

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Eesti Mereakadeemia

Merenduskeskus

Veeteede lektoraat

Raldo Täll

**RÜNKSAJUPILVEDEGA KAASNEVAD OHTLIKUD
ILMANÄHTUSED LÄÄNEMEREL**

Lõputöö

Juhendajad: Jüri Kamenik

Lia Pahapill

Tallinn 2016

SISUKORD

SISUKORD	2
SÕNASTIK	4
SISSEJUHATUS	6
1. RÜNKSAJUPILVED JA ÄIKE	8
1.1. Äikese tekkimine ja areng	10
1.1.1. Äikese arengustaadiumid	11
1.2. Äikeste klassifikatsioon	14
1.2.1. Sünoptilise olukorra põhine liigitus	14
1.2.2. Äikese seos tsüklonitega	15
1.2.3. Organiseerumispõhine liigitus	16
2. RÜNKSAJUPILVEDEGA (ÄIKESEGA) KAASNEVAD OHTLIKUD ILMANÄHTUSED	18
2.1. Äikesega kaasnevate ohtlike nähtuste kirjeldus	18
2.1.1. Paduvihm	18
2.1.2. Välg	19
2.1.3. Pagi	22
2.1.4. Rahe	23
2.1.5. Õhukeerised (tornaadod ja vesipüksid)	25
2.2. Laevajuhtide kokkupuuted äikesega	27
3. ÄIKESEGA KAASNEVATE ÕNNETUSTE ENNETAMINE	29
3.1. Ohtlikud parameetrid äikese korral merel	29
3.2. Äikesekoolitused laevajuhtidele: probleemid ja ettepanekud	32

3.3. Infovahetus	33
3.4. Ilmateenistuse radarite jälgimine	34
KOKKUVÕTE.....	37
SUMMARY	38
VIIDATUD ALLIKAD.....	39
LISAD	42
Lisa 1. Küsitlusleht	42
Lisa 2. Asutused, kellega võeti ühendust antud töö käigus	44
Lisa 3. Tornaadode tugevuse skaalad	45

SÕNASTIK

rünksajupilv – *Cumulonimbus*

tropopausi läbiv rünksajupilve tipp - *overshooting top*

seinpilv – *wall cloud*

pilveserva madaldumine – *lowering*

lihtrünksajupilv – *single-cell thunderstorm / ordinary cell thunderstorm*

tornjas-sakmelised kõrgrünkpilved – *Alto cumulus castellanus*

madalad ehk hea ilma rünkpilved – *Cumulus humilis*

keskmised rünkpilved – *Cumulus mediocris*

võimsad ehk halva ilma rünkpilved – *Cumulus congestus*

tipploor – *pileus*

ümaratipuline rünksajupilv – *Cumulonimbus calvus*

rünksajupilve lame alasitaoline ülaosa – *Cumulonimbus incus*

tihe äikese-kiudpilv – *Cirrus spissatus cumulonimbogenitus*

liitrünksajupilv – *multicell*

joonpagi – *squall-line*

ülirünksajupilv – *supercell*

hiidpagi – *derecho*

labiilsusenergia – CAPE (*convective available potential energy*)

äkktulv – *flash flood*

õhu jahtumine aurustumise tagajärjel – *evaporational cooling*

kuivad üliirünksajupilved – *low precipitation supercells*

lumekruubid – *graupel*

lehterpilv – *funnel cloud*

akretsioon (*accretion*) – külgekasv (peamiselt jääste sademeosakeste kasv pilvedes olevate allajahtunud veetilkade kontaktkülmutumise teel või kontaktliitumine teiste jääste sademeosakestega, nt raheteradega)

tuulenihe (*wind shear*) – õhu liikumise kiiruse ja/või suuna oluline muutus juba väikese vahemaa (nt mõne saja meetri kuni mõne kilomeetri) tagant. Väga oluline rünksajupilvede arengus ja dünaamikas, määrab suures osas ära selle, mis liiki äikesed ja nendega seotud ohud saavad tekkida.

sadul (*col*) – piirkond õhurõhuväljas (baariline moodustis), milles paiknevad diagonaals kaks madalrõhuala (tsüklonit) ja kaks kõrgrõhuala (antitsüklonit)

konvektsioon (*convection*) – suurte ainehulkade liikumisega kaasnev soojuse levimine vedelikus või gaasis. Tekib raskusjõu toimele, sest erisuguse temperatuuriga piirkondades on keskkonna tihedus erinev. Atmosfääris mõistetakse konvektsiooni all õhu püstsuunalist liikumist. Konvektsiooni tõttu tekivad kõik rünk- ja rünksajupilved ning areneb äike.

mesotsüklon (*mesocyclone*) – rünksajupilve sees tekkiv spiraalne kallutatud tõusva õhu samm (diameeter 2–10 km), mesotsüklonit sisaldavat pilve nimetatakse ülirünksajupilveks (*supercell*); selle alla, tavaliselt keskele, võib tekkida tornaado. Purustused ja inimohvrid on seotud eelkõige mesotsüklonaalsete tornaadoga.

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö „Rünksajupilvedega kaasnevad ohtlikud ilmanähtused Läänemeres“ teema valikul arvestati asjaoluga, et Läänemere ümbruses peetakse kõige ohtlikumaks loodusjõuks äikest ja sellega kaasnevaid nähtuseid (Enno, 2005). See on tingitud sellest, et selles piirkonnas puuduvad suuremad looduskatastroofid, nagu näiteks maavärinad, vulkaanipursked või troopilised tsüklonid.

Laevajuhtide seisukohast võib rünksajupilvi koos äikesega pidada väga ohtlikeks, kuna need võivad tekkida väga kiiresti ja kaasa tuua mitmeid ootamatuid nähtusi, mis on meresõidule ebameeldivad (välk, pagi, paduvihm, vesipüks). Antud teema on väga aktuaalne merenduse valdkonnas, kuna viimaste aastatega on kasvanud väikelaevajuhtide ja harrastuslaevnikke osakaal. Lisaks puuduvad andmed õnnetuste kohta, mis on põhjustatud äikesest, käesoleva töö raames ei õnnestunud leida asutust, mis teeks Eestis sellekohast statistikat (Lisa 2).

Samuti pole laevajuhtidel piisavalt infot rünksajupilvede olemuse kohta, sest kõrgkoolis ja väikelaevajuhi kursustel räägitakse äikesest vaid väga vähesel määral ja pealiskaudselt – räägitakse mõnest üksikust ohust, samas jäetakse palju olulist informatsiooni vahele. Vastavasisuline eestikeelne materjal on enamasti hajutatud teadusväljaannetesse ja tavalugejale raskesti kättesaadav. Seega tuleks uurida, milline on laevajuhtide teadlikkus äikesest ja sellega seotud ilmariskidest. Lõputöö probleemküsimuseks on järgnev: **Kuidas pakkuda rünksajupilvede kohta olemasolevat informatsiooni laevasõidu ohutuse tõstmiseks?**

Lõputöö eesmärgiks on koostada materjal rünksajupilvedega (äikesega) seotud ilmariskidest ja uurida laevajuhtide teadlikkust rünksajupilvedega seonduvast, et välja selgitada parameetreid, mis määratleksid õhtliku äikese mõiste merenduses, samuti pakkuda välja võimalusi laevajuhtide teadlikkuse tõstmiseks. Lõputöö uurimusobjektiks on äikesega kaasnevad ohtlikud nähtused ja laevajuhtide teadlikkus antud valdkonnas.

Antud lõputöös kasutati kvalitatiivset uurimismeetodit. Koostati küsimustik, mis saadeti Eesti Laevajuhtide Liidule, mis omakorda edastas küsitluse laevajuhtidele. Küsitluses osales 20

vastajat, kellest 7 inimest küsitleti suuliselt. Samuti võeti ühendust erinevate asutustega e-posti teel, et välja uurida, kas ja kes teeb Eestis statistikat äikesega seotud õnnetuste kohta.

Lõputöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis kirjeldatakse rünksajupilvede ja äikese olemust. Seletatakse lahti äikese tekkimine ja arenguetapid, tuuakse näited äikese klassifikatsioonist – see peatükk on ühtlasi ka osa materjalist laevajuhtidele. Teises peatükis kirjeldatakse äikesega kaasnevaid ohtlikke nähtusi, kirjeldatakse nende ohtlikkust laevasõidule ja tuuakse välja laevajuhtide näited ohtlikest olukordadest merel. Kolmandas peatükis tuuakse välja ohtlikud parameetrid merel äikese korral ja pakutakse välja võimalusi, kuidas laevajuhtide teadlikkust äikesega seonduvast tõsta.

1. RÜNKSAJUPILVED JA ÄIKE

Ängistavalt palava suvepäeva pärastlõunal võib tihti jälgida, kuidas vatitupsude-sarnaste rünpilvede seas ilmub taevasse alasitaoline kõrgustesse pürgiv pilvemassiiv. Algul on ta päikesekiirtes pimestavalt ere, selgepiirilise sagaralise tipuga. Mõne aja pärast tõmbub pilve alus tumedaks, tipu teravad piirjooned hajuvad ning pilv nagu valgub mööda taeva laotust laiali, mattes enda alla päikese. Tõuseb tuul. Lindude muretu sädistamine vaikib. Ja juba raksatabki esimese välgu haraline siksak maa poole, tuues koos kõuemürinaga kaasa rasked vihmapiisad. Algab äike (Inimene ja ilm 1970, 99).

Kui püüda äikest defineerida, siis selgub, et enamikes allikates defineeritakse äikest ainult välkude ja müristamise kaudu. Lähemalt arutledes tuleb välja, et tegelikult on välgud ja müristamised juba toimunud protsesside tagajärjeks, seega vaid mõned paljudest äikese tunnustest. Selles kontekstis on kindlasti huvipakkuv küsimus, kas äike ilmneb ka ilma välkude ja müristamiseta. On olnud juhuseid, kus näiteks startiv lennuk vallandab välgu, kuid enne seda mingeid tüüpilisi äikese tunnuseid (välgud ja/või müristamine) ei olnud. Tegu on piiripealse olukorraga ehk tekib kahtlus, kas me saame nähtust pidada äikeseks või mitte. Eelnevat arvesse võttes tuleks äike defineerida täpsemate ja rohkem aspekte hõlmavate kriteeriumite kaudu, sest tegu on väga keerulise nähtuse kogumiga (Kamenik 2013, 22).

Äike on kompleksne elektriline atmosfäärinähtus, mis tekib tavaliselt tõusvate õhuvoolude ja konvektsioonpilvede (rünpilve- ja rünpilvede) intensiivse arengu tagajärjel ja mis koosneb mitmest komponendist, nagu rünpilvede, sajualad, õhuvoolude süsteemid, laengud ja muidugi välgud-müristamine – viimane ongi tüüpiliselt see, mida peetakse äikeseks (Kallis 2014, 132). Äikesevaatlustel on mõistlik ja kasutataksegi endiselt üksnes välgulöökidel tuginevat definitsiooni (Kamenik 2013, 22). Antud töös mõeldakse edaspidiselt äikese puhul pigem rünpilve, sest iga rünpilvega ei pruugi alati kaasnedä äike, kuid võivad kaasnedä teisid ohtlikud nähtused (pigi, vesipüks, paduvihm, rahe)

Äike tekib ainult rünpilvedes, kuid suuri elektrisädemeid (välke) tekib ka muudes nähtustes nagu lumetorm ja liivatorm. Samuti tekib välke tornaadode lehterpilvedes,

tuumaplahvatuspilvedes ja vulkaanide tuhasambais, kuid nende pidamine äikeseks on küsitav (AMS Glossary, 2012a; Kamenik 2013, 22).

Äikest põhjustav pilv (rünksajupilv – *Cumulonimbus*) peab olema küllalt suur, et oleks ruumi elektriväljade tekkeks ja et saaksid toimuda protsessid, mis viivad seal üles-alla liikuvate veepiiskade või jääkristallide laadumisele, ning teised, mis põhjustavad erinimeliste laengute eraldumist pilves (Kallis 2014, 132).

Rünksajupilved on suure vertikaalse ulatusega võimas pilvemass, mis on sageli mäe-, lillkapsa- või alasikujuline, jäätunud ülaosaga, kuid rünklik osa ei pruugi olla nähtav. Eestis võib olla rünksajupilvi aastaringselt, ent siiski kõige tavalisemad on soojal poolaastal (eriti just päeval või õhtusel ajal), kuid talvel märksa harvem ja avatud veekogude kohal või intensiivsetes tsüklonites (alla 980 hPa). Nad tekivad tugeva konvektsiooni tagajärjel, kuna vajavad tekkimiseks soojust ja niiskust. Just sellel põhjusel on neid soojal poolaastal märksa rohkem. Rünksajupilved koosnevad veetilkadest ja jääkristallidest. Selle ning väga suure paksuse ja veesisalduse tõttu annavad ka ohtralt sademeid. Olenevalt aastaajast ja õhutemperatuurist, võivad rünksajupilved anda mõõdukat või tugevat hoogvihma, hooglund, hooglörtsi, lumekruupe, jääkruupe ja rahet (Pilveaabits, 2015; Kamenik, 2015)

Rünksajupilvede ilmumisel tuleb alati valmis olla hoogsademeteks ja äikeseks koos kõikideks sellest tulenevateks ohtudeks. Mõnikord on rünksajupilved maskeerunud kõrgkiht- ja kihtsajupilvedega, mistõttu ootamatuid ilmapuutusi võib olla raskem ette aimata (Pilveaabits, 2015).

Rünksajupilvede alumine piir on tavaliselt 1000–1500 m kõrgusel, kuid pilve tipud on umbes 10–12 km kõrgusel (talvel ja külmas õhumassis enamasti mitte üle 7 km), ulatudes troopikas isegi 18 km kõrgusele. Mõnikord võivad rünksajupilvede tipud läbistada tropopausi (AMS Glossary, 2012b) – sel juhul on ka Eestis võimalik nende jõudmine enam kui 15 km kõrgusele (Ilmateenistus, Meitern, 2012). Rünksajupilvedes on nii tõusvaid kui ka laskuvaid õhuvoole, mille kiirus on 16–30 m/s, üksikutel juhtudel kuni 60 m/s. Pilvedes valitseb tugev turbulents ehk õhu kaootiline liikumine (Eesti ilma riskid 2012, 24).

1.1. Äikese tekkimine ja areng

Äike, st välkudega rünksajupilv, areneb soodsatel tingimustel rünkpilvedest (harva kõrgrünk- või kihtrünkpilvedest). Selleks on vajalik piisavalt tugev konvektsioon ehk õhu vertikaalne liikumine troposfääris. Esialgu on ülekaalus tõusvad õhuvoolud. Kui õhumass on sobivate omadustega (labiilne, st vertikaalsed liikumised on soodustatud), siis saavad areneda tugevad konvektsioonvoolud ja sellisel juhul võivad rünkpilvede tipud jõuda piisavalt suurde kõrgusesse (tavaliselt enam kui 6 km kõrgusele), et pilv muutuks kahefaasiliseks. Selline kahefaasiline pilv sisaldab nii vedelat kui tahket vett – pilve ülemine osa jäätub. Äikesevaatlustega on kindlaks tehtud, et kui pilve tipp ulatub isotermini $-22,5\text{ °C}$ (asub tavaliselt 6–7 km kõrgusel, mõnikord siiski ka madalamal), siis sellest hetkest tuleb pilvedest ohtralt sademeid ja võivad tekkida välgud (Jürissaar, 2007, 199; Kamenik, 2015).

Kui tõusev õhk on soe ja niiske, eraldub veeauru kondenseerumise tõttu palju varjatud soojust. See energia annab lisatõuke õhu kerkimiseks, võimendades pilve kasvu. Kui rünksajupilve telg on liikumissuunas ettepoole kallutatud, annab see võimaluse pilvede edasiseks organiseerumiseks. Viimane asjaolu ilmneb eeskätt tuulenihkelises õhumassis. Äikese arenemisel on oluline ka tingimus, et pilve ümbritseva keskkonna temperatuur kõrgusega kiiresti langeb – vähemalt sama kiiresti, kui märgadiabaatiline gradient (reeglina umbes $5\text{...}6\text{ °C/km}$). Sel puhul jääb tõusev õhk jahtumisel siiski ümbritsevast õhust soojemaks, mistõttu õhu tõus jätkub (Eesti ilma riskid, 2012, 24).

Troposfääri piirab ülevalt tropopaus, mis takistab konvektsiooni – ülesliikuv soe õhk valgub sellel kõrgusel laiali, moodustades pilve ülemise, sageli alasikujulise osa. Troopilistes piirkondades, kus on palju niiskust ja päike soojendab aluspinda väga tugevasti, langeb temperatuur kõrgusega kiiresti. Seetõttu on nendes piirkondades äikesed tavalisemad ja tugevamad, kui suurematel geograafilistel laiustel (Ibid.).

Tropopausi lähedal puhuvate tugevate tuulte tõttu võib pilve ülemine osa ehk alasi venida kuni 150 km allatuult. Vahel võib äikese eel näha väga madalat pilveserva – nn hirmutava välimusega pilve (SLC – *scary looking cloud*) (Scary looking cloud club, 2016), ja ainult harva on näha pöörlemist, mis võib viidata seinpilvele (AMS Glossary, 2012c). Kõiki selliseid pilveserva madalamale tulekuid nimetatakse madaldumiseks (NOAA, 2016). Tekkimisest hajumiseni võib üksik ehk lihtrünksajupilv kesta kuni tund aega, kuid need juhud

on haruldased, sest enamik tavalistest äikestest koosneb mitmest sellisest pilveelemendist (AMS Glossary, 2012d) ehk on liitrünksajupilved. Äike kestab lihtrünksajupilvest tavaliselt palju kauem, isegi mitmeid tunde, sest tihti koonduvad rünksajupilved kobaratesse ja neis toimuvad kindlad struktuurilised muutused – toimub organiseerumine. Kui sellises kobaras üks rünksajupilveelement hajub, võib teine tõusta selle asemele, saades hajuvast, lagunevast pilvest uut „toitu“ (Eesti ilma riskid, 2012, 24).

1.1.1. Äikese arengustaadiumid

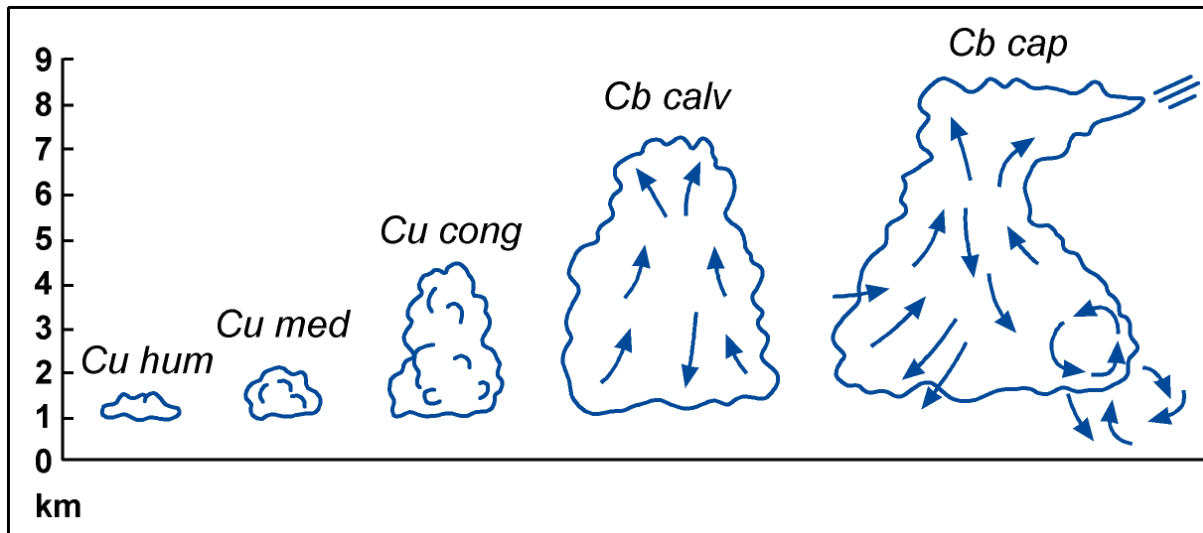
Äikese arengus eristatakse kolm staadiumi, mis on eriti selgesti jälgitavad termilise äikese puhul, kuid esinevad tegelikult kõikide äikeste (konvektsioonpilve) arengutsüklis (arenguetapid kujutatud veelgi üksikasjalikumalt Joonis 1).

Esimeseks staadiumiks on rünkpilvestaadium. See algab tavaliselt kas rünkpilvede tekkega ennelõunasel ajal või tornjas-sakmeliste kõrgrünkpilvedega, mis on tüüpilised mõni tund enne äikese teket. Kui nad tekivad hommikul, siis kaovad harilikult päevaks, kuid äike on tõenäoline päeva jooksul. Kui need ilmuvad päeva jooksul, jääb äike tõenäoliselt õhtusele ajale või ööseks. Mida „lopsakamad“ (suurema vertikaalse ulatusega) need on, seda tõenäolisem on äike (Kamenik, 2015).

Kui alumised õhukihid on piisavalt soojenenud, algab soojemate õhutaskute ehk termikute kerkimine (konvektsioon). Aja jooksul tõuseb neid järjest enam ja üha kõrgemale, kuni mingil hetkel jõuavad need kondensatsioonitasandini. Kui see juhtub, tekivad esialgu madalad või keskmiselt arenenud rünkpilved, mille kõrgus on väiksem või võrdne aluse laiusega, ja need on eraldiseisvad. Neid nimetatakse vastavalt madalateks ehk hea ilma rünkpilvedeks ja keskmisteks rünkpilvedeks. Kui õhumass on suhteliselt stabiilne, siis rünkpilved kõrgustesse ei arene, sest tõusvate õhuvoolude edasiseks arenguks pole tingimusi (Ibid.).

Kui aga õhumass on piisavalt labiilne ja niiskust jätkub (või on piisavalt tugev sünoptiline või orograafiline sund), siis tekib aja jooksul üha enam rünkpilvi, millest mõni muutub tornjaks. Need on nn halva ilma ehk võimsad rünkpilved, mille kõrgus on tavaliselt märksa suurem kui aluse laius. Vahel moodustavad võimsad rünkpilved ahelikke, mis meenutavad valendavaid mägesid või ülepaisunud lillkapsaid. Sageli on aktiivse kasvu faasis rünkadel või nende kohal väikesed kaarekujulised ebapüsivad pilved – neid nimetatakse tipploorideks (Ibid.).

Kui pilvede tipud on jõudnud 6–7 km kõrgusele, hakkavad nende tipud jäätuma, sest temperatuur on sellises kõrguses ka kõige soojemal suvepäeval -20...-30 °C. Kuni selle hetkeni koosnevad rünpilved peaaegu ainult veetilkadest, sest need ei jäätu kohe, kui temperatuur langeb 0 °C-st madalamale – väikestel veepiiskadel ja kapillaarveel on omadus jääda vedelaks ka allajahtunud olekus. Isegi veel -35 °C korral võib leida pilvedest veetilku (Ibid.).



Joonis 1. Konvektsioonpilve muutumine vähearenenud rünpilvest (*Cumulus humilis*) maksimaalses arengustaadiumis rünsajupilveks (*Cumulonimbus capillatus*). Püstiteljel on kõrgus kilomeetrites (Avaldatud Eesti pilved, allikas Eesti Loodus / Milvi Jürissar, ümber joonistanud Marek Karm).

Järgmiseks staadiumiks on maksimaalse arengu staadium. Senini olid konvektsioonpilvede tipud terava servaga, selgelt rünkliku välimuse ja kobrutavad. Kui nende tipud jäätuvad, muutuvad servad ähmasemaks, sinna tekib kiuline tekstuur ja kobrutav osa lameneb. See näitab, et konvektsioonpilved on jõudnud rünpilvestaadiumist maksimaalse arengu staadiumi, mis tähendab, et võimalik on välkude teke, sest jääkristallide teke peab olema piisavalt intensiivne ja tõusvad õhuvoolud piisavalt tugevad (vähemalt 7–10 m/s). Selles staadiumis, kui tõusvad õhuvoolud on piisavalt tugevad ja ulatuvad tropopausini, moodustub rünsajupilve lame alasitaoline ülaosa. Selle kõrgus on sageli vähemalt 9–10 km ja temperatuur sellises kõrguses on -50...-60 °C. Rünsajupilvede ülemine osa jääb siiski vahel ümaraks või tekib ebamäärane kiuline puhmas (Jürissar, 1998, 142).

Viimaseks staadiumiks on hajumisstaadium, mis seisneb rünsajupilvede lagunemises: jääkristallide osatähtsus suureneb, pilv muutub lamedamaks ja heledamaks, sademed ja äike

nõrgenevad, ülekaalu saavutavad laskuvad õhuvoolud. Lõpuks jääb järele kiudpilvemass, mida nimetatakse tihedateks rünksajupilvetekkelisteks kiudpilvedeks ehk tihedateks äikese-kiudpilvedeks (Kamenik 2015).

Kogu arengutsükkel kestab mitu tundi, kuid küpsus- ehk maksimaalse arengu staadium, kui pilvedes võime näha sähvimas välke ja kuulda mürinamist, umbes 10–30 minutit. Kirjeldatud arengutsükkel läbitakse soodsatel tingimustel umbes tunniga ja on kõige paremini jälgitav lihtrünksajupilve puhul, mis koosneb vaid ühest pilveelemendist (AMS Glossary, 2012d).

1.2. Äikeste klassifikatsioon

Äikeste klassifitseerimiseks liigitatakse äikesed tavaliselt kas sünoptilise olukorra põhisteks või organiseerumispõhisteks. Maailmas kasutatakse enamasti organiseerumise põhist liigitust, sest see määrab selle, milline on äikese eluiga ja sellega kaasnevad ohud.

1.2.1. Sünoptilise olukorra põhine liigitus

Äikesed jaotatakse nende sünoptilise päritolu järgi õhumassisesteks ja frontaalseteks, need omakorda jagunevad alamtüüpideks.

Õhumassisisesed ehk kohalikud äikesed tekivad konvektsioonvoolude tagajärjel ühe ja sama õhumassi sees, kui aluspind on oluliselt soojem kui õhumass selle kohal (Jürissaar 2011, 198).

Üks õhumassisese äikese alamtüüpe on termiline äike. See tekib siis, kui maapind soojeneb tugevasti ning õhumass on oma alumistes kihtides soe ja niiske. Ülemistes kihtides on õhk samal ajal tavaliselt suhteliselt jahe ja kuiv. Niisuguses õhumassis arenevad tugevad tõusvad õhuvoolud. Kui tõusev niiske õhk jõuab kondensatsioonitasapinnani, hakkavad moodustuma pilved (Ibid.).

Kohalikku äikest võib oodata suure tõenäosusega juhul, kui õhutemperatuur on üle 20 °C ja see langeb kõrgusega 0,75 °C või rohkem 100 m kohta, kastepunkt on aga üle 16 °C – selline õhumass on väga labiilne (Ibid.).

Seda tüüpi äike kujuneb harilikult suvel pärastlõunasel ajal sadulas, lauetes kõrgrõhuharjades või Loode-Venemaa antitsükloni edelaservas – viimane olukord on väga karakteristik termistele äikestele mais [Jürissaar 2011, 198; juhendaja (Kameniku) märkused].

Ka advektiivsed äikesed kuuluvad õhumassiseste äikeste hulka, arenedes suvisel ajal jahedas niiskes õhumassis, kui see voolab soojale aluspinnale. Sellised äikesed on seotud kõrgrõhuharjaga, mis moodustub külma frondi taga jahedas õhumassis (Eesti ilma riskid 2012, 22). Advektiivne äike tekib ka siis, kui sooja veepinna kohale voolab külm õhumass – see juhtub Eestis tavaliselt hilissuvel ja sügisel (Enno, Eesti Loodus 2007).

Orograafilised äikesed on iseloomulikud liigestatud reljeefiga aladele. Nad moodustuvad labiilses õhumassis, kui õhk on sunnitud tõusma piki mäestiku tuulepealset nõlva. Orograafilised äikesed on eriti tugevad päikesepoolsetel nõlvadel, sest seal soojeneb õhk

intensiivsemalt ja ühtlasi niiskub rohkem. Ka see on õhumassisest üks alamtüüpidest. Eestis selgel kujul orograafilist äikest ei esine (Jürissaar 2011, 198).

Frontaaläikesed on harilikult seotud vaadeldavast piirkonnast külmade ja okludeerunud ehk liitunud frontide üleminekuga. Enamasti tekivad frontaaläikesed soojal aastaajal, kuid vahel ka varakevadel, hilissügisel ja isegi südatalvel kellaajast enamasti olenemata. Frontaaläike on seda tugevam, mida erinevam on frondiga eraldatud õhumasside tihedus (selle määrab temperatuur ja niiskus) ning mida suurem on tõusvas õhumassis niiskussisaldus. Äikese teke külmal frondil on seotud sooja õhu tõusuga külma õhumassi surve (Jürissaar 2011, 199).

Võrdlemisi harv, ent see-eest väga tugev ja ohtlik võib olla äike soojal frondil. Tavaliselt tekib sooja frondi äike öösel: siis jahtub pilvede ülemine pind, kasvab temperatuuri vertikaalne gradient, kujunevad konvektsioonvoolud ja rünksajupilved äikesega (Ibid.).

Frontaalne äike paikneb atmosfäärifrondi ees kitsa vööndina (ebapüsisusjoonel), mille pikkus võib olla 1000 km või rohkem ja laius 30–50 km. Maapinna lähedal rünksajupilved liituvad, kuid ülalpool 3 km ulatuvad sellest äikesega pilvelaamast kõrgemale üksikud tipud. Frontaaläikesed liiguvad edasi koos atmosfäärifronidiga juhtvoolu suunas (Eesti ilma riskid 2012, 24).

1.2.2. Äikese seos tsüklonitega

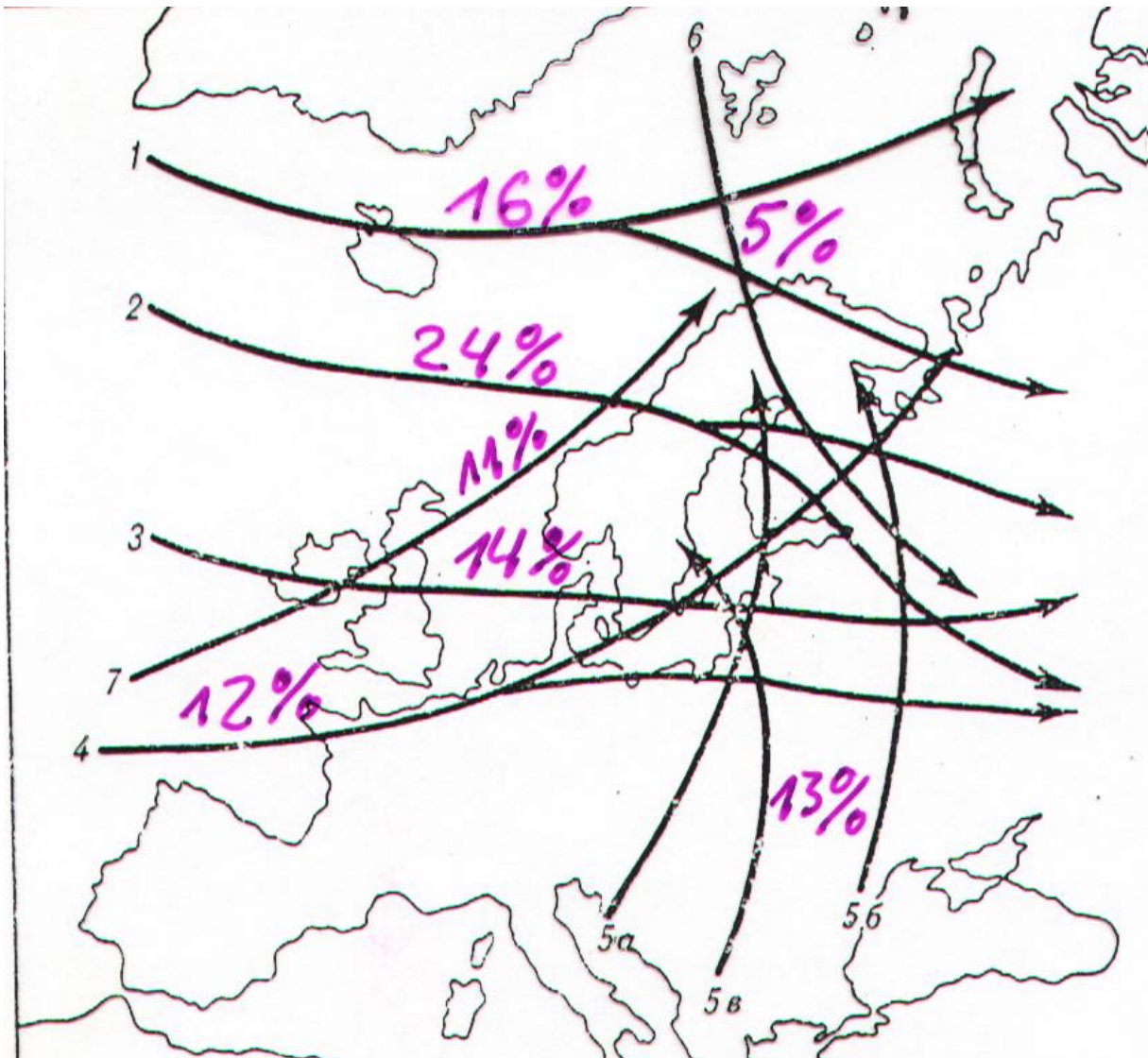
Frontaaläikesed on Eestis sageli seotud tsüklonaalse aktiivsusega. Esmalt tuleb mainida nende seost Biskaia lahelt tulnud edelatsüklonite, Vahemere või Musta mere lõunatsüklonite ja kagutsüklonitega, mis tekivad Kaspia mere piirkonnas (Eesti ilma riskid 2012, 24).

Edelatsüklonid moodustavad kirjanduse andmeil kõikidest tsüklonitest 12% ning nendega kaasnevad suvel tugevad pikaajalised vihmajärgid ja äike. Sügavad (edela/lõuna)-tsüklonid põhjustavad tuule tugevnemise ja õhurõhu järske muutusi (Ibid.).

Vahemere lõunatsüklonid moodustuvad Vahemerel, eriti Aadria merel, liikudes sealt üle Põhja-Itaalia, Austria, Ungari ja Poola ning jõuavad veel küllalt aktiivsetena Baltimaadele. Mõnikord tekivad lõunatsüklonid ka Kesk- ja Ida-Euroopa kohal. Kuigi lõunatsükloneid tekib kogu aasta vältel, saavutavad nad maksimaalse korduvuse suvel, siis nad mööduvad sagedamini lääne poolt. Sel juhul on nendega seotud tugevad vihmajärgid, õhutemperatuuri tõus, intensiivne äike ja rahe (Ibid.).

Kagutsüklonid moodustuvad Kaspia mere põhjaosa kohal ja liiguvad sealt loodesse Kesk-Venemaa kohale. Eestisse jõuavad nad harva – tavaliselt suvel, mõnikord ka kevadel-

sügisel. Nende tsüklonitega võivad kaasneda rängad sajud ja ülitugevad sooja fronti äikesed (Ibid.). Joonisel 2 on võimalik näha Eestit mõjutavate tsüklonite peamised trajektoorid.



Joonis 2. Eestit mõjutavate tsüklonite peamised trajektoorid (Klimat Tallinna, 1982)

1.2.3. Organiseerumispõhine liigitus

Rünksajupilved äikesega erinevad oma kuju ja suuruse poolest ning sellepärast liigitatakse nad tavaliselt nelja liiki. Nendeks on lihtrünksajupilv, liitrünksajupilv, joonpigi ja ülirünksajupilv. Igat liiki on võimalik identifitseerida visuaalselt või radaripiltide järgi. See, millist liiki äike saab üldse tekkida, määravad õhumassi omadused (nt labiilsusenergia CAPE,

mis sõltub nii temperatuurist, niiskusest kui viimaste vertikaalprofiilist) kui tuule vertikaalprofiil ehk kas ja millist tüüpi ja kui tugev on tuulenihe (Wikipedia, 2016).

Lihtrünksajupilvedega kaasnevate äikeste puhul on tegemist kõige lihtsama lokaalse äikesega, mis koosneb ühestainsast suurest rüngast (pilveelemendist) ja kestab tavaliselt 30–60 minutit ja nendega tavaliselt ei kaasne suuri kahjustusi. Nad on tüüpiliselt termilised äikesed, tekkides ühe ja sama õhumassi sees. Lihtrünksajupilvega on hästi vaadeldav äikese kolm arengustaadiumi: rünpilvestaadium, maksimaalse arengu staadium ja hajumisstaadium (vt ka Joonis 1). Sellised äikesed võivad lisaks välkudele põhjustada ohtralt sademeid ja mõnikord ka pagituuli, väikeseläbimõõdulist rahet ja väga harva nõrku tornaadosid. Seda liiki äike saab tekkida siis, kui õhumassis ei ole tuulenihet (NC State University).

Kõige levinumaks äikese liigiks on liitrünksajupilvega seotud äike. See on liitrünksajupilvest suurema ulatuse ja pikema elueaga ning selles on koos mitmes erinevas arengustaadiumis olevat pilveelementi (liitrünksajupilve tuumikut). Sellised äikesed on üksteisega tihedalt seotud ja aitavad tekitada uusi elemente, mistõttu äike tervikuna võib kesta tunde, enne kui lõplikult hajub. Sarnaselt liitrünksajupilvedega võivad ka liitrünksajupilved kaasa tuua palju sademeid, rahet, tugevaid tuuli ja ainult harva tornaadosid. Seda liiki äikese tekkimiseks on vajalik teatav tuulenihe, enamasti piisab sellest, kui tuule kiirus kõrgusega kasvab (Ibid.).

Joonpagi (*squall-line*) on sisuliselt liitrünksajupilve erivorm (rohkem organiseerunud), kuid erinevalt tavalisest liitrünksajupilvest on tegu ulatusliku, kümnete kuni sadade km pikkuse rünksajupilvede (äikeste) ahelikuga, tekkides tüüpiliselt tsükloni soojas sektoris (külma fronti ees) ebapüsivusjoonel. Pagituuled esinevad pigem rünksajupilvede kogumi ees, aga hiidpagi (*derecho*) puhul võivad olla ka tagapool. Kõige ohtlikumaks nähtuseks joonpagi puhul ongi pagi, sest tuulepuhangud võivad ulatuda 30 m/s ümbrusesse. Teisteks ohtudeks on tornaadod, rahe ja üleujutused. Selle äikeseliigi tekkimiseks on vaja märkimisväärset tuulenihet, kusjuures oluliseks muutub ka suuna komponent [Ibid.; juhendaja (Kameniku) märkused].

Ülirünksajupilvega seotud äike (*supercell*) on kõikidest äikese liikidest kõige ohtlikum. Nad tekitavad hiidrahet ($\text{Ø} > 2 \text{ cm}$), tugevaid pagituuli ja tornaadosid. Õnneks esineb neid ka kõige harvem ja vaid teatud tingimustel – nad saavad tekkida ainult tugevalt tuulenihtelises keskkonnas, kusjuures võrdselt olulised on nii tugevus- kui suunakomponent. Ülirünksajupilve teeb ainulaadseks see, et nad sisaldavad mesotsüklonit – spiraalne kallutatud tõusva õhu samm (diameeter 2–10 km). Radaril on ülirünksajupilved sageli „koma“ kujuga, mis näitab sademevaba ala, kus on tõusvad õhuvoolud kõige tugevamad. Just mesotsükloniga on seotud hiidrahe ja tornaadod (Ibid.).

2. RÜNKSAJUPILVEDEGA (ÄIKESEGA) KAASNEVAD OHTLIKUD ILMANÄHTUSED

Äikesega kaasneb terve rida ohtlike olukordi, mis tekitavad muuhulgas palju kahju. Enamik neist on küll varalised, kuid mõnikord võivad ka elusorganismid, sh inimesed viga saada. Loodusnähtusena kuulub äike Eestis kindlasti ilmariskide hulka ja vajab erinevate elualade esindajatele, sh ka meresõitjatele, enam tutvustamist.

2.1. Äikesega kaasnevate ohtlike nähtuste kirjeldus

Erinevate hinnangute ja mõõtmiste kohaselt on Maa atmosfääris igas sekundis korraga umbes 2000 äikest 44 ± 5 välgulöögiga. Iga päev on umbes 40 000 äikesetorni (National Geographic Almanac of Geography, 75; Encyclopedia of World Climatology, 452).

Järgnevalt peatutakse lühidalt peamistel rünsajupilvedega kaasneda võivatel ilmariskidel.

2.1.1. Paduvihm

Riigi Ilmateenistuse määratluse järgi peetakse eriti ohtlikuks sajuhulgaks 30 mm 1 tunni või lühema aja vältel või sajuhulka 50 mm ja üle selle 12 tunni või lühema aja vältel (Ilmateenistus, 2013) – neid võib nimetada padusadudeks.

Intensiivsed sademed (padusajud) jaotatakse lühiajalisteks ja pikaajalisteks. Just lühiajalised sademed (hoogsademed) on eriti iseloomulikud rünsajupilvede puhul.

Rünksajupilvede veesisaldus on $0,5\text{--}8\text{ g/m}^3$ – niisuguse väga suure veesisalduse tõttu annavadki nad väga tugevaid sademeid (Jürissaar 2008, 148)

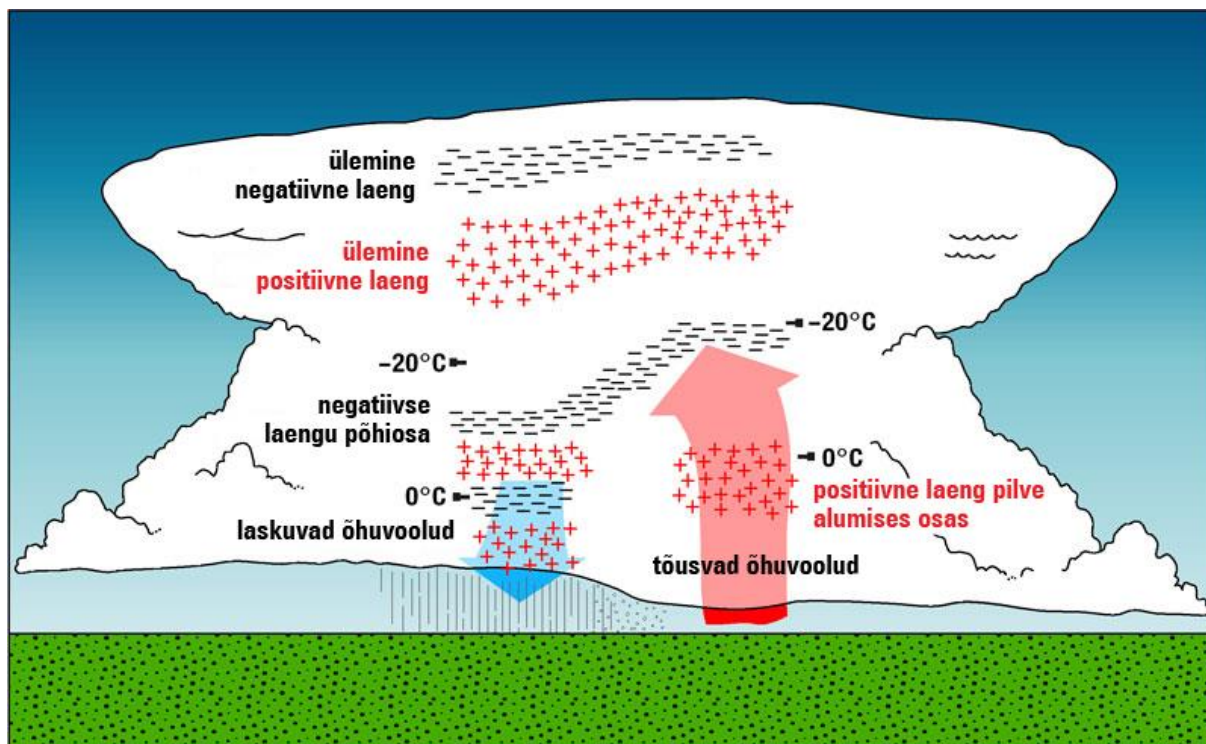
Paduvihmadega kaasnevad mitmed keskkonnakahjutused. Sellised sajud võivad põhjustada teede ja tänavate ärauhumist, liiklusseisakuid ning vesi võib tungida keldritesse ja tunnelitesse. Samuti võib tugevate sadude tagajärjel tekkida äkküleujutus, tõusta põhjavee- ning jõgede ja järvede veetase, mis omakorda võib tekitada üleujutuse. Tugevad vihmad võivad põhjustada ka kiiresti tekkiva üleujutuse ehk äkktulva (*flash flood*). Kogu maailmas peetakse sadudest tingitud uputusohu kõige olulisemaks ilmariskiks. Paljude maadega võrreldes on väga suurte sadude risk Eestis tunduvalt väiksem (Eesti ilma riskid, 2012, 47).

Merenduses on suured sajud ohtlikud navigeerimisel. Paduvihmad tekitavad väga halba nähtavust ning sellega peaks iga meresõitja arvestama. Tugevad sajud häirivad laevadel ka radari tööd. Just radari järgi saab kindlaks teha, kus asuvad intensiivsemad sajualad.

2.1.2. Väik

Välgud (hiiglaslikud elektrisädemed atmosfääris) on äikese kõige olulisem ja iseloomulikum tunnus ning nende tekkimine on väga keerukas. Täpselt ei olegi pilve elektriseerumine ja välgu tekkemehhanism teada – selle kohta on mitmeid teooriaid (Dan Robinson), kuid üldiselt on nõustatud järgnevaga.

Rünksajupilve alumises osas on temperatuur üle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, kuid pilve tipus $-45\text{...}-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pilve alumine osa koosneb veetilkadest, kõrgemal on valdavaks jääkristallid. Veepiiskadest koosnev osa on negatiivse, jääkristallidest koosnev osa positiivse laenguga. Selline laengute tasakaalustamatus tekib samuti suuremate raheterade ja väiksemate jääosade vahel. Suurematel sademeosakestel on kalduvus siduda elektrone, väiksemad osakesed jäävad aga positiivse laenguga. Tõusvad õhuvoolud kannavad väiksemad hõljuvad osakesed üles tipu suunas, raskemad sademeosakesed langevad allapoole pilve aluse suunas. Pilve moodustavad osakesed liiguvad tõusvate-langevate õhuvooludega kaasa, nad purunevad ja liituvad uuesti, omandades nendes protsessides elektrilaengu. Pilve keskosas, mis koosneb veepiiskade ja lumehelveste segust, leidub sageli nii positiivse kui ka negatiivse laenguga piirkondi (joonis 3) (Eesti ilma riskid 2012, 24).



Joonis 3. Laengute jaotus pilves (NOAA, 2014; PNS Infograafika / Kaarel Damian Tamre)

Välk tekib kahe erinimelise laenguga pilvepiirkonna (laengukeskme) elektrilisel lahendusel. See võib toimuda pilve ja õhu, kahe pilve või pilve ja aluspinna vahel. On andmeid, et umbes üks neljast välgust toimub pilve ja maa vahel, peaaegu kõik ülejäänud on pilvesisesed (Ibid.).

Hariliku välgu protsess on üsna keeruline (mitmeetapiline). Pilv-maavälgukanali tekkimiseks on vaja pilvest laskuva negatiivse samlliidri ja maapinnalt lähtuva positiivse striimeri kohtumist. Samlliider areneb mõnes laengutsentris tekkinud elektronide laviinist.

Kui negatiivne samlliider läheneb aluspinnale, hakkab sellele vastu tõusma tavaliselt mitmeid striimereid. Need võivad lähtuda otse maa- või veepinnalt, aga palju kergemini tekivad need hoonetel, puudel või kõrgetel mastidel. Tüüpiline striimer jõuab tõusta lähtekohaks oleva objekti tipust mõne kuni mõnekümne meetri kõrgusele. Pilvest laskuv negatiivne samlliider tabab seda striimerit, mida esimesena kohtab (Enno).

Liider ja striimer koos moodustavad impulsi, mida võib ühes välgus olla mitukümmend, kuid kõige sagedam üks kuni viis. Et impulss vältab ligikaudu tuhandik sekundit, siis pole inimese silm võimeline eraldama üksikuid impulsse, vaid näeb ühte, sageli pulsseeriva heledusega lahendust. Muutuv heledus on tingitud üksikute impulsside erinevast tugevusest (Inimene ja ilm 190, 100).

Eelnevalt oli juttu pilv-maavälgu tekkimisest, kuid kõige enam esineb pilvesiseseid välke. Rünksajupilvedes on regioone, kus elektriväli on tugevam. Selliseid laengukeskmeid võib olenevalt pilvesüsteemi struktuurist ja ulatusest olla palju (joonis 2). Mõned laengukeskmed on positiivse, teised negatiivse laenguga. Teatud tingimustel võib ühes sellises laengukeskmes areneda elektronide laviin – nii nagu on tavalise pilv-maavälgu puhul sampliidriga. Kuid edasi areneb välg nii, et ühes suunas haruneb negatiivne liider. Hiljem, impulsi lõpu poole tekib positiivses otsas kiireid negatiivseid liidreid, mis levivad tagasi välgu tekkekoha juurde. Seega toimuvad pilvesisesed välgud pilvedes olevate laengukeskmete vahel (AMS Glossary, 2012; Kamenik, 2013)

Välgu värvus oleneb õhu koostisest ja lisanditest. Järgnevalt on antud mõned praktilised näpunäited, kuidas hinnata välgu värvuse järgi selle ohtlikkust. Sähvatus on punane või roosakas, kui välguvalgus läbib veetilku, ja sinine, kui rahet. Kui õhk sisaldab märgatavalt tolmu (aerosooliosakesi) või on väga kaugel, siis on sähvatus kollane või isegi oranž. Valkjas sähvatus näitab madalat õhuniiskust, selle puhul on tõenäoline tulekahjude tekkimine (Eesti ilma riskid 2012, 25).

Välgulöögi energiat näitavad järgmised omadused: voolutugevus ulatub 200 000 amprini, õhk välgu kanalis, mille läbimõõt on mõnest kuni paarikümne sentimeetrini, kuumeneb kuni 30 000 °C, mis on umbes 5–6 korda enam kui Päikese pind. Keskmise välgu eluiga on kõigest 0,2–0,4 sekundit (Kallis 2014, 133).

Kuumenemise tõttu tõuseb välgukanalis rõhk ümbritseva õhurõhuga märgatavalt. Ülerõhu tasakaalustab liikuvate laengute poolt tekitatud magnetväli, mis takistab välgukanali ülemäärast paisumist. Kohe pärast lahenduse lõppu magnetväli kaob, nii et kanal, piltlikult öeldes, rebeneb, seejärel tekib lööklaine, mis muutub kiiresti tavalisteks helilaineteks – seda me tajume müristamisena. Olenevalt lahenduse kaugusest jõuab meieni kas veel lagunemata lööklaine – lühike, raske, tume löök – või harilik häälelainega sarnanev kestev ja muutliku tugevusega heli. Viimase nähtuse põhjuseks on asjaolu, et välgukanali eri osadest ja eri impulssidest jõuavad häälelained kohale eri ajal, samuti võib heli mitmekordselt peegelduda pilvedelt ja maapealsetelt objektidelt enne kui jõuab meieni, seejuures üksteist kas tugevdades või nõrgendades (Inimene ja ilm 1970, 102).

Välke liigitatakse lahenduse lähte- ja lõpp-punkti ning väliskuju järgi. Esimene jaotus annab liigid pilv-aluspind, pilv-pilv, pilv-õhk ja harva esineva juhu, kus lahendus suundub pilvest üles taevaalotusesse (haldjavälgud nagu elfid ja spraidid). Pilv-aluspindvälgud moodustavad umbes 10% välgude üldarvust. Kõige rohkem on pilvesisevälke. Väliskuju järgi on kõige tuttavam joonvälg, mis esineb mitmel eri kujul – vahel tugevasti harunenud, vahel

lihtsalt harudeta siksak pilvede ja maa vahel. Joonvälgu kõrval esineb üsna tihti pilvesisene välk, mis paneb hetkeks helendama suure osa pilvest (Ibid.).

Kui ümbrus on piisavalt lage, võib suurt äikest (rünksajupilve, öisel ajal välke) näha kuni 300 km kaugusele. Selliseid kaugeid äikeseid vaatleja ainult näeb, kuid välkudega kaasnevat müristamist ei kuule. Kui välguga ei kaasne heli, nimetatakse seda põuavälguks -ehk pälguks (Eesti ilma riskid 2012, 25).

Äikesega võib kaasneda ka väga harva esinevaid nähteid nagu keravälk ja helmesvälk. Keravälk esineb enamasti pärast joonvälku. Keravälk on harilikult oranž, kollakas või rohekas helendav kera, vahel võib ta olla ka veetilga või pirnikujuline. Õhus liigub keravälk aeglaselt nagu ujudes, vahel liigub ta piki esemete pinda. Eriti sageli on nähtud teha libisemas piki juhtmeid. Keravälgu diameeter on 10–20 cm, harva rohkem. Keravälgud võivad mõnikord plaksatada kõrvulukustava plahvatusena ja tekitada siis tõsiseid purustusi (Jürissaar 2008, 149).

Väga haruldane on helmesvälk ehk pärlvälk. Mõnikord on teda nimetatud ka kettvälguks. Helmesvälk koosneb 20–30-st väikese diameetriga kerast (läbimõõt mitte üle 10 cm), mis liiguvad joonvälgu kanalis ja meenutavad sätendavat helmekeed, sellest on tulnud ka nimetus. Vahe üksikute kerakeste vahel on mõni sentimeeter, nähte kestus umbes 0,5 sekundit (Jürissaar 2008, 149)

2.1.3. Pagi

Pagi on äkiline tuule tugevnemine, mis on seotud rünksajupilvedega ja seostub tavaliselt muutliku või heitliku (ebapüsiva) ilmaga. Pagi korral võib tuul tõusta vaikusest 30 m/s ja enamgi mõne hetkega, kuid tavaliselt hiljemalt poole tunni jooksul tuul jälle nõrgeneb. Enamasti kestab pagi mõned minutid, millele järgnevad sademed. Seejuures võib tuule suund muutuda ja seejärel taastuda (Pagi, Kamenik, 2013; Ilmateenistus, 2013).

Pagi ei seostu alati äikesega, vaid just rünksajupilvedega (üldisemalt labiilse õhumassiga). Pagi võib kaasneda talviste hooglumesadudega, eriti veekogude läheduses, samuti tugevneb tuul mõnikord ka siis, kui suur rünkpilv läheb üle. Siiski see ei pruugi alati pagi olla, sest definitsiooni järgi peab tuul tugevnema vähemalt 6–8 m/s võrra 1 minuti kestel, ent see on ainult üks mitmetest võimalikest määratlustest, kuid pagi on siiski erinev tuulepuhangust ehk –iilist (Ibid.; AMS Glossary, 2012f).

Pagi tekkimist võib selgitada järgmiselt. Rünk(saju)pilve esiosas on valdavad tugevad tõusvad õhuvoolud, õhurõhk langeb, temperatuur püsib kõrge (soojal aastaajal) ja sademeid on

minimaalselt. Tagumises osas seevastu on valdavad laskuvad õhuvoolud, õhurõhk tõuseb, temperatuur langeb ja sajab, sageli tugevasti. Sellised õhu liikumised ja õhutemperatuuri erinevused osaliselt põhjustavad või vähemalt aitavad kaasa pagi tekkimisele, kuid üksnes sellest ei piisa.

Pagituul tekib siis, kui troposfääri keskosas (2–6 km kõrgusel) asub väga kuiva õhu kiht või kuiva õhu tasku. Sademete läbimine sellest kihist toob kaasa õhu jahtumise aurustumise tagajärjel ning seetõttu hakkab jahtunud õhk suurema tiheduse tõttu kiirenevalt, vahel koguni äkksööstuna alla liikuma. Et sajutsooni laskuvate ja pilve esiosa tõusvate õhuvoolude kiirus võib olla väga suur, on võimalik ka purustavate horisontaalvoolude teke. Sama mudeli järgi võib torm tabada ka lähestikku (10–15 km kaugusel) asuvate areneva (tõusvate õhuvooludega) ja juba laguneva (laskuvate õhuvooludega) rünksajupilve (äikese) vahelist piirkonda – puhangufront (Enno).

Pagi tekke seisukohalt on olulised õhutemperatuur pilve ees, kuiva õhu olemasolu troposfääri keskosas (väga madal suhteline niiskus mingis õhukihis) ja äikese liikumiskiirus. Mida soojem on õhumass ja mida kiiremini liiguvad selles arenevad rünksajupilved, seda suurem on purustava pagi tekkimise võimalus. Kohalike tunnuste järgi ohtliku äikese hindamisel tuleks lisaks kõrgele õhutemperatuurile ja äikese kiirele lähenemisele silmas pidada ka pilve esiosa välimust. Juhul kui sajutsooni ees esinevad tormi-iilid, on seal soodsad tingimused väga madala ja räbaldunud servaga pilvevalli moodustumiseks. Kui see on nähtav kilomeetrite kauguselt, annab see märku lähenevast rajust (Ibid.).

2.1.4. Rahe

Soojal aastaajal kaasneb äikesega vahetevahel ka rahe. Rahega äikesetorm tekib sageli kiiresti ja selle täpset tekkekohta prognoosida ei saa, küll aga on võimalik hinnata rahe võimalust õhumassi omaduste järgi, eriti kui on olemas sondeerimisandmed (Kamenik, 2015).

Rahe on sademed, mis kujutab endast väga erineva kuju ja suurusega jäätükke läbimõõduga vähemalt 0,5 cm. Neid on väga raske katki suruda. Mõnikord, tavaliselt hiidrahe puhul, võib jälgida kihilist ehitust: südamik on läbipaistmatu, kuid edasi vahelduvad läbipaistvad (jäised) ja läbipaistmatud (lumised) kihid. Tavaliselt on rahetera läbimõõt 0,5–2 cm, kuid eriti tugevate tõusvate õhuvooludega võivad saavutada kuni 10 cm läbimõõdu ja mitmesaja-grammise massi. Rahet sajab rünksajupilvedest tavaliselt koos hoogvihmaga soojal ajal (aprillist septembrini). Tegu on hoogsademetega (Pilveaabits, 2015).

Rahet võib oodata teatud omadustega õhumassis, näiteks väga labiilses, kus on õhu vertikaalne liikumine tugevasti soodustatud, ja kus on väga suur labiilsusenergia (kõrge CAPE). Rahe teket soodustab kindlasti ka kuiva õhukihi olemasolu troposfääri keskosas [vertikaalprofiilis ühtlaselt väga niiske õhumass pole soodne rahe tekkeks, sest siis on takistatud jahtumine auramise tagajärjel (*evaporation cooling*), mis muidu takistaks tekkinud jää sulamist]. Rahe jõudmine maapinnale on soodsam külmas õhumassis, sest nullisoterm on suhteliselt madalal ja jää jõuab vähem sulada – see on üks põhjusi, miks rahet sajab rohkem kevadel ja sügisel võrreldes südasuvega. Hiidrahe teket soodustab ka tugev tuulenihe – see koos suhteliselt kuiva, aga väga suure labiilsusenergiaga õhumassis on soodne keskkond kuivade ülirünksajupilvede (*low precipitation supercells*) formeerumiseks, need on aga klassikaliseks hiidrahe tekitajateks (Haby, 2015; Lindsey, 2002).

Rahe teke algab veetilkade jäätumisega või lumekruupide (*graupel*) moodustumisega konvektsioonpilves. Mõnikord saab rahe alguse hoopis kõrvaliste objektide jäätumisega, nagu putukad jms. Kui rahetera tuum on tekkinud, siis kasvab rahe akretsiooni teel, mis seisneb allajahtunud veetilkade kontaktkülmumises rahetuuma pinnale. Seega peab tekkiv rahetera püsima märkimisväärse aja allajahtunud veetilku sisaldavas pilve osas. Antud juhul on oluline ka kuiv õhukiht, mis aitab rahe moodustumisele kaasa, sest väga niiskes õhus takistab rahe teket vabanev kondenseerumissoojus – see muudab rahe struktuuri väga pehmeks ja selline rahe sulab kiiresti või lihtsalt laguneb enne maapinnani jõudmist (Heidorn, 2002; AMS Glossary, 2012g).

Väga suures raheteras vahelduvad läbipaistvad ja läbipaistmatud kihid, väiksemates on need vähemmärgatavad. Niisugune kihiline ehitus on seotud rahe tekkimise iseärasustega. Väga tugevates konvektsioonvooludes võib õhu liikumise kiirus ulatuda 30–40 m/s. Tekkinud rahetuumad, nt lumekruubid, viiakse konvektsioonvooludega üles, kus läbipaistva külmunud veekihi külge kinnituvad lumekübemed. Nendest moodustub rahetera läbipaistmatu kiht. Rünksajupilves liiguvad raheterad tõusvate ja laskuvate õhuvooludega mitu korda üles-alla ning nendega liituvad uued jäätunud vee ja läbipaistmatud lume kihid. Nende kihtide arv võib ulatuda isegi 25ni (Eesti ilma riskid, 2012, 30; Jürissaar 2008, 204). Siiski on selgunud, et see ei pruugi tingimata nii olla: rahe võib suureks kasvada ka siis, kui see langeb aeglaselt läbi allajahtunud veetilku sisaldava pilveosa – väga tugevad tõusvad õhuvoolud pidurdavad jäätükkide kiiret langemist maa poole. Sellisel juhul ei ole raheterades kihilist ehitust või on see nõrgalt välja kujunenud (Heidorn, 2002).

Kui rahetera muutub nii raskeks, et tõusvad õhuvoolud ei suuda teda kaasas kanda, siis võib ta kukkuda sademetena alla, saavutades kuni 220 km/h kiiruse olenevalt kujust ja raskusest

(Hailstone terminal velocity). On väidetud, et suur rahesadu võib tekkida vähemalt 9–12 km kõrguseni ulatuvast rünksajupilvest, kuid külmas õhumassis võivad rahet tekitavad pilved olla ka märksa õhemad (Eesti ilma riskid, 2012, 30).

Tavaliselt ei kesta rahesadu kaua. Vahel tekivad üksteisele järgnevad lühikesed rahehood. Vaatluste tulemusena on saadud rahesaju maksimaalseks kestuseks 20 minutit. Tavaliselt piirdub rahehoog 1–8 minutiga (Ibid.).

Rahe on väga ohtlik, kuna raheterade kukkumise kiirus võib ulatuda enam kui 200 km/h olenevalt selle suuruselt ja kujult. Loodusvaatlejate ja kohalike elanike tunnistuste järgi on rahe purustanud hoonete aknaid ja katuseid (näiteks on eterniitkatustel rusikasuurused augud), mõlkinud autosid, purustanud klaas- ja kilekasvuhooneid ning kahjustanud või hävitanud seal kasvavad taimed, mulgustanud aedvilju kaitsnud katteloori, peksnud puruks avamaakultuure (eriti suurelehelisi taimi) või muutnud nende lehed auklikuks ja räbaldunuks, hävitanud iluaiad, peksnud viljapuudelt ja põõsastelt maha poolvalmis vilju koos lehtedega. Viljapõldudel on vahel püsti jäänud vaid jämedad kõrred, maatasa on tehtud sibulapõllud, hein on lamandunud, kartulipealsed murtud. Kannatada on saanud ka kari- ja koduloomad ning -linnud (Ibid.).

Eestis olid viimati väga võimsad rahesajud 16.–17.07.2015, kui rahet sadas paljudes kohtades, sh mere kohal, kohati tekkisid rahehanged või paks rahekiht, ja 12.08.2015, kui paiguti (Ida-Eestis) sadas enam kui 5 cm läbimõõduga rahet (Sakala Postimees, 2015).

2.1.5. Õhukeerised (tornaadod ja vesipüksid)

Õhukeerised, mis tekivad rünk(saju)pilve ja aluspinna vahel, kutsutakse tornaadodeks. Kui tornaado satub või tekib veepinna kohale, siis nimetatakse seda vesipüksiks ehk see on lihtsalt tornaado vee kohal (kasutatakse ka kitsamas tähenduses – mittemesotsükloonaalne tornaado vee kohal). Kui keeris ei ulatu aluspinnani, siis on tegu lehterpilvega (*funnel cloud*) (AMS Glossary, 2012g).

Tornaadodel on kasutusel mitmeid erinevad nimetusi. Teadlased kasutavad tavaliselt terminit "tornaado". Vastupidiselt laialt levinud arvamusele ei ole tromb tornaadost väiksem. Eksitus tuleneb ilmselt sellest, et USA-s kasutatakse sõna "tornado", Euroopas aga tavaliselt "tromb". Et Euroopa trombid on reeglina väiksemad, kui näiteks Põhja-Ameerika preeriates (USA keskläänes), siis on tekkinud arusaamine trombist kui väikesest tornaadost või tornaadost kui suurest trombist. Tegelikult on need sõnad sünonüümid. On olemas mitmed rahvapärased nimetused tornaadodele: tuulispask, pööripea, tuulispea, tuulehänd, vihelik ja tuulepööris (Wikipedia, 2016; Veismann, Veskimäe 2005, 238).

Tornaado (vesipüksi) tekkimise eel moodustub konvektsioonpilve alla lehtritaoline rippuv pilvesopp, mis laskub maapinna suunas – lehterpilv. Varsti võib see meenutada elevandi lonti. Maapinnalt või vee kohalt tõuseb sellele vastu lehtritaoline moodustis, mis koosneb tolmust, prahist või veepiiskadest. Nii on tromb või vesipüks kõige peenem keskelt, pilve all ja maapinna lähedal on ta jämedam, aga mitte alati – ka maapinna lähedal võib see olla kõige peenem. Keerise läbimõõt maapinna juures on tavaliselt mõnikümmend meetrit. Õhurõhk tornaado keskmes on tunduvalt madalam normaalrõhust (1013,25 hPa), tavaliselt kuni 100 hPa suurusjärgu võrra. Õhu liikumise kiirus keerises on 50–100 m/s, õhk keerise sees liigub spiraalina üles. Trombi liikumise tee pikkus on mõnesajast meetrist mõne kilomeetrini, tee laius mõnekümnest meetrist 100–200 meetrini (Jürissaar, 1998, 204).

Tornaadodosid jaotatakse kahte põhilisse liiki: mesotsükloonaalseteks ja mittemesotsükloonaalseteks tornaadodeks olenevalt sellest, kas nende teke on seotud mesotsükloniga või mitte (AMS Glossary, 2012h).

Mesotsükloonaalsed tornaadod, nagu nimetuski ütleb, tekivad seoses mesotsükloniga. Mesotsüklon on rünk(saju)pilve sees tekiv spiraalne kallutatud tõusva õhu samm, mille diameeter on 2–10 km (väiksemaid nimetatakse vahel ka misotsükloniteks). Seda sisaldavat pilve nimetatakse ülrünksajupilveks, mis on väga organiseerunud äikese liik ja tekib tavaliselt (siiski mitte alati) eriti labiilses, kuid alati tugevalt tuulenihkelises õhumassis. Mesotsükloni alla, tavaliselt selle keskele, võibki tornaado tekkida. Seda tüüpi tornaadod on üldiselt kõige ohtlikumad ja tugevamad – purustused ja inimohvrid on seotud eeskätt mesotsükloonaalse tornaadoga. Väliselt on mesotsükloni tunnuseks seinpilv ja tornaado moodustumise märgiks madaldumine, eriti lehterpilv, milles on näha pöörlemist (NOAA Advanced Spotters Field Guide, 15-16).

Sünoptilises plaanis tekivad mesotsükloonaalsed tornaadod kõige sagedamini troopilise õhumassiga täidetud tsükloni soojas sektoris. Põhja-Ameerikas on see õhumass pärit Mehhiko lahelt (tsüklon ise liigub läänest itta või edelast kirdesse, on olemas sünoptilise olukorra mudel tornaadopuhangu tekkimiseks), aga Euroopas, sh Eestis, vastab sageli sellele lõunatsüklonite soe sektor – see liigub rohkem lõunast põhja (joonis 1). Sellises niisket troopilist õhumassi kandvas tsüklonis on äikese arenguks soodsaimad tingimused ebapüsivusjoonel, mis paikneb mõni kuni mõnikümmend km külmast frondist eespool ehk soojas õhumassis. Kui valitseb tugev kombineeritud tuulenihe, siis ongi tingimused ülrünksajupilvede ja sellega seotud mesotsükloonaalsete tornaadode tekkeks olemas (Haby 2015; NCSU, Jürissaar, 2008, 204; Hatheway (2010).

Kui mesotsüklonit pole, siis tekivad maa- või vesipüksid (mittemesotsükloonaalsed tornaadod) vastavalt kas maismaa või veekogu kohal – need on sagedasemad, sest sisuliselt on vaja vaid konvektsiooni, aga mitte tugevat tuulenihet (seoses õhumassisisese konvektsiooniga). Nende teke on mesotsükloonaalsete tornaadode omast teistsugune: need moodustuvad näiteks siis, kui tõusev õhuvool haarab piirkihist endasse juba olemasoleva keerise, mis muutub püstteljeliseks. Tõsiseid purustusi need tavaliselt ei tekita, sest nende tugevus on enamasti EF0-EF1, kuid tugevaimad on siiski küündinud EF3-ni. Eestis ongi just mittemesotsükloonaalsed tornaadod kõige tavalisemad, ohustades seetõttu suurema tõenäosusega ka laevaliiklust (Kamenik, 2015, AMS Glossary, 2012i)

Tornaadod põhjustavad hulgaliselt purustusi. Tugeva tornaado korral vajuvad hooned kokku nagu tikukarbid, rongid paiskuvad rööbastelt, autod teedelt, õhus lendavad puuksad, lahtikistud sildid ja reklaamtahvlid, nõrk tornaado teeb vähem kahju. Tornaadodega kaasnevad üsna sageli inimohvrid – see on tüüpiline mesotsükloonaalsetele tornaadodele (Jürissaar, 2008, 204).

Rahvusvaheliselt kasutatakse tornaadode tugevuse hindamiseks täiendatud Fujita-Pearsoni tornaadode skaalat (Enhanced Fujita scale: USAs 2007. ja Kanadas 2013. aastast), skaala ulatus EF0–EF5; peamiselt Euroopas TORRO skaalat, skaala ulatus (FC)T0-T11 (Lisa 3.) (Ilmateenistus, 2013).

2.2. Laevajuhtide kokkupuuted äikesega

Selle diplomitöö jaoks koostati küsimustik (Lisa 1), mis saadeti laiali laevajuhtidele. Küsimustiku eesmärgiks oli välja selgitada Eesti laevajuhtide kokkupuuted äikese ja sellega kaasnevate ohtlike ilmastikunähtustega.

Küsitlus saadeti Eesti Laevajuhtide Liidule, mis omakorda edastas küsitluse laevajuhtidele. Laevajuhtide küsitluses osales 20 inimest, kellest 7 küsitleti suuliselt. Üldkogumi suurus on 130 (Eesti Laevajuhtide Liidu liikmete arv). Küsitlus viidi läbi 2016. a. kevadel ning oli anonüümne. Küsitlusele vastamine oli vabatahtlik ning pooled küsimused olid suletud ning teine pool oli avatud küsimustega. Suuline küsitlus viidi läbi vabas vestluse vormis.

Küsitlusest selgus, et kõik vastanutest on ühel või teisel moel kokku puutunud äikesega ja sellega kaasnevate nähtustega. Kõige huvitavamaks võib pidada seda, et umbes 2/3 vastanutest on kokku puutunud vesipüksidega. Huvitavaks teeb selle asjaolu, et Keskkonnaagentuuri andmetel on registreeritud üheksakümnendate algusest kõigest umbes 25 vesipüksi. Paljud laevajuhid rääkisid, et vesipükse tuleb Läänemeres ette igal suvel. See näitab selgelt, et vesipüksid Läänemeres ei ole tegelikult mingi haruldus, kuid enamikke neist ei registreerita.

Vesipüksidega kokkupuuteid on mitmeid, näiteks on enamik vastanutest vesipükse kaugelt näinud, kuid lähemaid kokkupuuteid pole olnud. Üks vastanutest väitis, et Taani väinade lähistel nägi ta vesipüksi otse laeva poole tulemas ja sõitis sellest läbi. Selle tulemusena hakkas laev järsult kurssi muutma, sest vesipüks tõi kaasa väga tugevad tuulepuhangud. Paljud väitsid, et on näinud mere kohal korraga kahte või isegi kolme vesipüksi. Teine vastanutest aga rääkis, et nägi 2000ndate alguses Paldiski sadamas tornaadot, mis rebis puid juurtega maast, pildus autosid ja lükkas ümber kraana Paldiski sadamas.

Ka pagiga on laevajuhtidel mitmeid huvitavaid kokkupuuteid, näiteks kolm-neli aastat tagasi (2016. a seisuga) oli Triigi sadamasse sisse sõites olnud nii suur pagi, et laeval olev tuulemõõtja ei suutnud tuule kiirust fikseerida, kuigi mõõtevahemik ulatub 45 m/s. Selle tulemusena oli pagi lükanud 30 meetri pikkuse laeva ligi 40-kraadisesse kreeni. Kogu nähtus kestis umbes 10-15 minutit. Mõned teised vastanud väitsid, et tugeva pagiga on raske laeva kursil hoida ning pagi võib laeva õigelt kursilt ära viia.

Välgutabamusega lähemal kui 500 m seotud kokkupuuteid on vastanutel samuti olnud palju. Kolm vastajat väitsid, et lähedase välgulöögi puhul lõi see rivist välja laeva elektrisüsteemid ja sideseadmed, mis seejärel vajasid kaldajõudude abi parandamisel. Üks teistest eristuv vastus oli selline, et välk tabas veepinda laeva ahtrist 20-30 m kaugusel, kusjuures samal ajal ta ise viibis tekil. Vastanu kirjeldas, et õhk läks ümberringi väga kuumaks ja tekkis selline tunne, et juuksed tõusid püsti, kuigi müts oli peas.

Üheks huvitavaks tähelepanekuks pidas üks vastanud laevajuht, et äikesega kaasnenud paduvihm liikus konkreetse piirina: käe võis panna vihma kätte, ise samal ajal kuivaks jäädes.

3. ÄIKESEGA KAASNEVATE ÕNNETUSTE ENNETAMINE

Äikesega kohta paremad teadmised võimaldavad inimestel saada ülevaate, kui ohtliku ilmanähtusega on tegu ning hoida võimalikult ära suuremad õnnetused, mis omakorda hoiaks kokku ressursse, mis kuluksid näiteks õnnetuse asjaolude uurimiseks, kahjude likvideerimiseks jne.

Küsitlusest laevajuhtidele selgus, et äikesega kaasnes mitmel korral varaline kahju laevale või siis ohtlikud olukorrad, mis oleks võinud lõppeda suurema õnnetusega. Järgmises alapeatükis on välja toodud parameetrid, mille korral on tegu ohtliku äikesega merel ja välja pakutud võimalused, kuidas laevajuhid ise saaksid äikest prognoosida, et ennetada võimalikke ohtlikke olukordi merel.

3.1. Ohtlikud parameetrid äikesega korral merel

Äikesega kaasnevad nähtused võivad põhjustada ohtlikke olukordi merel. Sellepärast on vaja ühtset kokkulepet mõistele „ohtlik äike“. Kuna üheski allikas pole otseselt välja toodud parameetreid, mille korral oleks tegu ohtliku äikesega merenduses, siis selle lõputöö üheks põhieesmärgiks on välja selgitada just need parameetrid, mille puhul võib äikest pidada ohtlikuks merel.

Küsitluses laevajuhtidele (Lisa 1) küsiti laevajuhtide isiklikku arvamust paduvihmadest tingitud ohtliku nähtavuse kohta, pagituulest tingitud suure tuule kiiruse kohta ja rahetera suuruse kohta. Need kolm karakteristikut võivad töö autori arvates kindlasti ühel või teisel määral mereliikluses tekitada riskiolukordi.

Merel liigeldes on kõige tähtsamaks parameetriks nähtavus. Meteoroloogiliseks nähtavuseks (nähtavuskauguseks) nimetatakse vähimat vahemaad, mille kauguselt absoluutselt must objekt on horisondil taeva foonil äratuntav (Eesti ilma riskid, 2012, 77), kuid tegelikkuses

kasutatakse mitmesuguseid käepäraseid orientiire ehk nähtavust hinnatakse. Hea nähtavus on ohutu liiklemise aluseks nii maal, merel kui ka lennuliikluses. Paduvihmadega kaasnevat ohtliku nähtavust ei ole üheselt määratud. Ilmateenistuse andmetel on udu korral merel ohtlikuks nähtavuse piiriks 1000 m ja eriti ohtliku udu korral 200 m (Ibid.).

Tabelis 1 on ära toodud laevajuhtide vastused paduvihmadest tingitud ohtlikust nähtavuskaugusest.

Tabel 1. Sademetest tingitud ohtlik nähtavuskaugus (m) küsitluse alusel

Nähtavus- kaugus (m)	100	200	500	1000	1500	2000
Vastajaid	1	2	7	3	1	5

Tabelist 1 on näha, et vastused laevajuhtidelt varieeruvad väga palju. See võib olla tingitud sellest, et laevajuhtide kogemused on erinevad ja pole ühtset määrustikku ega regulatsiooni vastavate nähtvuskaugete gradatsioonide kohta. Näiteks mitmekümne aastase kogemusega kapten saab ekstreemsemates oludes kindlasti paremini hakkama, kui paari aastase kogemusega kapten. Samuti osa vastuste puhul (100 ja 200 m) võib olla tegu oma võimete ülehindamisega, sest nii väikese nähtavuskaugusega liigeldes on tegu kindlasti väga ohtliku (ekstreemse) olukorraga. Kõige enam arvatakse ohtlikuks nähtavuseks sademete korral 500 – 2000 m. Kui udu korral on ohtlikuks nähtavuse piiriks 1000 m siis on ootuspärane, et sademete korral võiks see piir olla natukene suurem, sest sademete korral tuleb arvestada veel teatud lisafaktoritega, näiteks halvendavad veepritsmed akendel nähtavust, kojamehed ei pruugi tugeva saju korral jõuda piisavalt kiiresti akent puhastada, radari töö on tugevalt häiritud. Seega ohtlikuks nähtavuseks äikese ajal võiks küsitluse alusel pidada 1000–2000 m.

Pagituuled mõjutavad eelkõige väikelaevu ja purjelaevu, kuna need ei ole sellistes oludes nii vastupidavad, kui suured kauba- ja reisilaevad. Ka pagi puhul pole üheselt määratud ohtliku pagi kiirus merel. Pagi sarnaneb oma olemuselt tugevale tuulele, kuid mõned nüansid on seal siiski erinevad. Kui tavalise tuule puhul loetakse rahvusvaheliselt merealadel ohtlikuks tuult alates 7 pallist Beauforti skaala järgi, millele vastab 13–15 m/s, siis pagi korral võiks ohtliku tuule puhangu kiiruseks lugeda tugevamat tuult, sest pagiga tavaliselt ei kaasne nii suured lained, kui tavalise (mittepagi-) tuulega. Järgnevalt tuuakse välja laevajuhtide vastused ohtlike tuule kiiruste kohta pagi korral.

Tabel 2. Pagist tingitud ohtlik tuule kiirus (m/s) küsitluse alusel

Tuule kiirus (m/s)	10	15	20	25	30
Vastajaid	0	0	5	5	9

Nagu tabelist 2 näha võib, ei pea laevajuhid nõrgemat pagi (tuule kiirus kuni 15 m/s) ohtlikuks. See näitab, et vastajad sõidavad pigem suurte laevadega, mida (puhanguline) tuule kiirus nii palju ei mõjuta. Siiski alates 20 m/s pagi korral on tegu juba ohtliku pagiga, mis võib mõjutada ka suuremaid laevu. Nagu eelmises peatükis esitatud vastustest selgus, siis pagi võib ka suure laeva kreeni lükata või laeva kurssi muuta. Ohtlikuks tuule kiiruseks, mis kaasneb pagiga, võib lugeda 20 m/s ja kui tuule kiirus ületab juba 30 m/s, siis on tegemist väga ohtliku pagiga.

Ka rahe võib olla merel väga ohtlik, sest rahe võib kaasa tuua mitmeid purustusi laevakerele ja vigastada inimesi. Sellepärast olekski soovituslik rahe ajal minna kuhugi varjulisse kohta või rahehoogu vältida. Raheterade läbimõõt erineb väga palju, millest sõltub rahe ohtlikkus - väiksema läbimõõduga rahe ei pruugi üldse merel ohtlik olla, kuid suuremad raheterad on seda kindlasti. Üldiselt peetakse ohtlikuks rahet, mille läbimõõt on 2 cm (Eesti ilma riskid, 2012, 32). Järgmises tabelis (Tabel 3) tuuakse välja laevajuhtide vastused, millal on nende arvates tegu ohtliku rahega.

Tabel 3. Ohtlik rahetera läbimõõt

Rahetera läbimõõt (cm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Vastajaid	2	4	9	4	0	1

Vastustest selgub üsna üheselt, et juba 1–2 cm läbimõõduga raheteri peetakse ohtlikuks, seega võiks pidada ohtlikuks rahet, mille läbimõõt algab juba 1 cm-st.

3.2. Äikesekoolitused laevajuhtidele: probleemid ja ettepanekud

Kõige parem viis ennetada võimalikke õnnetusi äikesega seoses oleksid koolitused laevajuhtidele. Koolituste eesmärgiks oleks teha laevajuhtidele selgeks kõik ohud, mis võivad tekkida äikesega. Laevajuhid on kindlasti saanud baastadmised meteoroloogiast, kuid nendest võib tegelikult elus väheks jääda.

Kui võtta näitena TTÜ Eesti Mereakadeemia, siis õppekavades on küll olemas mõned meteoroloogia valdkonna õppeained, kuid nendes räägitakse äikesest ja sellega kaasnevatest ohtudest väga vähe ja väga pealiskaudselt. Kuna äikest esineb tegelikult elus suhteliselt palju ja iga-aastaselt, siis tuleks laevajuhtidele kasuks see, kui nad teavad seda, kuidas äike tekib ja millised ohud sellega kaasnevad.

Tänapäeval kasvab pidevalt inimeste huvi vaba aja veetmise vastu merel. Ostetakse üha rohkem jahte ja väiksemaid kaatreid. Samuti tehakse endale väikelaevajuhi tunnistus, et inimesed saaksid juhtida väikelaevu. Ka väikelaevajuhtide koolitusel tuleks rääkida rohkem äikesest ja sellega kaasnevatest nähtustest, sest näiteks lõputöö autori kogemus väikelaevajuhi koolitusest näitas, et seal küll puudutatakse meteoroloogiat, kuid liiga pealiskaudselt.

Ka küsitlusest selgus, et laevajuhtide teadmised äikesest ei ole väga head, kusjuures paljud ei oska pidada äikest ohtlikuks. Suulises küsitluses vastasid küsimusele „Kas pead äikest ohtlikuks?“ kõik vastanud laevajuhid, et ei pea. Kui aga tuua välja äikesega kaasnevad nähtused (pigi, rahe, tornaado, paduvihmad) ja küsida, kas need on ohtlikud nähtused, siis enamik vastas siiski jaatavalt. Samuti vastates küsimusele, kas oled kokku puutunud keeristormidega (vesipüks, tornaado, tuulispask), ajas üks vastaja need segamini taifuuniga (tugeva troopilise tsükloniga Vaikse ookeani kesk- ja lääneosas).

Antud diplomitöö võiks olla kasutatav esialgseks õppematerjaliks nii laevajuhtidele TTÜ Eesti Mereakadeemias kui ka väikelaevajuhi koolitustest osa võtvatele inimestele. Esimeses peatükis antakse teoreetiline ülevaade äikese olemusest, tekkimisest jms, teises peatükis kirjeldatakse äikesega kaasnevaid ohtlikke nähtuseid. Seega on juba lõputöös palju (tausta)teadmisi, aga ka äikesega seotud huvitavaid tähelepanekuid, mis kindlasti oleks kasulik inimestele, kelle teadlikkus äikesest on suhteliselt madal.

3.3. Infovahetus

Riigi Ilmateenistus edastab tormihoiatusi, tänu millele saavad meresõitjad vajaliku informatsiooni ebatavalisest ja potentsiaalselt ohtlikust ilmast, kuid vahel ei pruugi sellest piisata. Hea oleks, kui merel viibides oleks ka teisi infovahetuse liike. Tänapäeval on abi kindlasti sellest, et pea kõikjal on saadaval internet, mis võimaldab ligipääsu tohututele andme- ja inforessurssidele.

Just interneti vahendusel saaksid laevajuhid omavahel infot vahetada. Väga hea oleks, kui Eestis looksid laevajuhid mingi infokanali, mille kaudu saaks infot edastada ja vahetada. Tänapäeval on võimalus luua erinevad foorumid. Näiteks on töö autoril ettepanek teha vastav laevajuhtide foorum, kus nad saaksid omavahel suhelda ja rääkida antul hetkeilmast. Kui kellelgi on olnud kokkupuuteid äikesega või näevad kaugelt, et tegemist on äikesega või mõne ohtliku nähtusega, millega puututi kokku, siis oleks hea, kui ta edastaks selle info kohe ka teistele. Teised saaksid siis operatiivselt teada, et selles piirkonnas on hetkel tegemist äikeselise (potentsiaalselt ohtliku) ilmaga, mistõttu targem oleks sellest piirkonnast eemale hoida või võtta tarvitusele abinõud. Samuti saaksid laevajuhid seal oma kogemusi äikesest vahetada – sellest võib olla mõnele abi.

Teiseks ettepanekuks oleks liituda praegu olemasoleva Äikesehuviliste grupiga, kus juba praegu edastatakse väga palju infot äikese kohta. Samuti postitatakse sinna prognoose äikese kohta ning arutletakse äikese võimaliku esinemise teemadel.

Laevajuhtidel on võimalus ka raadio teel edastada infot hetke ilma kohta. Mitmete laevajuhtidega vesteldes selgus, et seda võimalust väga palju ei kasutata, kuid sellel infokanalil on potentsiaal muuta laevaliiklus merel ohutumaks.

3.4. Ilmateenistuse radarite jälgimine

Riigi Ilmateenistuse kodulehel on võimalik jälgida Harku ja Sürgavere ilmaradari (sh komposiitpilt) andmeid. Radarit kasutatakse mitmete ilmanähtuste jälgimiseks, eeskätt sajuala piiritlemiseks, selle levimise kiiruse arvutamiseks, sademete tüübi määramiseks, aga ka tuulega seotud ohtlike nähtuste jälgimiseks või hilisemaks määramiseks, kuid avalikkusele on kättesaadav ainult sajualade paiknemist ja saju intensiivsust puudutavad andmed (Ilmateenistus, 2013).

Radaripilt annab kiire ja ülevaatliliku pildi sellest, kus ja kui intensiivsed sajualad paiknevad – see annaks laevajuhtidele palju juurde (aitaks nende tööd optimeerida ja vajadusel abinõud tarvitusele võtta, näiteks muuta oma kurssi). Lisaks intensiivsetele sajualadele on radaripildidelt võimalik näha ka võimaliku äikesega ja rahe olemasolu, ent avalikkuses kättesaadava radaripildi vastav tõlgendamine on keerulisem ja vajaks eelteadmisi ja kogemusi (abiks oleksid koolitused).

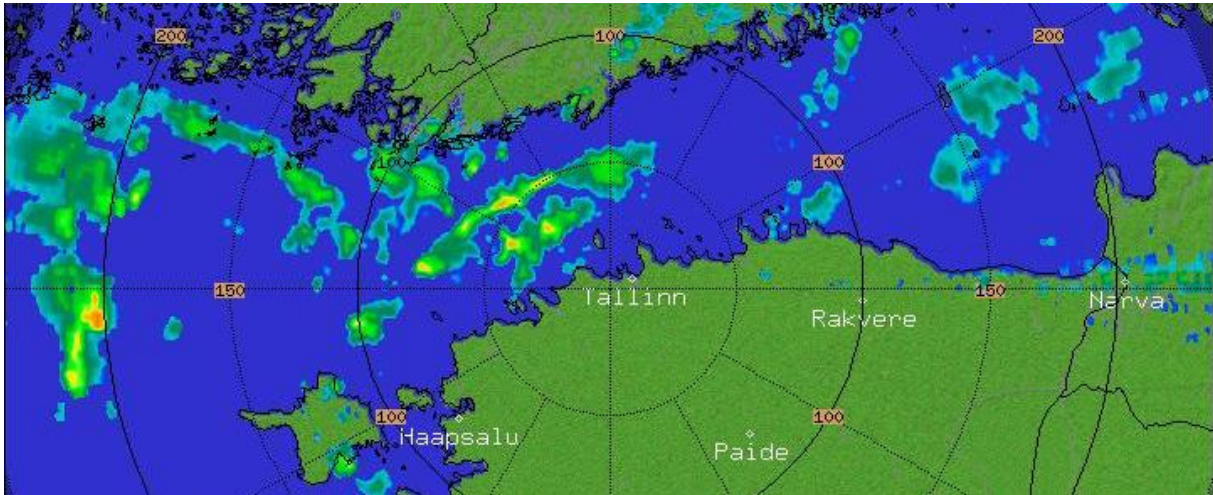
Järgmistel näidiselena valitud radaripildidel on näha äikeseline päev 17.07.2015 varahommikul ja sajualade liikumise teekond. Sünoptilise olukorra järgi liikus Läänemerelt Eesti kohale osatsüklon. See tõi kaasa väga labiilse õhumassi, mistõttu äikest oli Eestis pea kõikjal, kuid eriti palju hommikul saartel ja mere kohal (Kamenik, ilmablogi, 2015)



Joonis 4. Harku radaripilt 17.07.2015 02:00 (Ilm.ee andmebaas)

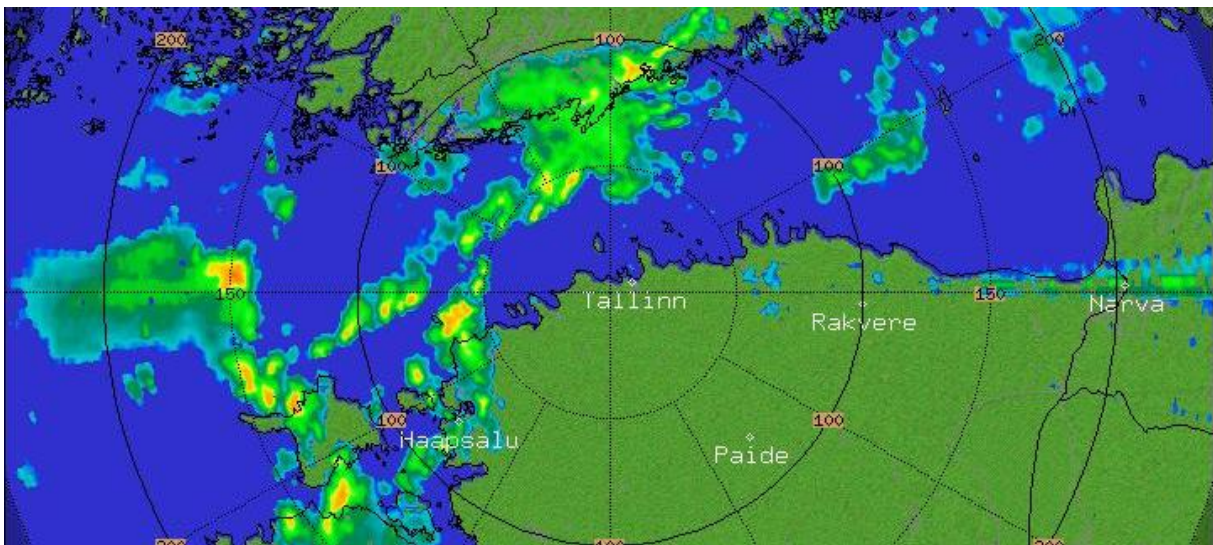
Radaripildilt (Joonis 4) on näha, et mere kohal on arenemas rünk(saju)pilved, millele viitavad üsna kompaktsed sajualad (rohelisega, kohati kollast, oranži). Mida oranžima ja

punasema värviga on need laigud (sajualad), seda intensiivsem on antud sajuala ja suurem tõenäosus, et see sisaldab rahet ja üldisemalt äikest. Loode-Eesti mere kohal on näha üht kollakat täpikest. Tegemist võis olla juba äikesega, sest selline kollane laik näitab, et pilvede tipud on väga kõrgel ja seal on väga intensiivne sadu.



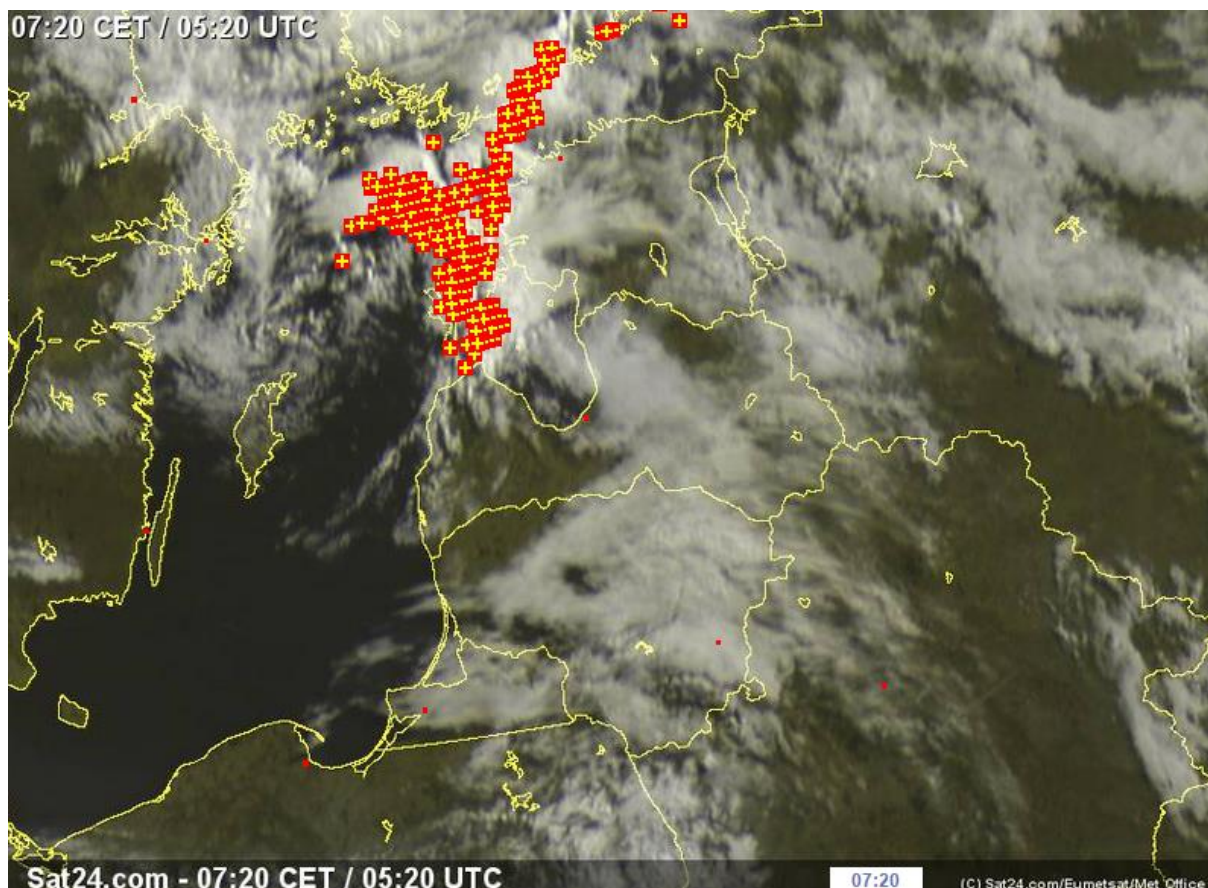
Joonis 5. Harku radaripilt 17.07.2015 03.00 (Ilm.ee andmebaas)

Tund aega hiljem, kell 3.00 (Joonis 5) on juba radaripildilt näha mitu erinevat intensiivset sajuala, mis on äratuntavad kollaste laikude ja oranži südamikuga – see võib viidata potentsiaalselt ohtlikele nähtustele nagu äike, rahe, pagi jms. Samuti on näha, et sajualad ja pilved liiguvad ida suunas (selgub, kui vaadata radaripiltide animatsiooni või võrrelda eri kellaaegade radaripilte).



Joonis 6. Harku ilmaradari pilt 17.07.2015 05.00

Kell 5 UTC (Joonis 6) oli mandrile lähenemas juba joonpigi, mida on näha suurtest rünksajupilvede ahelikest (oranžidest laikudest). Merel olles tuleks hoiduda sellistest oranžidest ja punastest piirkondadest, sest seal võivad olla väga tugevad pagid ja intensiivsed sademed koos rahega.



Joonis 7. Satelliidipilt 17.07.2015 05:20 UTC (Sat24.com, 2015)

Ka satelliidipiltidelt on võimalik jälgida äikest. Satelliitpiltidelt näeb väga kõrgeid pilvetippe, mis on väga valged (eeskätt infrapunasel satelliidipildil). Joonisel 7 on näha ka välgu (punasega ümbritsetud kollased plussid), mida välgudetektorid on registreerinud. Eestis asub äikesedetektor Tõraveres ja kuulub põhjamaade äikesedetektorite võrku NORDLIS. See seade võimaldab määrata välgulöökide asukoha ühe kilomeetri täpsusega, samuti fikseerida löögi aja ja tugevuse (Eesti ilma riskid, 2012, 25)

Seega üheks võimaluseks on jälgida ilmaradareid ja satelliidipilte, et jälgida äikest ja sellega seotud ohtlikke nähtusi. Kui radaril on näha väga intensiivsed sajualad, siis tuleks vältida merele minekut või tarvitusele võtta abinõud.

KOKKUVÕTE

Kuna rünksajupilvedega kaasnevaid nähtusi on palju ja nad kõik on omamoodi ohtlikud nii maal, kui ka merel, siis tuleks pöörata nendele rohkem tähelepanu. Paremad teadmised rünksajupilvedest annavad võimaluse vajadusel hinnata olukorra tõsisust ja võtta kasutusele ohtu ennetavaid meetmeid.

Selle lõputöö eesmärgiks oli koostada materjal äikesega seotud ilmariskidest ja anda ülevaade rünksajupilvedega (äikesega) kaasnevatest ohtlikest nähtustest laevasõidule. Lõputöös kasutati küsimustikku, et välja selgitada laevajuhtide teadlikkus äikesega seonduvast. Selgus, et paljud laevajuhid on kokku puutunud äikesega, kuid neil puuduvad sügavamad teadmised äikese olemusest, selle tekkimise põhjustest ja äikeseliikidest. Seega on selles lõputöös olev materjal äikese kohta heaks algmaterjaliks laevajuhtidele teadlikkuse tõstmiseks.

Küsimustikus selgitati välja ka erinevad parameetrid, millisel juhul peavad laevajuhid äikest ja sellega kaasnevaid ilmanähtuseid merel ohtlikuks. Küsitluse tulemusena jõuti järeldusele et äike on ohtlik juhul, kui:

- tugevate sademete tõttu nähtavus langeb alla 1000–2000m;
- pagi tõttu tuule kiirus on 20 m/s ja rohkem;
- rahetera läbimõõt ületab 1 cm.

Samuti mainiti vastustes mitmeid olukordi, kui laevajuhid on kokku puutunud äikesega kaasnevate nähtustega ja milliseid tagajärgi see põhjustas.

Antud lõputöös pakuti välja ka võimalusi, kuidas laevajuhid saaksid oma teadlikkust äikesega seonduvast tõsta. Peamised võimalused teadlikkuse tõstmiseks võiksid olla sellised: parem infovahetus laevajuhtide vahel, koolitused äikese kohta ja ilmaradarite-satelliidipiltide lugema õppimine.

Edaspidi tuleks uurida äikesega kaasnevate nähtuste mõju purjetamisele ja väikelaevasõidule, arvatavalt mõjutab äike neid veel enam ning välja selgitada ka siin ohtlikud parameetrid. Samuti koostada juhised laevajuhtidele, kuidas vältida merel äikese kätte sattumist.

SUMMARY

SEVERE WEATHER CONDITIONS IN BALTIC SEA DURING THUNDERSTORMS

Raldo Täll

This thesis is written to collect material about thunderstorms and severe weather conditions caused by them. Material is used to improve the level of knowledge needed by mariners to safely navigate through hazards caused by thunderstorms. In this thesis can be found different situations that mariners have been facing while there has been thunderstorms during marine voyage.

The aim of this study is to find out parameters regarding to severe weather conditions during thunderstorms. For example you can find out what mariners think about dangerous visibility caused by heavy rain, hazardous wind speed during squalls and hazardous hail size. Also, in this thesis there are some pointers to mariners on how to better communicate with each other about hazards of thunderstorms, different educational options to get better knowledge about thunderstorms and quick overview how to read weather radars and satellite images. Questionnaire was used in this thesis and sent to navigators through The Association of Estonian Deck Officers, there was 20 answers in which dangerous parameters became known about severe weather conditions during thunderstorms at sea.

VIIDATUD ALLIKAD

- Eesti ilma riskid (2012). Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut. / Koostaja: T. Tammets. 2. täiend tr. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda
- Enno, S (2005). Äike, võimsaim ja ohtlikem ilmastikunähtus. – *Eesti Loodus*, juuli.
- Enno, S (2007). Uusi andmeid Eesti äikesekliima kohta. – *Eesti Loodus*, detsember.
- Inimene ja ilm (1970). Loodusuurijate selts Eesti NSV Teaduste Akadeemia juures. / Koostaja: H. Tooming. Tallinn: Valgus
- Jürissaar, M (2007). Lennundusmeteoroloogia: Õpik pilootidele, lennujuhtidele ja lennundusmeteoroloogidele. Tartu: Tartu Lennukolledž
- Jürissaar, M (2011). Meteoroloogia. 2. täiend tr. Tartu: Eesti Lennuakadeemia
- Kallis, A. (2014) Kodune ilmaraamat. Tallinn: Printon
- Kamenik, J (2013). Võluv ja hävitav loodusnähtus. – *Eesti Loodus*, august, lk 22.
- Kamenik, J (2015). Eesti pilveatlas. Tallinn: Varrak
- Kamenik, J (2015). Erakordne hiidrahepuhang Ida-Eestis. – *Eesti Loodus*, september.
- National Geographic Almanac of Geography (2005). National Geographic Society. s.l.
- Oliver, J.E. (2005). Encyclopedia of world climatology. Dordrecht: Springer
- Veismann, U. Veskimäe, R (2015) Universum valguses ja vihmast. Tallinn: OÜ Reves Grupp

Internetiallikad

- American Meteorological Society (AMS). (2012) AMS Glossary of Meteorology,
<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Thunderstorm> (15.03.2016)a
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Overshooting_top (15.03.2016)b
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Wall_cloud (15.03.2016)c
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Ordinary_cell (15.03.2016)d
<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Squall> (03.04.2016)e
<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Accretion> (15.04.2016)f
<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Waterspout> (15.04.2016)g

- <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Mesocyclone> (15.04.2016)h
- <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Landspout> (15.04.2016)i
- http://glossary.ametsoc.org/wiki/Nonsupercell_tornado (15.04.2016)j
- Aotäht, A (2015). Ametlik raherekord sattus augustimöllu ajal löögi alla. – *Postimees*,
<http://sakala.postimees.ee/3320359/ametlik-raherekord-sattus-augustimollu-ajal-loogi-alla> (15.04.2016)
- Enno, S. Väik. <http://web.zone.ee/eav/01onv2lk.htm> (02.04.2016)
- Enno, S. Pagituulte teke äikesepilvedes.
<http://web.zone.ee/funnelcloud/projekt4.htm> (02.04.2016)
- Haby, J (2015). Forecasting hail.
<http://www.theweatherprediction.com/severe/hail/> (02.04.2016)
- Haby, J (2015) Why are tornadoes more common in the plains?
<http://theweatherprediction.com/habyhints2/404/> (15.04.2016)
- Hailstone terminal velocity.
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/airfri2.html#c4> (04.04.2016)
- Hatheway, B (2010) Supercell Thunderstorms and Squall Lines.
<http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/tstorm/severe.html> (15.04.2016)
- Heidorn, K (2002). Hail Formation.
<http://www.islandnet.com/~see/weather/elements/hailform.htm> (15.04.2016)
- Kamenik, J (2013). Huvi päritolu. <http://lepo.it.da.ut.ee/~cbarcus/huvi.htm> (02.04.2016)
- Kamenik, J (2013). Pagi. <http://ilm.ee/?46107> (02.04.2016)
- Kamenik, J; Walk&Learn (2015). Horisoni pilveabits – nutirakendus.
<https://play.google.com/store/apps/details?id=ee.horizont.mobile.pilveabits&hl=et>
(01.05.2016)
- Kamenik, J (2015). Äikese jälgimise ja seletuste abilehekülg.
<http://ilm.ee/pikne> (14.03.2016)
- Kapela, T. Scary looking cloud club. Basic SLC definition.
<http://www.scarylookingcloudclub.org/slcs/> (19.03.2016)
- Lindsey, D (2002). Analysis of convective downdrafts using simple model results and doppler radar data. M.S Thesis. Colorado State University.
<http://kiwi.atmos.colostate.edu/rr/groupPIX/daniel/thesis.pdf> (02.04.2016)
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Advanced Spotters Field Guide.
<http://w4ehw.fiu.edu/spotter%20guide%20advanced%20noaa.pdf> (15.04.2016)
- National Weather Service Forecast Office. The Basics of Storm Spotting.
<http://www.srh.noaa.gov/oun/?n=stormspotting-basics> (30.03.2016)

Riigi Ilmateenistus, (2013). Hoiatuste kriteeriumid.

<http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/hoiatuste-kriteeriumid/>
(02.04.2016)

Riigi Ilmateenistus (2013). Radaripildid.

<http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/radaripildid/infoks/> (15.04.2016)

Robinson, D. Storm Highway. How Cloud-to-Ground Lightning Works.

<http://stormhighway.com/cgdesc.php> (18.03.2016)

Thunderstorm classification. NC State University, Climate Education for K-12.

<https://climate.ncsu.edu/edu/k12/.StormClassification> (18.03.2016)

Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Convective_available_potential_energy (18.03.2016)

<https://et.wikipedia.org/wiki/Tromb> (15.04.2016)

LISAD

Lisa 1. Küsitlusleht

Milline on teie arvates ohtlik nähtavus merel suvisel perioodil (mai-september) sademete ajal?

100m

200m

500m

1000m

1500m

2000m

Other:

Milline on teie arvates äikesega kaasnev ohtlik tuule kiirus (pigi)?

10 m/s

15 m/s

20 m/s

25 m/s

30 m/s

Other:

Millisest rahetüki läbimõõdust (suurusest) algab teie arvates ohtlik rahe?

0,5 cm

1 cm

1,5 cm

2 cm

2,5 cm

3 cm

Other:

Kas teil on olnud kokkupuuteid keeristormidega? (tuulispask, vesipüks, tornaado)

Kui jah, siis palun kirjeldada võimalusel lähemalt: kus, millal, kuidas välja nägi, kas kaasnes kahjustusi?

Kas teil on olnud kokkupuuteid välgutabamusega? (lähemal kui 500m)

Kui jah, siis kas välg tabas laeva, laeva ümbrust; kas kaasnes kahjustusi? Kui juhtus midagi muud huvitavat / märkimisväärt, kirjeldage.

Kui teil on mingeid muid põnevaid tähelepanekuid seoses äikesega ja sellega kaasnevate nähtustega, siis palun kirjeldage.

Lisa 2. Asutused, kellega võeti ühendust antud töö käigus

Eesti Laevajuhtide Liit

Eesti Vabatahtlik Mere- ja Järvepääste

Merevalvekeskus

Keskkonnaagentuur

Ilm.ee (koostöös Tartu Ülikooliga)

Lisa 3. Tornaadode tugevuse skaalad

RAHVUSVAHELINE TORRO SKAALA

Tornaado tugevus	Iseloomustus	Kahjustused
T0	Kerge tornaado 17–24 m/s	Peenike kerge prügi kerkib maapinnalt spiraalina, telgid, suured telgid on tõsiselt segi aetud; enamus väljapandud katusekivid, katusetahvlid on paigalt nihutatud. Oksad on katki, viljapõllule on sissetallatud teerada
T1	Nõrk tornaado 25–32 m/s	Lamamistoolid, väikesed taimed, raske prügi on õhu teel edasi kantud, väiksemad kahjustused kuuridel ja garaažidel. Palju tõsisem katusekivide, katuseplaatide ja korstnakivide paigalt nihkumine. Puidust aiad maha lükatud. Puude ja hekkide väiksemad kahjustused.
T2	Mõõdukas tornaado 33–41 m/s	Rasked mobiilsed majad on ümberpaigutatud, kerged karavanid on ümber puhutud, aiamaajakesed on purustatud, garaažikatused on ära kistud, kivi- ja korstnad on lõhutud. Puudel üldised vigastused, mõned suured oksad on ära väänatud või murtud, väikesed puud on välja juuritud.
T3	Tugev tornaado 42–51 m/s	Mobiilsed majad on ümber lükatud / tugevalt kahjustatud, kerged karavanid on purustatud; garaažid, välisehitised on purustatud; puidust katusekonstruktsioonid on märkimisväärselt paljastatud, mõned suured puud on katki või väljajuuritud.
T4	Väga tugev tornaado 52–61 m/s	Mobiilsed majad purustatud, mõned kuurid on õhus edasi viidud märkimisväärsele kaugusele; kogu katus on mõnedelt majadelt ja eelnevalt töödeldud ehitustelt täielikult eemaldatud, sarikad tugevatel kivimajadel on täielikult paljastunud, võimalik katuseviilude otste kokkuvarisemine. Arvukalt on puid välja juuritud või murdunud.
T5	Pingeline tornaado 62–72 m/s	Autod on õhku kergitatud; ehitiste kahjustused tõsisemad kui T4 puhul, siiski tavaliselt maja seinad jäävad püsima, kõige nõrgemad vanad majad varisevad täielikult kokku.
T6	Mõõdukalt rüüstav tornaado 73–83 m/s	Rasked mootorsõidukid õhku kergitatud, tugevad majad kaotavad kogu katuse ja võibolla ka seinad; enamus vähemtugevaid maju variseb kokku.
T7	Tugevalt rüüstav tornaado 84–95 m/s	Sõrestikseintega majad täielikult purustatud; mõned kivi- või telliskivi majade seinad on maha lükatud või kokku varisenud; metallraamiga laohoone tüüpi ehitised võivad veidike kummi minna. Liiklusvahendid on ümber lükatud. Märkatav mõnede seisvate puude koorimine lendavate rusude poolt.

T8	Raskelt rüüstav tornaado 96–107 m/s	Sõrestikraamiga majad ja nende sisu on laiali paisatud suure vahemaa peale; enamus teistel kivi ja telliskivi majadel on parandamatud kahjustused. Metallraamistikuga ehitised on kummis, autod lennutatud suure kauguse taha.
T9	Intensiivselt rüüstav tornaado, 108–120 m/s	Paljud metallraamistikuga majad on tugevalt vigastatud; liiklusvahendid (autod, rongid) on teelt ära pühitud. Iga seisva puutüve täielik koorumine.
T10	Ülitornaado 121–134 m/s või rohkem	Majad koos kogu raamistikuga ja sarnased ehitised on kogu konstruktsiooniga vundamentidelt üles tõstetud ja teatud kaugusele kantud. Raudbetoonehitistel võivad olla tõsised kahjustused.

FUJITA TORNAADODE TUGEVUSE PARANDATUD SKAALA (EF-Scale, aastast 2007)

Tornaado tugevus	Tuule kiirus (m/s)	Purustuste määr
EF0 (väga nõrk)	29–38	Väikesed kahjustused
EF1 (nõrk)	39–50	Mõõdukad purustused, aknad purunevad
EF2 (tugev)	51–61	Tunduvad purustused, suured puud välja rebitud
EF3 (väga tugev)	62–75	Rongid tõstetakse rööbastelt, enamus puid murduvad
EF4 (hävitav)	76–90	Suured purustused linnades
EF5 (uskumatult tugev)	üle 90	Väga suured purustused

Allikas: Riigi Ilmateenistus