja-Euroopa äikesekliimat uurides on seda kirjeldanud ka Enno *et al.* (2014).

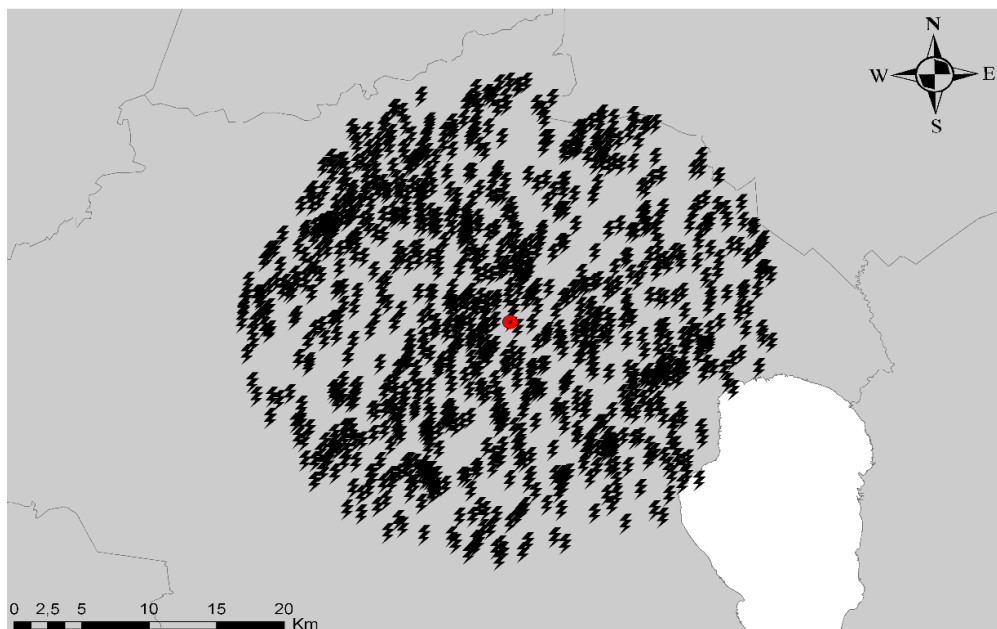


Joonis 6. ATDnet välgulöökide ja välgukahjustuse ööpäevane jaotus perioodil 1997–2019 suveaja järgi.

ATDnet-i andmeid analüüsid ja neid välgukahjustustega võrreldes leiti, et väikseim registreeritud välgulöögi ja välgukahjustuse asukoha vahemaa oli kõigest 57 m ja teise juhtumi puhul oli selleks kauguseks 97 m. Viimati mainitud juhtumit illustreerivad joonised 7 ja 8. See leidis aset 26. mail 2007 Viljandimaal Saarepeedi lähistel Tusti külas, kus pilv-maa välk süütas kahekordse elumaja. Õnnestus keegi viga ei saanud, aga välgutabamuse saanud maja hävines põlengu käigus täielikult.

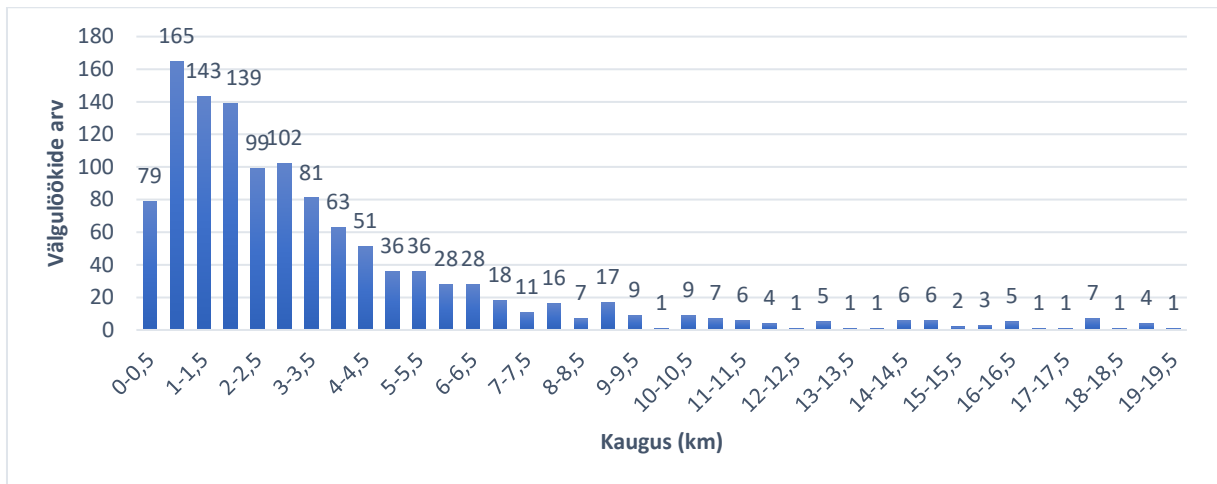


Joonis 7. Välgukahjustuste asukoht (punane täpp) ja lähimad välgud Tusti külas 26.05.2007.



Joonis 8. Tusti välgukahjustuse asukoht ja 20 km raadiusesse jäänud ATDnet-i välgulöögid.

Samas kõige suuremad vahemad välgukahjustuste ja lähimate ATDnet-i välgulöökide vahel olid enam kui 10 km. 79,8% kõigist registreeritud kahjustustest jäi lähim välgulöök 0–5 km kaugusele. Nende keskmiseks kauguseks saadi 2,1 km. Enim välgulööke koondus just 0,5–1 km raadiusesse kahjustuse asukohast (kokku 165 ehk 13,8%). Kui võtta arvesse kõik registreeritud välgulöögid, mis jäid kahjustustest kuni 20 km raadiusesse, siis kujunes keskmiseks kauguseks 3,5 km. Kui jätta välja need välgud, mis jäid kahjustusest kaugemale kui 10 km, siis saadi keskmiseks kauguseks 2,8 km. Nii kauged välgud moodustasid vaid 1,6% kõigist registreeritud välgudest (joonis 9).



Joonis 9. Välgukahjustustele lähimate ATDnet välgulöökide jaotus kauguse järgi kahjustuskohast perioodil 1997–2019.

Arvutuste käigus saadud keskmised kaugused (2,8–3,5 km) on väga heas kooskõlas ATDnet oodatava asukohatäpsusega. ATDnet-i asukohatäpsus on Lääne-Euroopas 1–2 km ja ülejäänud Euroopa piirkondades 5–10 km (Enno *et al.* 2019). Siinkohal on oluline märkida, et kui välgu ja kahjustuse vahemaa oli juba 10 km või rohkem, siis ATDnet tõenäoliselt lihtsalt ei registreerinud seda vätku, mis tegelikult kahjustuse põhjustas. See on seotud ATDnet-i efektiivsusega - hinnanguliselt jääb Euroopas umbes 10% pilv-maa välgulööke registreerimata (Enno *et al.* 2016).

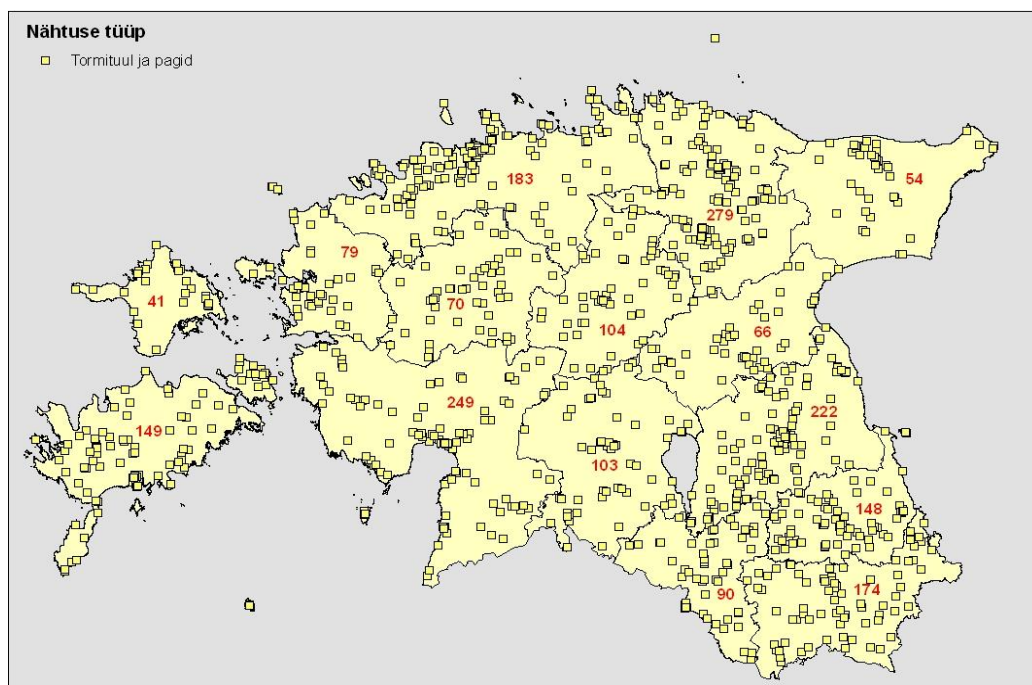
3.3 Tormituul ja pagid

Perioodil 1997–2019 oli Eestis kokku vähemalt 2076 tormituule ja pagidega seotud juhtumit, mis teeb keskmiselt 90 juhtumit aastas. Ühtlasi on tegu kõige sagedama ohtliku ilmanähtusega Eesti territooriumil. Suurem osa juhtumeid oli seotud murdunud puude ja elektrikatkestustega. Selliseid juhtumeid, kus inimene oli vigastada saanud, tuvastati kokku 6.

3.3.1 Tormituule ja pagide ruumiline jaotus

Ruumilisest jaotusest (joonis 10) on näha, et enamjaolt paiknevad kahjustuste asukohad territooriumil ühtlaselt. Tormituult ja pagisid võib esineda igas Eesti osas. Hästi eristuvad ka suuremad linnad, millele viitab raportite rohkus – suuremates linnades on vaatelejaid rohkem. Analüüsi käigus tuvastati alla 100 juhtumi Valgamaal (90), Läänemaal (79), Raplamaal (70), Jõgevamaal (66), Ida-Virumaal (544) ja Hiiumaal (41).

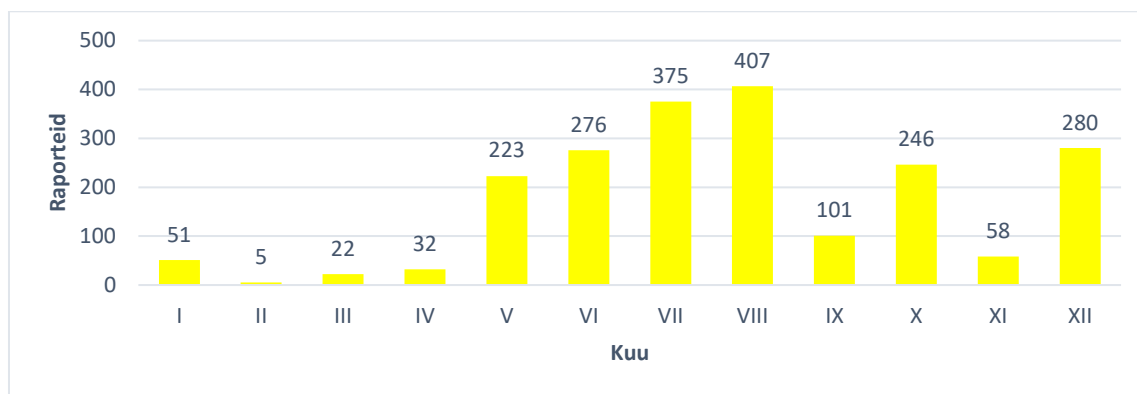
Rohkem kui 100 juhtumit oli järgmistes maakondades: Harjumaa (183), Võrumaa (174), Saaremaa (149), Põlvamaa (148), Järvamaa (104) ja Viljandimaa (103). Kõige rohkem ehk enam kui 200 juhtumit oli Lääne-Virumaal (279), Pärnumaal (249) ja Tartumaal (222).



Joonis 10. Tormituule ja pagide ruumiline jaotus perioodil 1997–2019.

3.3.2 Tormituule ja pagide sesoonne ning ööpäevane jaotus

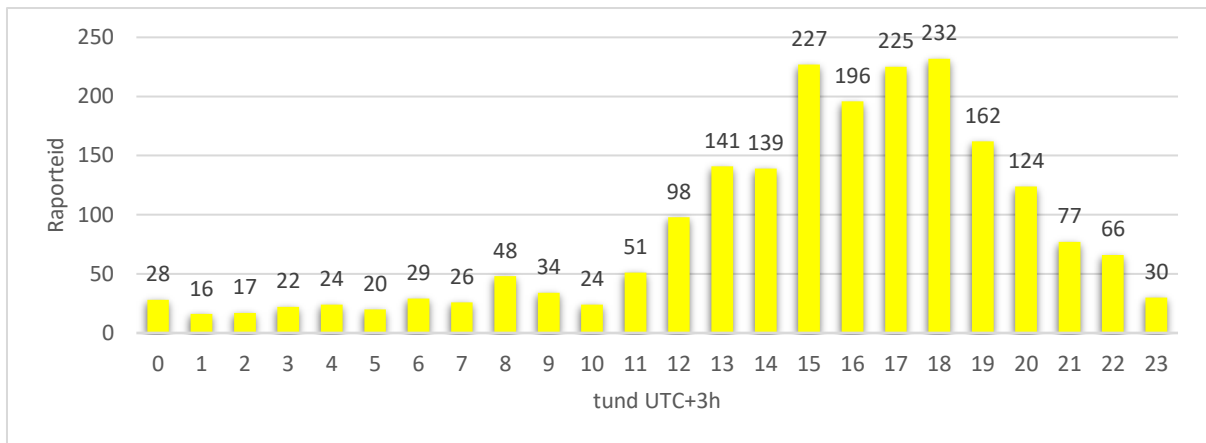
Tormituule ja pagide arvukus varieerus märkimisväärselt aastate ja kuude lõikes. Sesoonselt jaotusest on näha, et uuritava perioodil leiti kõige rohkem juhtumeid juulis (375) ja augustis (407). Suvised juhtumid olid peamiselt seotud äikeste ja nendega kaasnenud pagidega. Kõige vähem juhtumeid oli märtsis (27). Soojal poolaastal (aprillist septembrini) oli keskmiselt 236 tugevast tuulest tingitud juhtumit aastas (joonis 11).



Joonis 11. Tormituule ja pagide sesoonne jaotus perioodil 1997–2019.

Oluline märkida, et sügisesed ja talvised juhtumid olid seotud enamasti tsükloonaalsete tormidega – mitte küll kõik, aga suurem osa kindlasti. Suure raportite arvu poolest kerkisid esile oktoober ja detsember. Ülejäänud kuudel, näiteks septembris ja novembris, oli tormiseid päevi vähem. Põhjuseks on eeskätt see, et tsükloonaalsete tormide andmeid on kogutud vaid 5 aastat ja selle aja sees pole veel septembrisse ja novembrisse ühtki väga suurt tormi jäänud. Näiteks oktoobrikuu raportite rohkusesse panustas oluliselt üks konkreetne torm 29. oktoobril 2019, mis rasis peamiselt Lõuna-Eestit. Edasistes uuringutes võiks pagisid ja tsükloonaalseid torme eraldi käsitleda ja näiteks juhtumite kaupa põhjalikult uurida, millised tsükloonaalsed tormid on põhjustanud tugevamaid tuuli ja kahjustusi. Huvitav oleks välja selgitada selliste tormidega kaasnenud kahjustuste iseloom, ulatus ja suurus. Et tsükloonaalsed tormid on laia ulatusega, saaks nende andmestikku saaks täiendada ka Riigi Ilmateenistuse arhiivi tuuleandmete põhjal.

Ööpäevasest jaotusest on näha, et tormituule ja pagidega seotud sündmusi esines kõige rohkem kella 15–18 vahel (kokku 880), mis moodustab 42,8% kõigist fikseeritud juhtumitest. Kõige vähem sündmusi tuvastati kella 00–10 vahel (kokku 288) (joonis 12). Põhjus, miks neid sündmusi oli rohkem pärastlõunal, seisneb selles, et pärastlõunal on äikese aktiivsus üldiselt kõrgem. Kui on rohkem äikest, siis on ka sellega kaasnevaid pagisid tõenäoliselt rohkem.



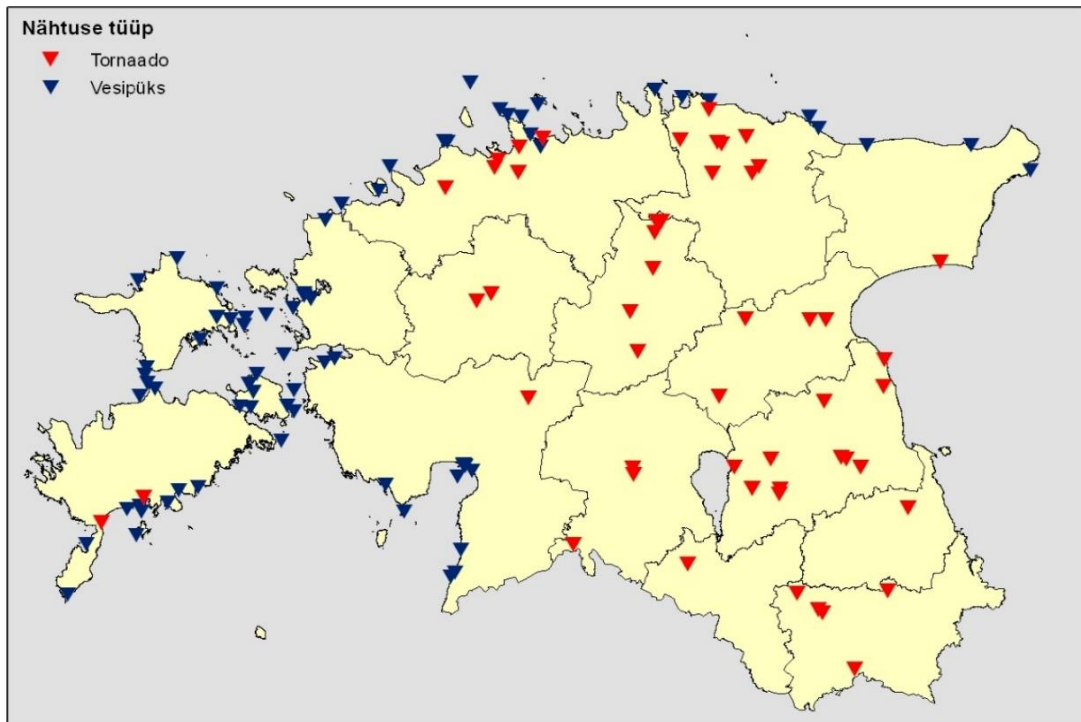
Joonis 12. Tormituulte ja pagide ööpäevane jaotus perioodil 1997–2019 suveaja järgi.

3.4 Vesipüksid ja tornaadod

Perioodil 1997–2019 oli Eestis vähemalt 52 tornaado juhtumit ja 87 vesipüksi juhtumit. Uuritaval perioodil esines keskmiselt 2–3 tornaadot ja 3–4 vesipüksi aastas. Kõige rohkem tornaadosid oli 1998. aastal (vähemalt 8, aga on räägitud ka 24-st, kuid tõenäoliselt polnud need kõik tornaadod, vaid pigem tugevad pagid, mis tegid suurt laastamistööd). Kõige suurem väljakutse vanade juhtumite puhul ongi tornaadode eristamine tugevatest pagidest/allapuhetest. See on keeruline, sest sageli puuduvad fotod või videod kahjustustest. Alati ei piisa ainult kirjeldustest. Mis puudutab vesipükse, siis neid vaadeldi Eesti vetes kõige rohkem 2015. aastal (13 juhtumit) ja 2017. aastal (14 juhtumit). Võrdluseks, nt Soomes leiti perioodi 1997–2007 kohta kokku 169 juhtumit (Rauhala et al. 2011).

3.4.1 Vesipükside ja tornaadode ruumiline jaotus

Ruumilisest jaotusest näeb, et tornaadosid esines rohkem Pärnu-Tallinna mõttelisest joonest idas, kuid paar võimalikku juhtumit tuvastati ka Saaremaal. Maakonniti oli tornaadosid enim Tartumaal (11), sellele järgnesid Lääne-Virumaa (8), Järvamaa (6), Harjumaa (6) ja Võrumaa (5). Ülejäänud maakondades oli vaid üksikuid juhtumeid ning Läänemaa ja Hiiumaa kohta ei leitud ühtegi tornaadot. Vesipükse esines põhiliselt Saaremaa ja Hiiumaa ümbruses, Liivi lahel ja Soome lahel. Üks juhtum tuvastati ka Narva veehoidlal, kus vesipüks oli viinud kalamehe paadiga üle Eesti-Vene kontrolljoone. See leidis aset 16. juulil 2001 (joonis 13).

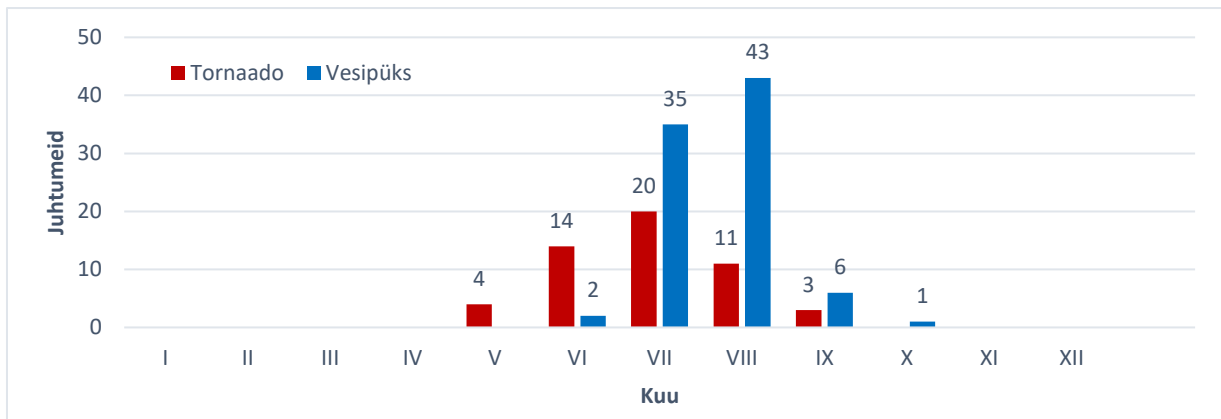


Joonis 13. Vesipükside ja tornaadode ruumiline jaotus Eestis perioodil 1997–2019.

3.4.2 Vesipükside ja tornaadode sesoonne ning ööpäevane jaotus

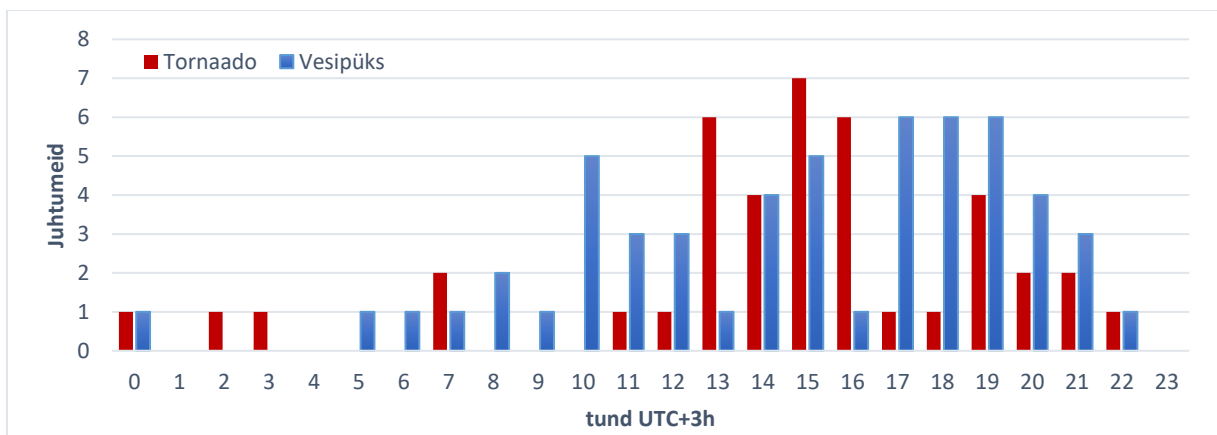
Sesoonsest jaotust on näha, et tornaadodega seotud juhtumeid esines maist septembrini. Kõige rohkem tornaadodega seotud juhtumeid tuvastati juunis (14) ning juulis (20). Vesipükse oli uuritava perioodil enim juulis (35) ja augustis (43). Kaks vesipüksiga seotud juhtumit tuvastati mais ja üks juhtum oli ka oktoobris (joonis 14). Tornaadode ja vesipükside teke sõltub väga palju õhutemperatuurist. Näiteks juulis, mil esines tornaadode maksimum, on maismaal õhutemperatuur tihtipeale just kõige kõrgem. Kui õhutemperatuur on kõrge (üle 25 kraadi), õhumass väga niiske ja ebapüsiv, esineb tugev tuulenihe, siis võivad areneda võimsad äikesed, mis on võimelised põhjustama ka tornaadosid.

Vesipükside maksimum augustis on põhjendatav kõrge mereveetemperatuuri ja atmosfääri tsirkulatsiooniga. Üldiselt sageneb augustis jahedamate õhumasside pealetung. Kui külm õhk liigub sooja merevee kohale (põhjustades suurt vertikaalset temperatuuri gradienti) ja käivitub konvektsioon (mere kohal areneb rünk- või rünksajupilvi), siis on ka vesipükside teke soodustatud. Seda juhtub augustis ja tegelikult ka septembris üsna tihti. Rauhala *et al.* (2011) jõudsid oma varasemas töös sarnase tulemuseni, milles leiti, et perioodil 1796–2007 oli Soomes tornaadode maksimum juulis ja vesipükside maksimum augustis. Euroopas tervikuna on tornaadosid enim juulis ning kõige vähem detsembris. Vesipükside maksimum on aga augustis ja miinimum märtsis (Kühne ja Groenemeijer, 2014).



Joonis 14. Vesipükside ja tornaadode sesoonne jaotus perioodil 1997–2019.

Ööpäevasest jaotusest on näha, et tornaadode maksimum oli pärastlõunal kella 15 paiku. Vesipükside puhul selget maksimumi välja ei tulnud, aga on näha, et enim juhtumeid on aset leidnud just pärastlõunal ja õhtul (joonis 15). Oluline on täpsustada, et tornaado on seotud üldjuhul äikesepilvega, samas kui vesipüksil seda ilmingimata vaja pole. Lisaks teib vesipüks vee kohal ja selle ööpäevane temperatuur on erinevalt maismaast ühtlane. Seega pole vesipükside ühtlasem ööpäevane jaotus ja ka väike maksimum näiteks kell 10 hommikul nii üllatav.



Joonis 15. Tornaadode ja vesipükside ööpäevane jaotus 1997–2019 suveaja järgi.

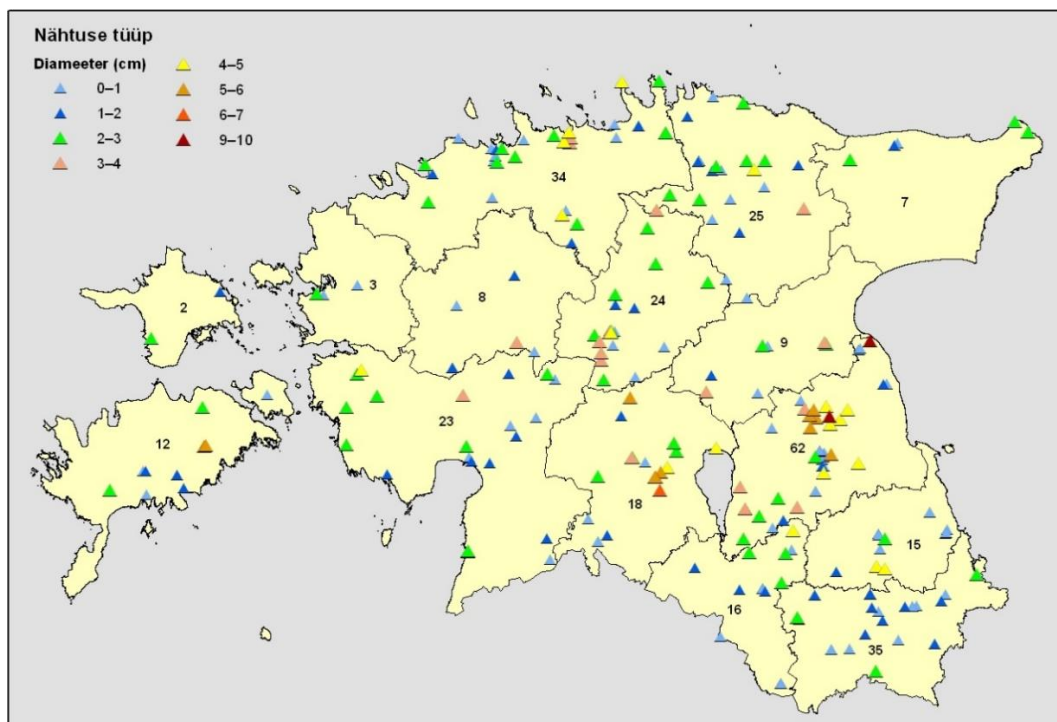
3.5 Rahe

Perioodil 1997–2019 tuvastati Eestis kokku 717 rahega seotud juhtumit, mis teeb aastas keskmiselt 31 rahe juhtumit. Põhjalikumaks analüüsiks valiti ainult need juhtumid, mille puhul oli teada raheterade läbimõõt. Seega jäi valimisse 293 juhtumit, kus raheterade läbimõõt algas poolest sentimeetrist. Hiidrahe (diameeter vähemalt 2 cm) põhjustas kõige sagedamini

kahjustusi aia- ja põllukultuuridele, kasvuhoonetele, puudele ja metsadele, majadele, autodele ning üksikutel juhtudel said isegi loomad ja linnud vigastada. Näiteks teatati 13. mail 2010 hukkunud linnupoegadest Pärnumaal Sauga alevikus. Selliseid juhtumeid, kus rahe oleks otseselt inimest vigastanud, ei tuvastatud. Küll aga juhtus 8. juuli 2019 Saaremaal Sutu külas intsident, mille käigus üks mikrobussi juht kaotas masina üle libeda tee tõttu kontrolli ja sõitis teelt välja kraavi katusele. Õnneks pääses juht vigastusteta. Enne seda oli äikese ajal maha sadanud 4 cm paksune rahekiht, mille kohal esines veel külm uduvine. Raheterad olid 0,5–1 cm läbimõõduga.

3.5.1. Rahe ruumiline jaotus

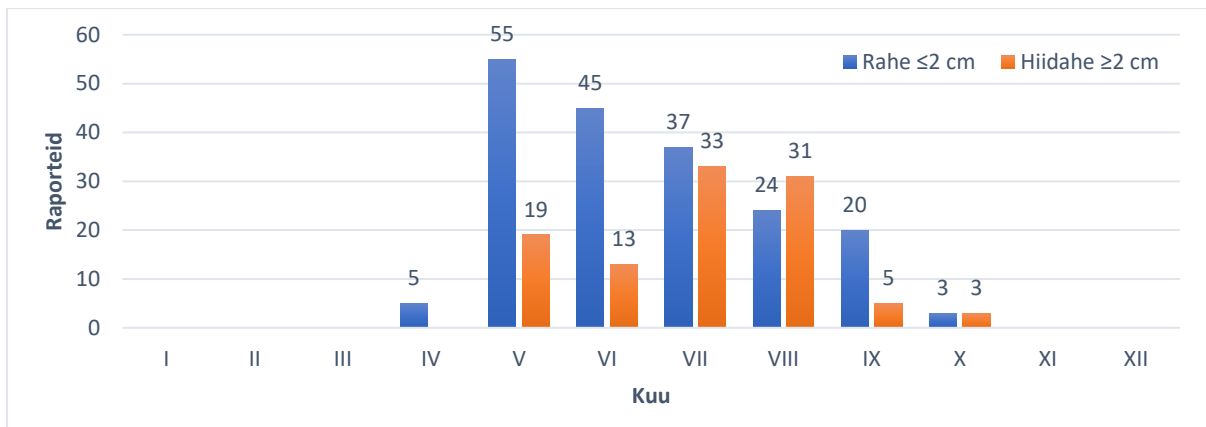
Ruumilisest jaotusest (joonis 16) on näha, et kõige rohkem oli rahe juhtumeid Tartumaal (62). Sellele järgnesid Võrumaa (35), Harjumaa (34) ja Lääne-Virumaa (25). Ülejäänud maakondades oli juhtumeid vähem. Kõige vähem rahe juhtumeid tuvastati Hiiumaal – kõigest 2. Seal on suvel ka äikest oluliselt vähem maismaaga võrreldes (Eiber, 2014; Enno, 2014). Hiidrahet (diameeter vähemalt 2 cm) sadas rohkem Pärnu-Tallinna möttelisest joonest ida pool. Hiidrahe juhtumeid tuvastati enim Tartumaal – kokku 21. Sellele järgnesid Harjumaa (16), Järvamaa (13), Viljandimaa (12) ja Pärnumaa (10).



Joonis 16. Rahe ruumiline jaotus perioodil 1997–2019.

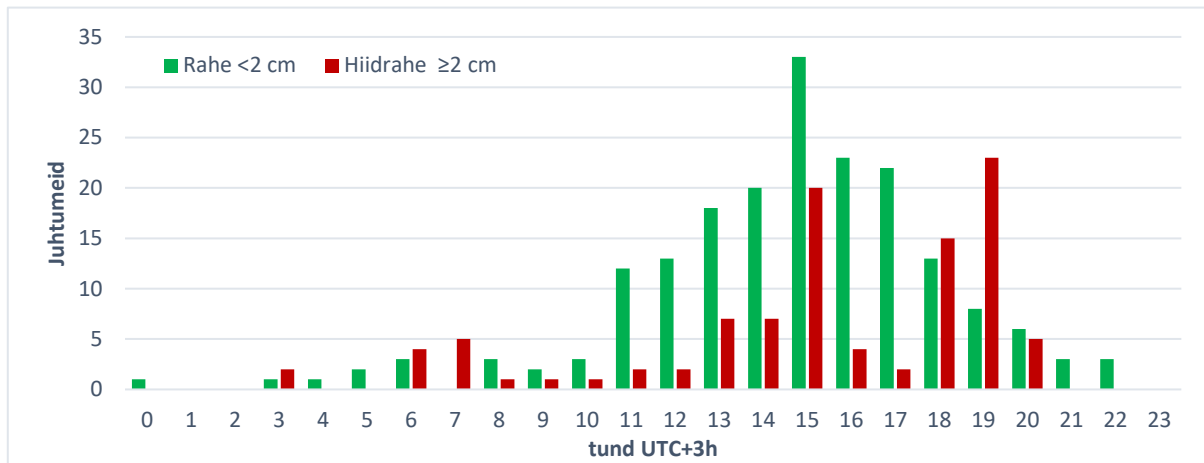
3.5.2 Rahe sesoonne ja ööpäevane jaotus

Sesoonsest jaotusest (joonis 17) on näha, et rahet sadas Eestis enamasti aprillist oktoobrini. Rahe sündmuste arv kasvas hüppeliselt kevadel. Kõige rohkem sadas väikese läbimõõduga rahet ja selle maksimum oli maikuu – 55 juhtumit. Hiidrahet (diameeter vähemalt 2 sentimeetrit) sadas kõige rohkem juulis - 33 juhtumit, samas augustis oli vaid paar juhtumit vähem ehk kokku 31. Seejuures 48,4% kõigist augustikuu hiidrahe sündmustest moodustas 12. august 2015. See oli päev, mil üle Viljandimaa ja Tartumaa põhjaosa liikusid äikesepilved ühes hiidrahega, mille diameeter küündis kohati 5 sentimeetrini ja üle selle. Sügise saabudes hakkas rahe sündmuste arv kiiresti vähenema (joonis 16).



Joonis 17. Rahe sesoonne jaotus perioodil 1997–2019.

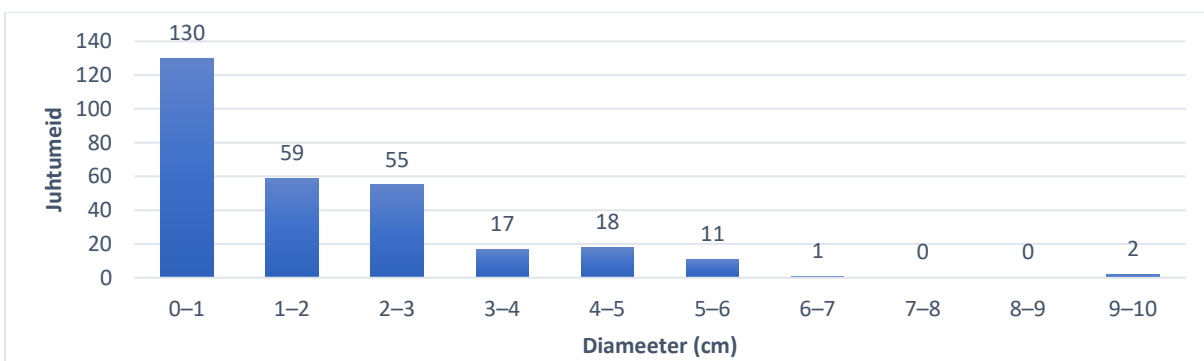
Rahe ööpäevasest jaotusest (joonis 18) on näha, et rahet sadas kõige vähem öösel ja varastel hommikutundidel ning kõige rohkem pärastlõunal ning õhtusel ajal. Väikese läbimõõduga rahet sadas enim pärastlõunal kell 15 (33 juhtumit). Hiidrahega (terade diameeter vähemalt 2 cm) seotud sündmusi tuvastati kõige rohkem pärastlõunal kell 15 (20 juhtumit) ja õhtul kella 18–19 paiku (38 juhtumit). Õhtust maksimumi mõjutab märkimisväärselt 12. augusti 2015 rahetorm, mis moodustas 42,1% kõigist kella 18–19 paiku esinenud juhtumitest uuritava perioodil. Võrdluseks, nt Tuovinen *et al.* (2008) leidsid, et perioodil 1930–2006 sadas Soomes hiidrahet kõige sagedamini kella 14–20 vahel. See on heas kooskõlas käesoleva töö tulemustega.



Joonis 18. Rahe ööpäevane jaotus perioodil 1997–2019 suveaja järgi.

3.5.3 Raheterade suurus

Valim, mida analüüsiti, sisaldas 293 juhtumit. Raheterade läbimõõtu algas poolest sentimeetrist. Kõige rohkem tuvastati väikese läbimõõduga rahet (diameeter alla 2 cm) ja neid juhtumeid oli kokku 189. Alla 2 cm rahe moodustas 64,5% kõikidest juhtumitest. Selline rahe märkimisväärseid kahjustusi ei põhjustanud. Hiidrahega seotud sündmusi oli kokku 104 – enim sadas 2–3 cm läbimõõduga raheteri. Osadel juhtudel täheldati isegi 5 sentimeetrist või sellest suuremat rahet. Neid oli kokku 14, moodustades 4,8% kõigist 293-st juhtumist. Mitteametlikel andmetel mõõdeti paaril korral raheterade läbimõõduks väidetavalt kuni 9 sentimeetrit. Räägitud on isegi 12 cm suurusest rahest, mida sadas 29. mail 2000, kuid selle kohta puuduvad samuti ametlikud kinnitused. Sellest olevat teada andnud üks taluperemees – allikates polnud paraku täpsustatud, kas seda vaadeldi Tartumaal või Jõgevamaal (joonis 19).

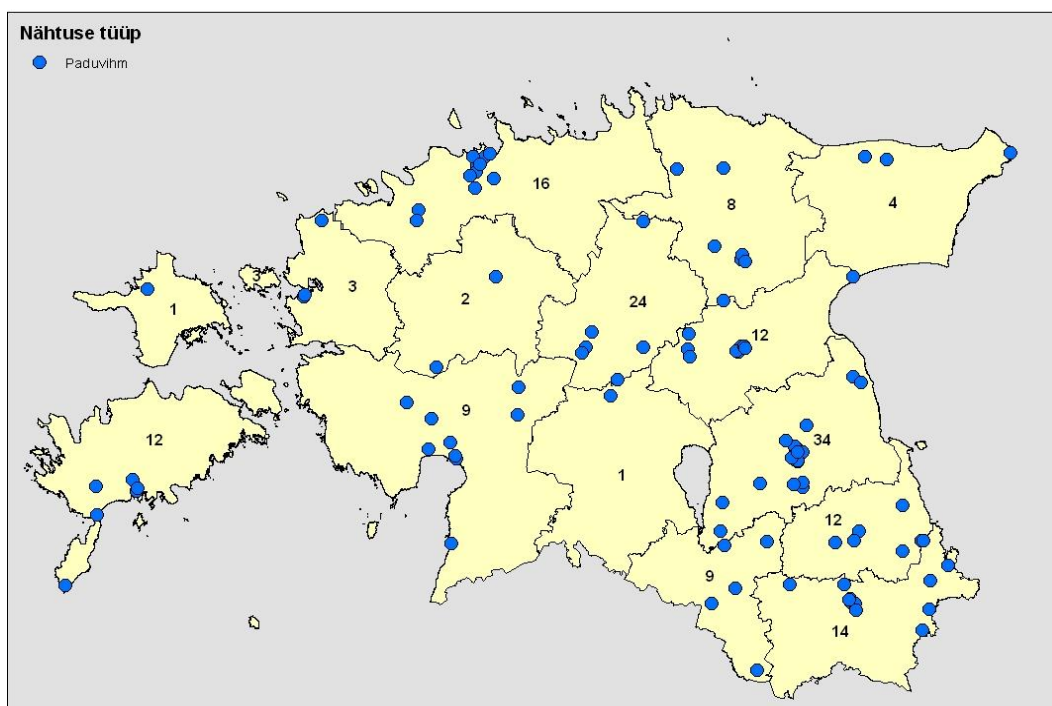


Joonis 19. Raportite arv vastavalt rahetera läbimõõdule perioodil 1997–2019.

3.6 Paduvihm

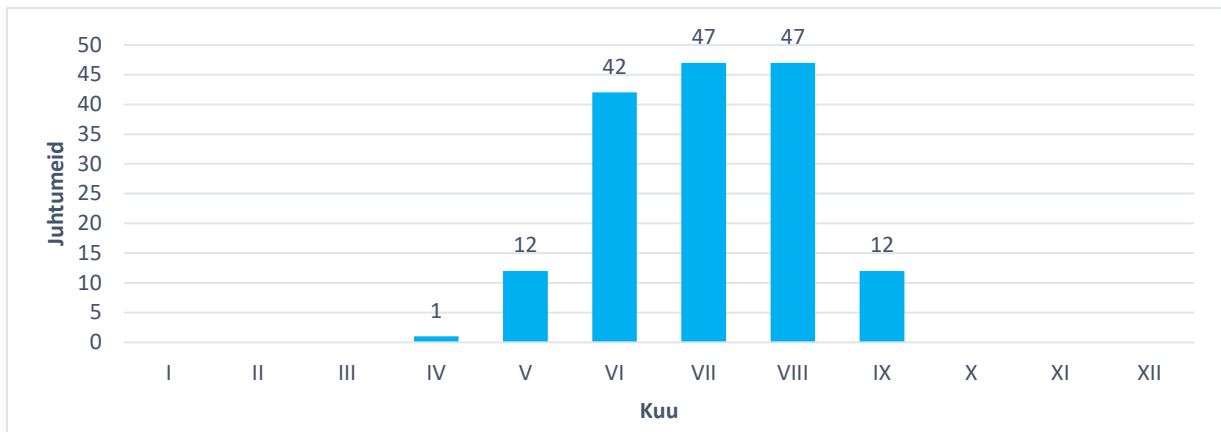
3.6.1 Paduvihmade ruumiline ja sesoonne jaotus

Perioodil 1997–2019 leiti 161 paduvihmaga seotud juhtumit. Tugevad vihmajad põhjustasid enamasti üleujutusi ja kahjustasid aia- ning põllukultuure. Paduvihmakaardilt (joonis 20) on näha, et juhtumite asukohad paiknevad üsna ebaühtlaselt. Kõige rohkem juhtumeid tuvastati Tartumaal (34). Sellele järgnesid Järvamaa (24), Harjumaa (16), Võrumaa (14) ja Saaremaa (12). Ülejäänud maakondades oli paduvihma juhtumeid vähem. Hästi eristuvad veel suurlinnad, mida mida illustreerib suurem raportite arv. Lisaks sellele, et suurlinnades on rohkem vaatejaid, on nendes ka enamik pinnasest asfalteeritud, mis tähendab, et vihmavee äravool on raskendatud ja vihmaveest tingitud probleemid on seega kerged tekkima.



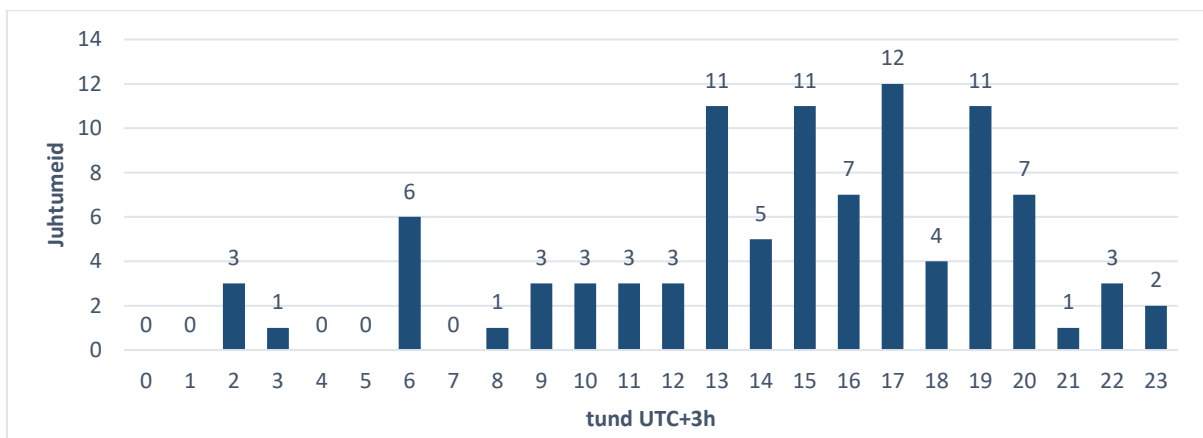
Joonis 20. Paduvihma juhtumid perioodil 1997–2019.

Sesoonsest jaotusest on näha, paduvihmaga seotud sündmusi oli peamiselt soojal poolaastal (aprillist septembrini). Enim sündmusi leidis aset juunist augustini (joonis 21). Siin on selge seos äikesega olemas, sest äikest esineb rohkem suveperioodil ja siis on ka rohkem äikesevihmasid. Kevad-, sügis- ja talvekuudel oli juhtumeid vähe või üldse mitte. See on heas kooskõlas Kameniku (2013) töö tulemustega, kes leidis, et kevadel oli äikesesademetes osatähtsus 5–15%, sügiskuudel vaid 3–9% ja talvekuudel üsna nullilähedane. Suvekuudel oli selleks tema tulemuste kohaselt 35–55%.



Joonis 21. Paduvihmade sesoonne jaotus perioodil 1997–2019.

Ööpäevase jaotuse valim koosnes 98-st juhtumist, mida analüüsi. Selgus, et paduvihma juhtumeid oli enim pärastlõunal ja õhtul. Üksikuid sündmusi esines ka öösel ja varahommikul. 82 juhtumit olid seotud äikesega, 4 lõunatsükloniga ja ülejäänud 12 juhtumi puhul äikest ei täheldatud. Väga palju mängib siin rolli aluspinna tüüp ja temperatuur, sest näiteks suvel on päeva teises pooles maismaa kohal õhk üldiselt kõige soojem ja seega on seal konvektiivseid sademeid rohkem (joonis 22).



Joonis 22. Paduvihmade ööpäevane jaotus perioodil 1997–2019 suveaja järgi.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö peamiseks eesmärgiks oli koostada võimalikult põhjalik ja ammendav andmestik ohtlikest ilmanähtustest perioodil 1997–2019 ning neid andmeid kasutades analüüsida ohtlikest ilmanähtustest ajalis-ruumilist muutlikkust Eestis. Töö teiseks eesmärgiks seati tulevikus nende nähtuste kättesaadavaks tegemine Euroopa ohtlikest ilmanähtustest andmebaasis ja selle kaudu kogu maailma teadlastele, kes saavad hiljem antud töö raames kogutud andmeid kasutada. Uurimus tugineb põhiliselt Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrgu andmebaasi andmetel, mida autori poolt enne analüüsimist kontrolliti ja oluliselt täiendati. Täiendamisel kasutati riiklike ajalehti, maakonnalehti, sotsiaalmeediat jms ning leiti 1513 uut vaatlust, mis lisati andmebaasis varem olnud 1888 vaatlusele.

Uuritaval perioodil tuvastati kokku 52 tornaadot, 87 vesipüksi, 161 paduvihma juhtumit, 308 välgukahjustust, 717 rahe juhtumit ning 2076 tormituule ja pagide juhtumit. Nendest viimased olid ka suurima esinemissagedusega. Selgus, et igal aastal on Eestis keskmiselt 90 tugevast tuulest tingitud kahjustuste juhtumit, mis on seotud enamasti murdunud puude ja elektrikatkestustega.

Ruumilise analüüsi tulemused näitasid, et tormituule ja pagi sündmuste asukohad paiknesid Eesti territooriumil enamjaolt ühtlaselt. Selgemini eristusid aga suurlinnad, nagu näiteks Tallinn, Tartu ja Pärnu, kus on ka rohkem vaatlajaid. Väiksemal määral olid esindatud hõredama asustusega piirkonnad. Maakonniti oli tormituule ja pagi juhtumiteid kõige rohkem Lääne-Virumaal, Pärnumaal ja Tartumaal. Tornaadosid esines põhiliselt Pärnu-Tallinna mõttelisest joonest ida pool. Maakonniti oli enim juhtumiteid Tartumaal (11) ja Lääne-Virumaal (8). Vesipükse esines peamiselt Hiiumaa ja Saaremaa ümbruses, Liivi lahel ning Soome lahel. Erandiks osutus üks sündmus, mis oli aset leidnud Narva veehoidlal. Paduvihma juhtumite asukohad olid aga väga ebahetlaselt jaotunud, kuid paremini eristusid jällegi suurlinnad, kus lisaks vaatlajate suuremale arvule tekkisid asfalteeritud pinnase tõttu tugeva saju korral ka üleujutused kergemini. Enim paduvihma juhtumiteid oli Tartumaal (34) ja Järvamaal (24). Suurem osa välgukahjustustest esines Kesk-Eestis ning Ida-Eestis, vähem Lääne-Eestis ja saartel. Maakonniti oli neid enim Lääne-Virumaal (31), Võrumaal (30) ja Harjumaal (29), kus esineb ka palju äikest. Rahe juhtumiteid tuvastati kõige rohkem Tartumaal (62) ja Harjumaal (34). Hiidrahet (diameeter vähemalt 2 cm) sadas oluliselt rohkem Pärnu-Tallinna mõttelisest piirist ida pool, mandri lääneservas ja saartel oli juhtumite arv väiksem.

Sesoonseid jaotusi analüüsides selgus, et ohtlikest ilmanähtustest sagedus oli oluliselt kõrgem soojal poolaastal. Tormituule ja pagide arvukus oli kõrgeim juulis (375) ja augustis (407). Välgukahjustusi esines peamiselt maist-augustini ning maksimum esines juulis – 120 juhtumit. Lisaks tuvastati juulis uuritava perioodi suurim välgulöövide arv – kokku 903 055 välgulööki. Tornaadosid oli enim juunis (14) ja juulis (20). Vesipükse oli kõige rohkem juulis (35) ja

augustis (43), kaks juhtumit tuvastati isegi mais ning üks oktoobris. Rahet sadas peamiselt aprillist oktoobrini. Väikese läbimõõduga rahe juhtumeid tuvastati enim mais (55) ja hiidrahet juulis (33) ning augustis (31). Paduvihmasid esines peamiselt juunist–augustini

Ööpäevased jaotused näitasid, et ohtlikke nähtusi esines kõige rohkem pärastlõunal ja õhtul. Siis on ka õhutemperatuur tavaliselt kõige kõrgem ja tingimused äikesepilvede arenguks parimad. Näiteks tormituule ja pagide selge maksimum esines kella 15–18 vahel, mis moodustas 42,8% kõigist juhtumitest. Pagi juhtumid olid heas kooskõlas nii välgulöökkide kui ka välgukahjustuste maksimumiga, mis jäid samasse ajavahemikku. Tornaadode maksimum esines samuti kella 15 paiku, kuid vesipüksi puhul selget maksimumi välja ei tulnud. Küll aga oli vesipükse esinenud rohkem päeva teises pooles. Paduvihma ja rahet sadas ka sagedamini pärastlõunal ning õhtul. Väikse läbimõõduga rahe maksimum esines kella 15 paiku ja hiidrahet sadas kõige rohkem kell 15 ning kell 19.

Severe weather phenomena in Estonia during 1997–2019

Kairo Kiitsak

Summary

This thesis is dedicated to the climatological aspects of severe weather phenomena in Estonia. The first aim is to compile a comprehensive and exhaustive database of severe weather phenomena in Estonia during 1997–2019. The second aim is to use this database to investigate the frequency, and spatial and temporal distribution of severe weather phenomena in Estonia. There is also an ultimate goal to make the used data available in the European Severe Weather Database where researchers all around the world would be able to access it. The study bases on the Estonian Thunderstorm Observers Network (ETON) database which was checked and significantly improved by the author. The database initially contained 1888 severe weather reports. It was improved by the author by inserting additional severe weather reports gathered from national and local newspapers, social media etc. In total, 1513 new severe weather reports were found and added to the database by the author.

During the study period, a total of 52 tornadoes, 87 waterspouts and 161 heavy rainfall cases, 308 damaging lightning cases, 717 hail cases and 2076 severe wind cases were reported. It was found that severe wind was the most common severe weather phenomenon in Estonia during the study period. On average, there were approximately 90 reported severe wind cases per year. The wind damage was mostly related to broken trees and power outages.

The spatial analysis revealed an uneven spatial distribution of severe wind events in Estonia. Highly populated cities with more observers, such as Tallinn, Tartu and Pärnu were characterized by more reports whereas sparsely populated areas were less represented. The highest number of severe wind events were found in Lääne-Viru County, Pärnu County and Tartu County. Tornadoes mainly occurred to the east of Pärnu-Tallinn line. The highest number of tornado cases were found in Tartu County (11) and Lääne-Viru County (8). Waterspouts mainly occurred over the Baltic Sea near the islands of Hiiumaa and Saaremaa, and also over the Gulf of Riga and Gulf of Finland. An interesting exception was one event that was reported at the Narva Reservoir. Heavy rainfall events were also very unevenly distributed with more events in bigger cities. This is probably the combination of more observers and lack of drainage as there is little open soil. The highest number of heavy rainfall cases were detected in Tartu County (34) and Järva County (24). Most of the lightning damage occurred in central Estonia and eastern Estonia, less in western Estonia and on the islands. Most cases were found in Lääne-Viru County (31), Võru County (30) and Harju County (29). These areas were also characterised by a lot of lightning. Hail events were most frequent in Tartu County (62) and Harju County (34). Large hail (diameter at least 2 cm) occurred mainly to the east of the Pärnu-Tallinn line. The number of large hail cases was significantly lower in western Estonia. The

frequency of severe weather phenomena was much higher in the warm season. The highest number of severe wind events was found in July (375) and August (407). Lighting damage mainly occurred from May to August and peaked in July (120 reports). That is in a good accordance with the highest number of lightning strikes during the study period that was also observed in July - a total of 903 055 lightning strikes during the study period. Most of the tornadoes were observed in June (14) and July (12). The waterspout season peaked in July (35 reports) and August (43 reports). Two events were detected in May and one in October. Hail mainly occurred from April to October. Small hail (diameter less than 2 cm) was most common in May (55 cases). Large hail mainly occurred in July (33 cases) and August (31 cases). Heavy rain occurred mainly from June to August.

Severe weather phenomena were most frequent in the afternoon and in the evening hours. This is related to the diurnal peak of air temperature that triggers thunderstorms. For example, the diurnal maximum of the severe wind events occurred between 15–18 local time (UTC+3h) and accounted for 42.8% of all cases. This is coincident with the diurnal maximum of lightning strikes and lightning damage. Most of the tornadoes also occurred around 15 local time. For the waterspouts, the diurnal maximum was less pronounced, although they were more frequent in the afternoon and evening. Heavy rain and hail also occurred more frequently in the second half of the day. The maximum of small hail was around 15 local time and large hail events were most likely to occur around 15 and 19 hours local time.

Tänuavaldused

Soovin tänada mõlemat oma juhendajat Sven-Erik Ennot ja Jaak Jaagust asjatundliku juhendamise eest, panustatud aja ning heade nõuannete eest.

Kasutatud kirjandus

Alber, R., 2010. Äikese ajaline kestus ja sesoonne ning ööpäevane jaotus Eestis 1963–2008. Bakalaureuse töö, Tartu Ülikool.

Antonescu, B. 2014. Tornadoes in Romania. *American Meteorological Society*, 143, 689–701.

Avotniece, Z., Aniskevich, S., Briede, A., Klavins, M. 2017. Long-term changes in the frequency and intensity of thunderstorms in Latvia. *Boreal Environment Research*, 22, 415–430.

Bal, S. K., Saha, S., Fand, B. B., Singh, N. P., Rane, J., Minhas, P. S. 2014. Hailstorms: Causes, Damage and Post-hail Management in Agriculture. *NIASM Technical Bulletin – 5*, National Institute of Abiotic Stress Management, Pune, India.

Blair, S.F., Laflin, J. M., Cavanaugh, D. E., Sanders, K. J., Currens, S. R., Pullin, J. I., Cooper, D. T., Deroche, D. R., Leighton, J. W., Fritchie, R. V. Mezuel II, M. J., Goudeau, B. T., Kreller, S. J., Bosco, J. J., Kelly, C. M., Mallinson, H. M. 2017. High-resolution hail observations: implications for NWS warning operations. *American Meteorological Society*, 32, 1101–1119.

Cardoso, I., Pinto, O. Jr., Pinto, I. R. C. A., Holle, R. L. 2011. A new approach to estimate the annual number of global lightning fatalities. 14th International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE), 8–11 August, Rio de Janeiro, Brazil, 4.

Changnon, S. A., Chagnon, D., Hilberg, S. D. 2009. Hailstorms across the nation: An atlas about hail and its damages. *Contract Report*, 95.

Chilingarian, A., Khanikyants, Y. Mareev, E., Pokhsranyan, D., Rakov, V. A., Soghomonya, S. 2017. Types of lightning discharges that abruptly terminate enhanced fluxes of energetic radiation and particles observed at ground. *Journal of Geophysical Research*, 122, 7582–7599.

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*, D1, 4005.

Cică, R., Burcea, S., Bojariu, R. 2015. Assessment of severe hailstorms and hail risk using weather radar data. *Royal Meteorological Society*, 22, 746–753.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver, and M. Wehner, 2013:

Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Doschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. Cambridge University Press, 1029–1136.

Enno, S.-E. 2005. Pagituulte teke äikesepilvedes. Uurimistö. Tartu Ülikool, 2005.

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. *Atmospheric Research*, 100, 310–317.

Enno, S.-E., Briede, A., Valiukas, D. 2013. Climatology of thunderstorms in the Baltic countries, 1951–2000. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 309–325.

Enno, S.-E., 2014a. Thunderstorm and lightning climatology in the Baltic countries and in northern Europe. Doktoritöö, Tartu Ülikool.

Enno, S.-E., 2014b. Erakordselt võimsad äikesetormid Eestis 27. –28. juulil 2011. Küttim, M., Anderson, A., Mäe, K., Vaasma, T (toim). Eesti Geograafia Seltsi publikatsioonid XIV. Noorgeograafide sügissümposiooni artiklite kogumik, 134–150. Põltsamaa: OÜ Vali Press.

Enno, S.-E., Anderson, G., Sugier, Jacqueline. 2016. ATDnet Detection Efficiency and Cloud Lightning Detection Characteristics from Comparison with the HyLMA during HyMeX SOP. *American Meteorological Society*, 33, 1899–1911.

Enno, S.-E., 2019a. Vürk ja Pauk. Tallinn: Argo.

Enno, S.-E., Sugier, J., Alber, R., Seltzer, M. 2019b. Lightning flash density in Europe based on 10 years of ATDnet data. *Atmospheric Research*, 235.

Finney, D. L., Doherty, M. R., Wild, O., Stevenson, D. S., MacKenzie, I. A., Blyth, A. M. 2018. A projected decrease in lightning under climate change. *Nature Climate Change*, 8, 210–213.

Gatzen, C. P., Fink, A. H., Schultz, D. M., Pinto, J. G. 2019. An 18-year climatology of derechos in Germany, *Natural Hazards and Earth System Sciences*.

Hamid, K. 2012. Investigation of the passage of a derecho in Belgium. *Atmospheric Research*, 107, 8.

Holle, R. L. 2016. The Number of Documented Global Lightning Fatalities . 24th International Lightning Detection Conference & 6th International Lightning Meteorology Conference, 18–21 April, San Diego, California, USA.

Holle, R. L., and R. E. López. 2003. A comparison of current lightning death rates in the U.S. with other locations and times. *International Conference on Lightning and Static Electricity*, 16–18 September, Blackpool, England, 103-34 KMS, 7, 6–105.

Jaagus, J. 2003. Kliimamuutuse tendentsid Eestis 20. sajandi teisel poolel seostatuna muutustega atmosfääri tsirkulatsioonis. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, 93, 62–78.

Jaagus, J., 2006. Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 77–88.

Jaagus, J., Briede, A., Rimkus, E., Remm, K. 2010. Precipitation pattern in the Baltic countries under the influence of large-scale atmospheric circulation and local landscape factors. *International Journal of Climatology*, 30, 705–720.

Jaagus, J., Tammets, T. 2013. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 623–639.

Johns, R. H., Hirt, W. D. 1987. Derechos: Widespread Convectively Induced Windstorms. *Weather and Forecasting*. American Meteorological Society, 2, 32–49.

Jürissaar, M. 2000. Raheterad kui kanamunad. *Eesti Loodus*, september 2000.

Kallis, A., Tarand, I. 2017. *Eesti tornaadod*. Tallinn: Varrak.

Kamenik, J. 2013. Äikesesademete ajalis-ruumiline jaotus ja pikaajaline muutlikkus Eestis perioodil 1950–2005. *Bakalaureusetöö*, Tartu Ülikool.

Kühne, T., Groenemeijer, P. 2014. A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. *American Meteorological Society*, 142, 4775–4790.

MacGorman, D. R., and K. E. Nielsen, 1991: Cloud-to-ground lightning in a tornadic storm on 8 May 1986. *Monthly Weather Review*, 119, 1557–1574.

- Maddox, R. A., Gilmore, M. S., Doswell III, C. A., Johns, R. H., Crisp, C. A., Burgess, D. W., Hart, J. A., Piltz, S. F., 2013. Meteorological Analyses of the Tri-State Tornado Event of March 1925. *Electronic J. Severe Storms Meteor*, 8 (1), 1–27.
- Merilain, M., Tooming, H. 2003. Dramatic days in Estonia. *Weather*, 58, 119–125.
- Mäkelä, A., Schultz, D.M., Rossi, P. 2011. The Daily Cloud-to-Ground Lightning Flash Density in the Contiguous United States and Finland. *American Meteorological Society*, 139, 1323–1337.
- Mysław, D. C., Matuszko, D. 2014. An analysis of selected cases of derecho in Poland. *Atmospheric Research*, 149, 263–281.
- Papagiannaki, K., Lagouvardos, K., Kotroni, V. 2013. A database of high-impact weather events in Greece: a descriptive impact analysis for the period 2001–2011. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13, 727–736.
- Peterson, R. E. 1991. Johannes Letzmann: A Pioneer in the Studys of Tornadoes. *Weather and Forecasting* , 7, 166–184.
- Pinto, O. Jr., Pinto, I. R. C. A., de Faria, H. H. 2003. A comparative analysis of lightning data from lightning networks and LIS sensor in the North and Southeast of Brazil. *Geophysical Research Letters*, 30, 2, 1073.
- Price, C. 2009. Thunderstorms, Lightning and Climate Change. *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Laroche, P., Betz, H-D (toim), 521–535. Springer, Dordrecht.
- Púčik, T., Castellano, C., Groenemeijer, P., Kühne, T. 2019. Large Hail Incidence and Its Economic and Societal Impacts across Europe. *American Meteorological Society*, 147, 3901–3916.
- Põiklik, K., 1964. Üld- ja agrometeoroloogia. Kirjastus Eesti Raamat, Tallinn
- Rauhala, J., Brooks, H. E., Schultz, D. M. 2011. Tornado Climatology of Finland. *American Meteorological Society*, 140, 1446–1456.
- Rosenzweig, C. E, Iglesias, A. Yang, X. B., Epstein, P. R., Chivian, E. 2001. Climate change and extreme weather events - Implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change and Human Health*, 2, 90–104.

Schumacher, R. S. 2017. Heavy Rainfall and Flash Flooding. Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science.

Tammets, T. 2012. Eesti ilma riskid. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda.

Tarand, A., Jaagus J., Kallis, A. 2013. Eesti Kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

Taszarek, M., Allen, J., Púčik, T., Groenemeijer, P., B, Czernecki., Kolendowicz, L., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Schulz, W. 2019a. Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources. American Meteorological Society, 32, 1813–1837.

Taszarek, M., Czernecki, B. 2015. A Cloud-to-Ground Lightning Climatology for Poland. American Meteorological Society, 143, 4285–4304.

Taszarek, M., Gromadzki, J. 2017. Deadly tornadoes in Poland from 1820 to 2015. American Meteorological Society, 145, 1221–1243.

Taszarek, M., Pilguy, N., Orlikowski, J., Surowiecki, A., Walczakiewicz, S., Pilorz, W., Piasecki, K., Pajurek, Ł., Pórolniczak, M. 2019b. Derecho Evolving from a Mesocyclone - A Study of 11 August 2017 Severe Weather Outbreak in Poland: Event Analysis and High-Resolution Simulation. American Meteorological Society, 147, 2283–2306.

Toll, V. 2013. 2010. aasta augustitormi analüüs: sirgäikesetormi dünaamika modelleerimine HARMONIE mudeliga. Magistritöö, Tartu Ülikool.

Tooming, H. 2000. Tornado läks läbi rakvere. Eesti Loodus, september 2000.

Tuovinen, J. P., Punkka, A.J., Rauhala, J., Hohti, H. 2008. Climatology of Severe Hail in Finland: 1930–2006. American Meteorological Society, 137, 2238–2249.

Wapler, K. 2017. The life-cycle of hailstorms: Lightning, radar reflectivity and rotation characteristics. Atmospheric Research, 193, 60–72.

Voormansik, T., Rossi, P., Moisseev, D., Tanilsoo, T., Post, P. 2016. Eestis esinevate konvektiivsete tormide pilv-maa-välke ja rahet detekteerivad parameetrid kaksikpolarimeetrilise Doppleri ilmaradari andmete põhjal. Peterson, U., Lillemaa, T (toim). Kaugseire Eestis 2016, 97–106, Tartu Observatoorium.

Wurman, J., Kosiba, K., Robinson, P. 2014. The Role of Multiple-Vortex Tornado Structure in Causing Storm Researcher Fatalities. American Meteorological Society, 95, 31–45.

Internetiallikad

American Meteorological Society (AMS), 2012a. AMS Glossary of Meteorology. Mesocyclone. <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Mesocyclone> Viimati vaadatud 03.03.2020.

American Meteorological Society (AMS), 2012b. AMS Glossary of Meteorology. Nonsupercell tornaado. http://glossary.ametsoc.org/wiki/Nonsupercell_tornado Viimati vaadatud 03.03.2020.

American Meteorological Society (AMS), 2012c. AMS Glossary of Meteorology. Waterspout. <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Waterspout> Viimati vaadatud 03.03.2020.

Burt, C. C. 2014. World Rainfall Records for 24- and 48-Hour Periods. <https://www.wunderground.com/blog/weatherhistorian/world-rainfall-records-for-24-and-48hour-periods.html> Viimati vaadatud 05.04.2020.

Eesti Äikese- ja Tormivaatlejate Võrk (EÄV). <https://eav.meteo.net.ee/juhend1.php> Viimati vaadatud 26.04.2020.

European Environment Agency (EEA). 2019. Heavy precipitation in Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/precipitation-extremes-in-europe-3/assessment-1> Viimati vaadatud 26.04.2020.

European Severe Storms Laboratory (ESSL). <https://www.essl.org/> Viimati vaadatud 30.03.2020.

National Weather Service (NWS), 2020a. What is a microburst? https://www.weather.gov/bmx/outreach_microbursts Viimati vaadatud 03.03.2020.

National Weather Service (NWS), 2020b. Record Setting Hail Event in Vivian, South Dakota on July 23, 2010 <https://www.weather.gov/abr/vivianhailstone> Viimati vaadatud 24.03.2020

National Weather Service (NWS), 2020c. How hot is lightning? <https://www.weather.gov/safety/lightning-temperature> Viimati vaadatud 17.05.2020.

Riigi Ilmateenistus, 2019a. Torm. <https://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/kui-ilm-muutub-ohtlikuks/torm/> Viimati vaadatud 12.11.2019.

Riigi Ilmateenistus, 2019b. Ülevaade 12.–13.08.2017 äikesetormidest. <https://www.ilmateenistus.ee/2017/08/ulevaade-12-13-08-2017-aikesetormist/> Viimati vaadatud 12.11.2019.

Riigi Ilmateenistus, 2019c. Hoiatuste kriteeriumid.

<https://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/hoiatuste-kriteeriumid> Viimati vaadatud 12.11.2019

Riigi Ilmateenistus, 2019d. Rekordid. <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/rekordid> Viimati vaadatud 12.11.2019.

SKYbray. Microburst. <https://www.skybrary.aero/index.php/Microburst> Viimati vaadatud 24.03.2020.

The National Severe Storms Laboratory (NSW), 2020a. Severe Weather 101 – thunderstorm types. <https://www.NSW.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/types/> Viimati vaadatud 03.03.2020.

The National Severe Storms Laboratory (NSW), 2020b. Severe Weather 101 – types of damaging winds. <https://www.NSW.noaa.gov/education/svrwx101/wind/types/> Viimati vaadatud 03.03.2020.

The Vane – Gawker. 1,200-Mile-Long Line of Storms Batters Central U.S. on Thursday Night (03.10.2014) <http://thevane.gawker.com/1-200-mile-long-line-of-storms-batters-central-u-s-on-1641956485> Viimati vaadatud 03.03.2020.

Theweatherprediction. Dry microburst. <https://www.theweatherprediction.com/habyhints3/736/> Viimati vaadatud 03.03.2020.

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). 2019. Weather fronts. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-weather-works/weather-fronts> Viimati vaadatud 20.04.2020.

Lisa 1.

Valik tähelepanuväärseid sündmusi 1997–2019 suvedest

Toimumise aeg	Lühike kirjeldus
24.07.1997	Viljandimaal Pinska külas tappis maasse löönud välk 36-aastase naise, kellel jäi saadud elektrilaengust süda seisma.
13.08.1997	Võrumaal Rõuge vallas Kellamäe küla tabas tornaado. See viis minema turbapakkimise tsehhi, mitme maja katused, lõhkus maatas kolm talu, viis karjamaalt metsa lehma ja viskas eemale isegi ketis olnud koera. Piiri talus tekitatud kahjude suurus küündis üle 9000 euro.
1998 juuni–juuli	Väga erandlik aasta, mil Eesti territooriumil esines palju tornaadosid. Täpne arv pole teada, on räägitud kuni 24 tornaadost, aga tõenäoliselt polnud need kõik tornaadod.
11.06.1998	Ida-Virumaal Aidu karjääris lõi välk surnuks Püssi elaniku Sergei, kes oli 37-aastane.
06.07.1999	Ihaste, Luunja, Melliste kandis murdusid tornaado tõttu puud (vähemalt 10 põlispuud kokku). Marutuul lükkas ümber ühe betoonposti, viis ühelt majalt harjalauad, rullis saunakatuse, murdis kuuseheki ja õunapuid.
29.05.2000	Tartumaal ja Jõgevamaal sadas hiidrahet, mille läbimõõt oli kohati 4-9 cm. Teatati isegi 12-sentimeetrise läbimõõduga rahest, mille olevat leidnud üks taluperemees.
15.07.2000	Rakvere linnas tabas tornaado. Kannatada sai rohkem kui sada maja ja paljud garaažid Pagusoo äärelinnas. Rohkesti oli ka murdunud puid ja elektriliine. Tuule tänaval paiskas õhupööris mikrobussis istuvale mehele palgi läbi akna rinda ja ta hukkus. Tornaadost tingitud kahjustusi esines ka Sauste ja Kõldu külas. Kahjustuste põhjal hinnati tornaado tugevuseks T5-T6. Kahjud küündisid ligi 320 000 euroni.
26.06.2001	26. juunil Saaremaal tabanud võimas rahetorm hävitas paljude põllumeeste viljasaagi. Raheterade läbimõõt küündis kohati 5,5 sentimeetrini. Rahe tabas põhiliselt Veeriku ja Vanalõve küla ümbrust. Hävinesid ka kasvuhooned, mitmesugused aiataimed ja kahjustada said veel viljapuud.
16.–19.07.2001	Juuli teises pooles räsivad Eestit mitu päeva järjest võimsad äikesed, millega kaasnenud tugevad pagid põhjustasid kahju ligi 12,1 miljoni euro eest. Äikestega võisid kaasneda kohati ka tornaadod.
04.07.2002	Õhtul kella 19 paiku laamendas tornaado Keilas. Kokku sai kannatada 54 majapidamist. Kaks autot lendasid üle katuse. Tornaado murdis piirkonnas ka puid.

14.05.2003	Kurisoo farmi Aravete alevikus külasthanud tornaado viis ühelt laudalt katuse ja sein, lisaks rebis veel paljudelt teele jäänud majakatuselt plaate, lõhkus puid, aknaid ja kasvuhooneid.
05.– 06.08.2003	Suur vihmasedu Jõhvis. 6. augustil mõõdeti ilmajaamas 90 mm sademeid. Jõhvi jaama ilmapäevikus on juhataja märkus selle kohta, et sademete hulk 5. augusti kella 11.00-st 6. augusti kella 11.00-ni oli 131 mm.
07.09.2004	Õhtul tabas Virumaa rannakülasid rahesadu, mis lõhkus kasvuhooneid, hävitas kohati ligi poole puuviljasaagist ja tegi palju muud kahju. Eisma külas oli mitukümmend kasvuhoone klaasi lõhutud. Kahjustada said tomatid, kurgid ja viljapuud. Suuremate raheterade läbimõõt oli 2-3 cm.
09.08.2005	Tromb lõhkus Tõravere observatooriumi katuse, neli suurt kuuske ja kiskus vahtra pooleks. Esines ka elektrikatkestusi. Tuulest tingitud kahjustusi esines ka mujal.
22.08.2006	Paide linna tabas pärastlõunal keeristorm, mis murdis maha puid, lõhkus kümnekonna maja katused ja ühe sõiduauto Mazda ning tekitas veekahjustusi Järvamaa raamatukogule. Keeristorm jättis endast maha umbes 50-60 m laia kahjustustevööndi.
27.05.2007	Jõgevamaal sadas äikesevihma. Kalana kandis uputas vihm põlde ja rohke voolav vesi uhtus ära veetammi. Ümbruskonnas olid paljud põllud vee all. Loigud püsisid põldudel veel kuni 1. juunini. Esines pinnasekannet.
21.08.2007	Hommikul tabas Kurenurme piirkonda tornaado, ms tõi kaasa suuri purustusi. Majadelt lendas katuseid. Tormituul murdis üle 1000 tihumeetri puid Kurenurme raudteeülesõidu juures. Elektriliinid said ka kohati kahjustada.
23.– 24.08.2007	Räpinas Kastani tänav 16 majas käis ühe inimese köögis keravälk. See tuli korstna kaudu sisse, oli köögis umbes 40 sekundit ja lahkus akna kaudu välja.
25.– 26.08.2008	Riigi Ilmateenistuse andmetel mõõdeti Jõhvi vaatlusjaamas 116 mm sademeid kõigest 24 tunni jooksul.
13.06.2009	Jõgevamaal Kassinurme külas Matsi talus nähti keravälku. Ühel hetkel toimus väga tugev müristamine, siis klaasiklirin ja kõva pauk. Nähti oma silmaga, kuidas seinakontaktist tuli rusikasuurune ümmargune tuline kera mööda elektri-gaaspliidi juheta pliidi klaasist kaanele ja hakkas seal ringlema ning sademeid pilduma. Siis käis tugev pauk ja ei olnud enam tulist kera ega klaasiklirinat. Kahjustusi ei kaasnenu.
August 2010	2010. aasta suvi äikeseline. Eriline sündmus leidis aset 8. augustil, mil üle Eesti liikus lõunast põhja suunas hiidpahi. Suurimad pagidest tingitud kahjustused olid Lääne-Virumaa metsades. Tooma kandis puhang 31,9 m/s ja Väike-Maarjas 36,5 m/s. Tuul puhus Väike-Maarja kirikutorni ümber. Äikesed ühes pagidega tegid laastamistööd Eestis ka 14. –15. augustil.

27.– 28.07.2011	Eestit tabasid tugevad äikesed. 28 juulil arenes ligi 250 km pikkune pagiliin, millega kaasnes ka kõige suurem perioodil 2005–2013 registreeritud välgulöökide sagedus (Enno 2014). Riigi Ilmateenistuse andmetel mõõdeti Väike-Maarjas pagiks 35,4 m/s.
Suvi 2012	Suvi oli jahedapoolne, sajune ja äikeseline. Riigi Ilmateenistuse andmetel oli suviste sademete hulk Eesti keskmisena 263 mm. Tugevaid äikeseid oli näiteks ajavahemikus 28.-30.07.2012. Kuressaares võis esineda 29. juuli õhtul tornaado. Jõgevamaal Umbusi külas oli 30. juulil kindlalt tornaado.
18.05.2013	Õhtul kella 19 paiku rebis äikesega kaasnenud tugev allapuue lahti korterelamu katuse Hummuli alevikus. Maja juures olnud autod said kahjustada. Ümbruskonnas oli ka murdunud puid.
19.– 21.05.2014	Mai lõpp oli Eestis kuum. Mitmel pool esines äikest. Kaasnesid pagid. Kohati sadas 2-4 cm suurust rahet. Paari korral täheldati isegi võimalikke lehterpilvi.
2015 juuli– september	Paari kuu jooksul esines Eesti vetes vähemalt 13 vesipüksi. Näiteks 16. juulil märgati kahte fotogeenilist vesipüksi Väiksel väinal ja 6. septembril Soome lahel korraga 4 vesipüksi pöörlemas.
12.08.2015	Viljandimaal ja Tartumaal sadas 3-6 cm suurusega rahet, kohati teatati ka 7-9 cm suurusest rahest. Raheterad lõhkusid hoonete katuseid ja aknaid, mõlkisid autosid, lõhkusid kasvuhooneid ja tekitasid kahju nii aia- kui ka põllukultuuridele.
3.07.2016	Lõuna-Eestis murdsid äikesega kaasnenud tugevad pagid rohkelt metsasid. Kahjustada sai mitu hoonet, millele kukkusid puud peale. Valgjärve discgolfi rajal sai üks inimene langeva puuga pihta ning tal murdsid seeläbi mõned luud ülakehas ja tekkis pähe haav.
10.07.2016	Äikesega kaasnenud tugev vihmasedu põhjustas suuri üleujutusi mitmel pool Tallinnas. Näiteks Laagna teel olid autod sisuliselt vee all. Vesi tungis ka hoonetesse. Lisaks sai Tallinnas üks naine vihmavarju hoidnud käe pihta välgutabamuse.
2017 juuli – august	Eesti vetes esines vähemalt 14 vesipüksi, nendest 13 augustis ja üks juulis.
12.08.2017	Külma frondi äike liikus üle Eesti läänest itta. Osmussaarel mõõdeti pagiks 38,2 m/s. Äikesega kaasnes kohati 2-4 cm suurune rahe. Pagid laastasid metsasid: kõige rängemini Järvamaad ja Viljandimaad. Järvamaal Käreвете alevikus esines ka tornaado – fotod kahjustustest ja üks video viitasid sellele.
19.08.2017	Külma frondi äikesevöönd liikus mööda mandrit ida suunas. Pagid murdsid kohati puid ja lõhkusid hoonete katuseid. Simunas esines märkimisväärne allapuue (tuul puhanguti üle 25 m/s), mis murdis rohkelt puid, lõhkus kasvuhooneid, rasis viljapõlde ja kahjustas ühte elektriliini. Simunast 1-2 km eemal kahjustusi polnud.

23.– 24.08.2017	Lõunatsüklon põhjustas suurt vihmastu Kagu-Eestis (eelkõige Võrumaal ja Põlvamaal), kus 24 tunniga sadas 50-80 mm vihma. Esines üleujutusi ja kruusateed olid mõnel pool ära uhatud ning läbimatud. Osadel inimestel tungis vesi koduhoovi.
30.04– 1.05.2018	Aastaaja kohta ebatavaliselt võimas ja ulatuslik konvektiivsüsteem põhjustas öösel suurejoonelist äikese vaatemängu Saaremaal ja Liivi lahe ümbruses. Äikest võis näha ka Lõuna-Eestis. Vastu 1. mai hommikut äike nõrgenes kiiresti. Tugev äike jäi valdavalt Leedu ning Läti aladele.
12.08.2018	12. augusti hommikul nähti võimast vesipüksi Väinamerel, mis püüdis paljude inimeste tähelepanu. Päeval teatati veel vähemalt kahest vesipüksist merel.
26.09.2018	Pärnumaal Valgeranna kandis murdsid tugevad pagid hektarite jagu metsa.
Juuni 2019	Juuni oli soe ja üsna äikeseline. Kokku registreeriti juunis Eesti territooriumil 57 092 välgulööki. Suur osa välkudest esines 13. juunil. Siis registreeriti 35 928 välgulööki (Riigi Ilmateenistus). Tol hommikul sadas ka Türi ümbruses 3-4 cm läbimõõduga raheteri ja 50-60 mm vihma 2 tunniga.
11.08.2019	Raplamaal Koikse külas esines tornaado. Pealtnägijatel õnnestus seda eemalt ka filmida. Koikse külas sai ühe maja eterniitkatus natuke kahjustada ja oli murdunud puid.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kairo Kiitsak,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Ohtlikud ilmanähtused Eestis 1997–2019“, mille juhendajateks on Sven-Erik Enno ja Jaak Jaagus reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Kairo Kiitsak

22.05.2020