Eestis esinevate konvektiivsete tormide pilv-maa välke ja rahet detekteerivad parameetrid kaksikpolarimeetrilise Doppler ilmaradari andmete põhjal

Tanel Voormansik, Tarmo Tanilsoo,
Piia Post, Dmitri Moisseev, Pekka J. Rossi

Eesti kaugseirepäev
Tõravere
27 Oktoober 2016

Ettekande kava

- Sissejuhatus/motivatsioon
- Andmed ja meetodid
- Ülevaade määratud tormidest
- Välke detekteerivad parameetrid
- Rahet detekteerivad parameetrid
- Kokkuvõte

Sissejuhatus/motivatsioon

- Konvektiivsete tormidega kaasnevad mitmed ohud
- Arenevad kiirelt
- Võivad olla lühikese elueaga
- Sageli väikeste mõõtmetega



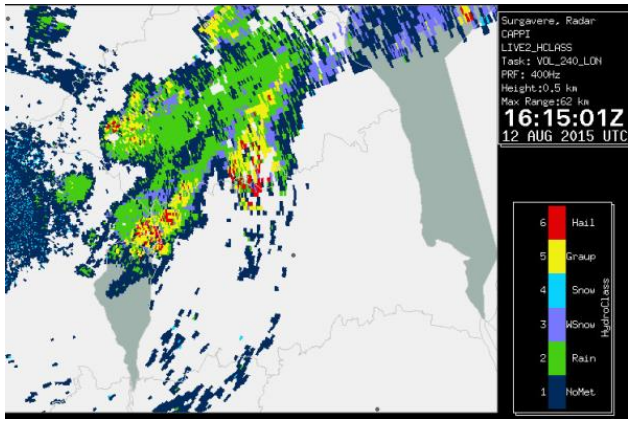
http://2.bp.blogspot.com/-22Vx9F_TeUk/VcxiFnY7uII/AAAAAAAAIqA/9s38DTB_R_E/s1600/11886142_10203520900261615_709153417692353045_o.jpg

Rahe 12.08.2015

Tartu 03.07.2016



http://g3.nh.ee/images/pix/900x600/F7ule6b_FGk/uputus-tartus-riia-tanava-raudteesilla-all-74967573.jpg





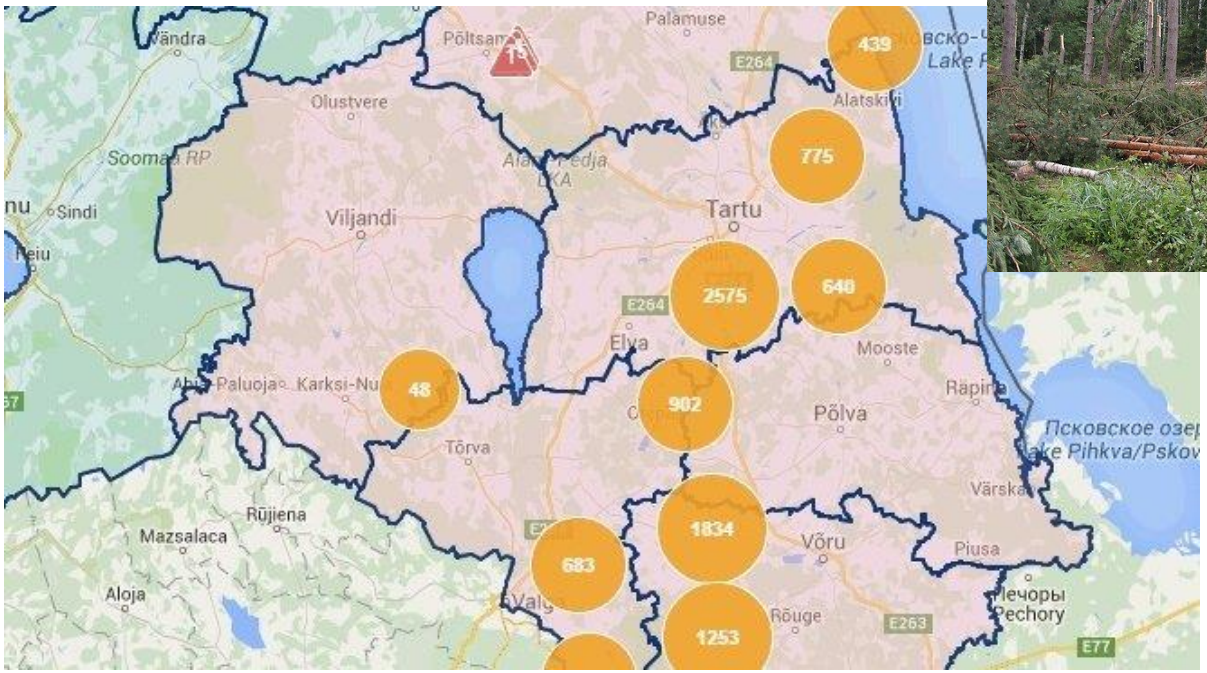
http://2.bp.blogspot.com/-r3QQUAAP7jY/Vc2fIzGmS3I/AAAAAAAAIr0/zFyQG7KRVCY/s1600/242448170f69e8_o.jpg

Sissejuhatus/motivatsioon

Lõuna-Eestit 3. juulil 2016 laastanud äikesetorm



http://g1.nh.ee/images/pix/900x600/QckzUReezeGg/d3c4d57836779ec6ac-75033701.jpg



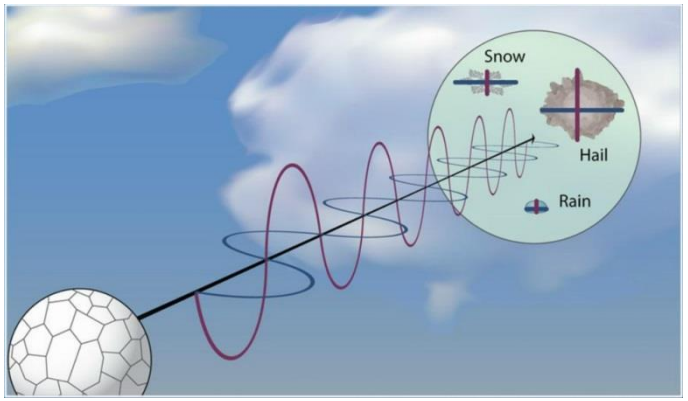
http://g3.nh.ee/images/pix/elektrilevi-kahjustused-torm-75003923.jpg



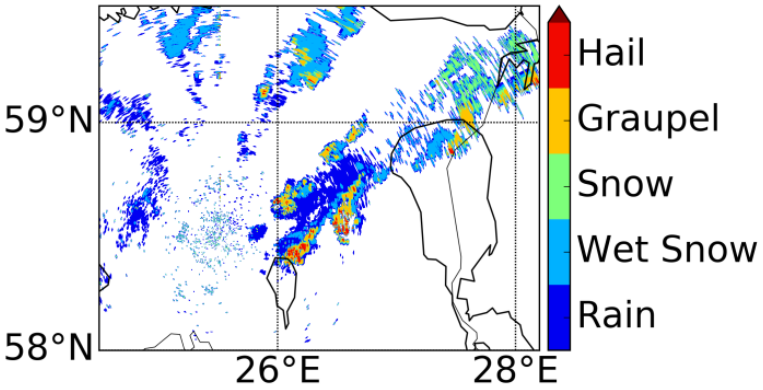
Elektrilevi rikkekaart 03.07.2016

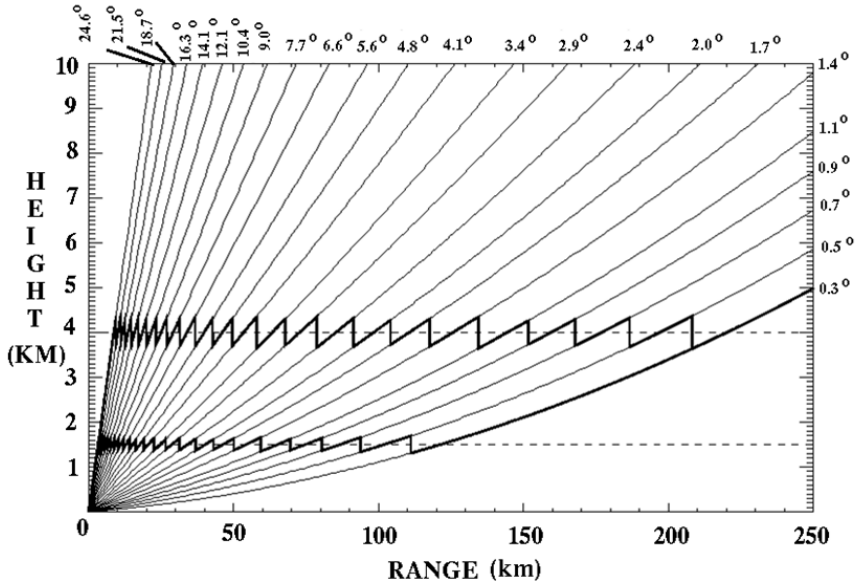
Sissejuhatus/motivatsioon

Kaasaegne kaksikpolarimeetriline Doppler ilmaradar kui parim vahend konvektiivsete tormide uurimiseks



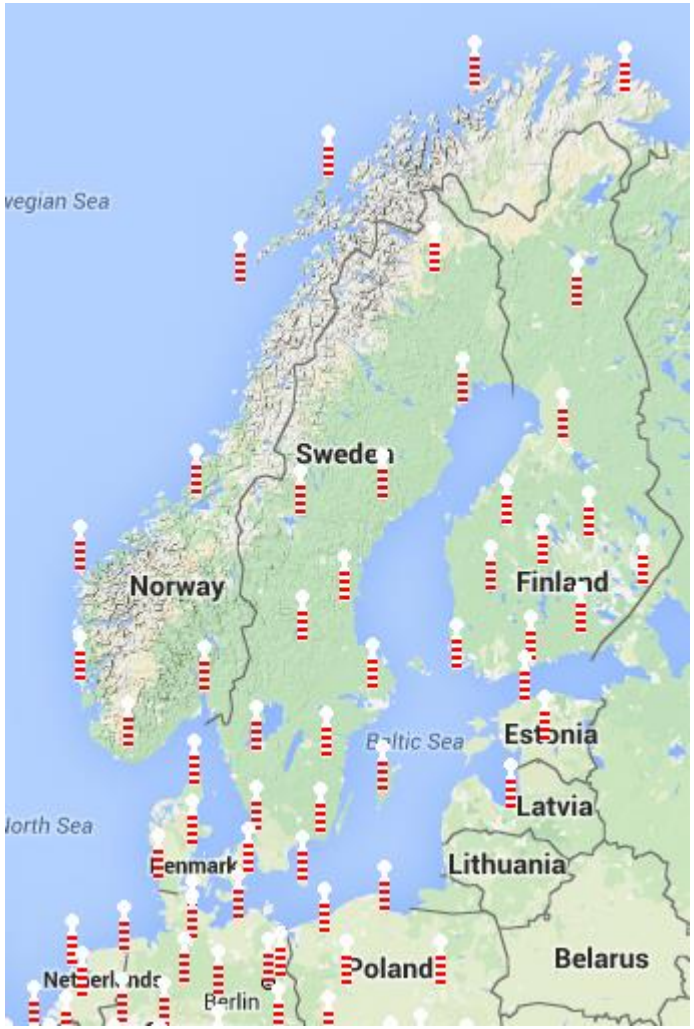
http://www.nws.noaa.gov/com/weatherreadynation/img/art_imgs/130425_dual_pol_illustration.jpg





https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/64/Radar-angles.png/260px-Radar-angles.png

Sürgavere – üks esimesi EUMETNET OPERA võrgustiku kaksikpolarimeetrilisi radareid piirkonnas (alates 05.2008)



Kõik piirkonna radarid



Dual-pol radarid

Varasemad teemakohased tööd

- On leitud, et pilv-maa välkude esinemine on seotud radari peegelduse kõrguse (*echo top height*) kiire kasvu perioodiga (Stolzenburg, 1994)
- Mõnedes uurimustes on peegelduse kõrguse parameetrit täiendatud temperatuuri parameetri lisamisega (nt Gremillion ja Orville, 1999; Mosier et al., 2011; Liu et al., 2012)
- Heaks rahe indikaatoriks on juba varastes töödes saadud teatud peegeldusläve kasutamist madalaima kõrgusnurga skaneeringul (nt Atlas ja Ludlam, 1961).
- Ka rahe ohtu saab hinnata kasutades eri kõrgusnurkade skaneeringuid kombinatsioonis teiste meteoroloogiliste parameetrite, peamiselt temperatuuriga (nt Waldvogel et al., 1979; Auer, 1994; Witt et al., 1994; Holleman, 2001)

Enamik varasemaid **töid** on baseerunud **valitud kuupäevadel** lühikestest perioodidest (päevad kuni nädalad) ja tehtud soojema kliimaga piirkondades. **Rahe** uurimuste peamiseks **kitsaskohaks** on läbivalt olnud **laiaulatusliku** ja **standardiseeritud andmestiku** puudumine (Punge ja Kunz, 2016).

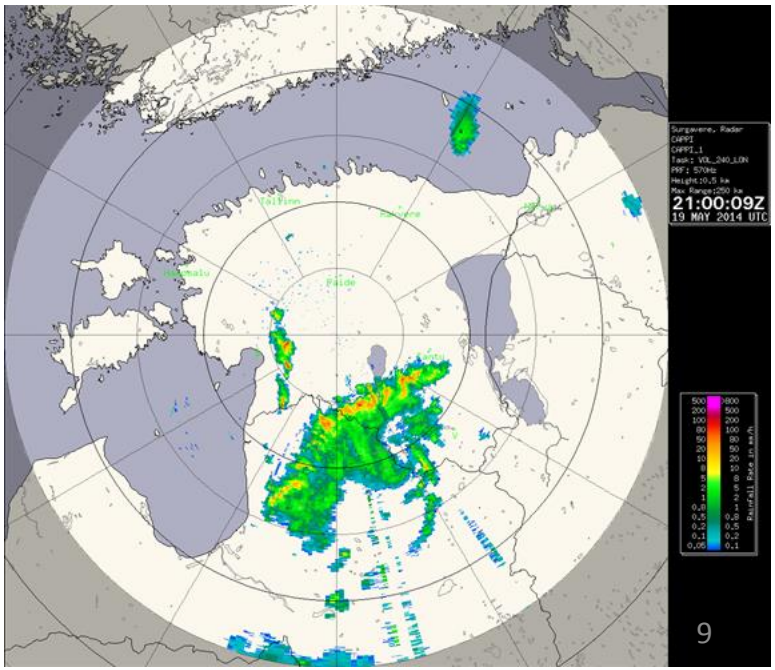
Peamised eesmärgid

- Detekteerida automaatse algoritmi abil Eesti alal konvektiivsed tormid ja analüüsida nende omadusi
- Leida parim välgu detekteerimise parameeter
- Võrrelda omavahel rahe detekteerimise parameetreid (maapealseid vaatlusi kasutamata)
- Kasutada pikka andmerida (4 aastat), et suurendada tulemuste usaldusväärsust

Andmed ja meetodid

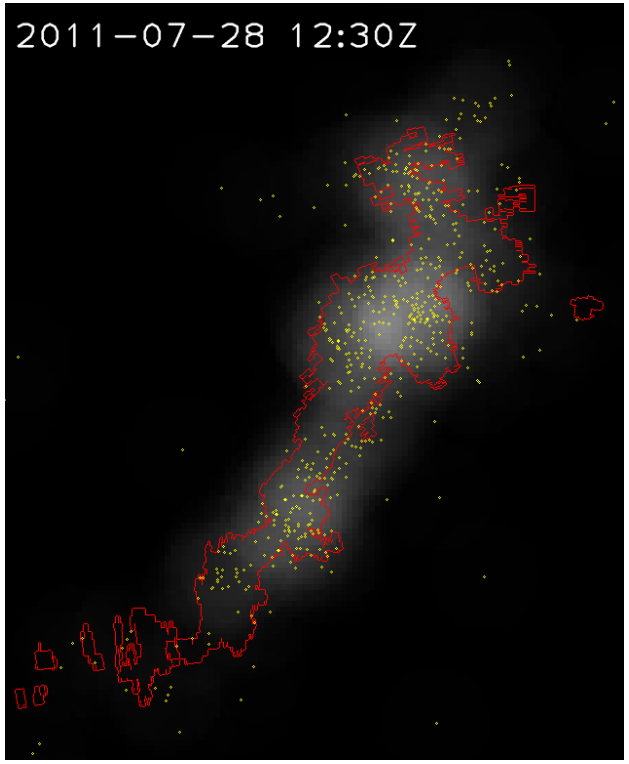


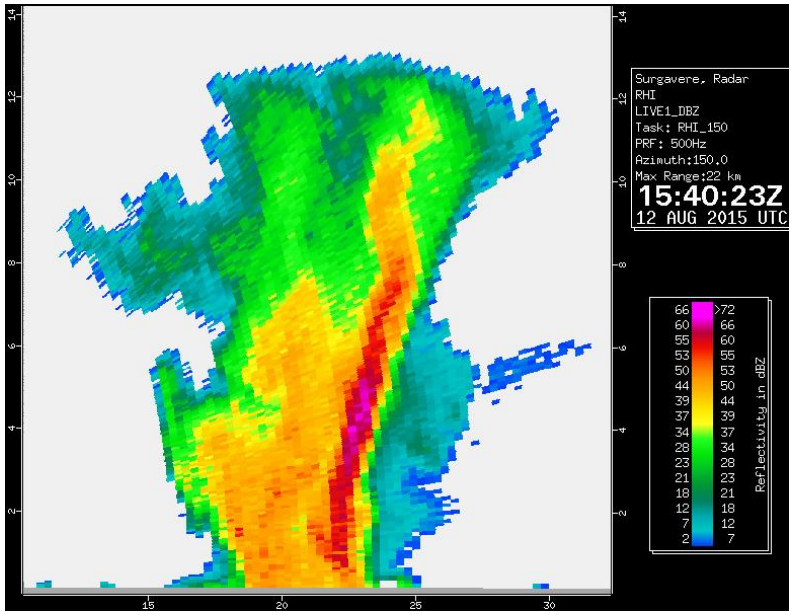
- Sürgavere C-riba kaksikpolarimeetriline Doppler radar
  - 8 kõrgusnurka (**0.5° – 15.0°**)
  - **1° x 300 m** ruumiline lahutus
  - **15 min** intervall
- Nordic Lightning Information System (**NORDLIS**) Low Frequency (LF) välgudetektorite andmed (Eesti, Norra, Rootsi, Soome) pilv-maa välkude kohta
- Harku jaama atmosfäärisondeeringu-andmed **00 UTC** (0 °C kõrgus)
- Nelja aasta (**2011-2014**) suveperioodi (mai-september) andmed



Andmed ja meetodid

- **Konvektiivse tormi ala** definitsioon: 35 dBZ või kõrgema peegelduvusega ala madalaimal skaneeringul (min pindala 5 km^2)
- **Äikesetorm**: pilv-maa välk tormi ala sees või kuni 10 km kaugusel tormist
- **Rahetorm**: kaksikpolarimeetrilise sademe-klassifikaatori raheklassi esinemine tormi ala sees





Andmed ja meetodid

Iga tormiala kohta arvutatud pilv-maa-välkude ja/või rahe parameetrid:

- **Maksimaalne peegelduvus 0.5° skaneeringul** (dBZ)
- **Tormi pindala** (km^2)
- **Maksimaalne peegelduvuse kõrgus** (*echo top height*)(m). Arvutatud dBZ piirväärtuste vahemikus 0-45 dBZ, 5 dBZ sammuga (ET0 - ET45, **10** erinevat).
- **Rahe tõenäosus** (*Probability of hail*, POH), (Holleman, 2001):
  POH = 0.319 + 0.133 ΔH, kus
  ΔH = ET45 – 0 °C isotermi kõrgus
- **Maks. välgulöökide tihedus** [välku/(100 km^2 15 min)]. Põhineb 1x1 km võrgustikul, kus on võetud arvesse 10 km raadiuses 15 min jooksul esinenud pilv-maa välgulöögid
- **Rahe maksimaalne kõrgus** (m). Raheandmed kaksikpolarimeetrilisest sademeliikide klassifikaatorist.
- **Lumekruubi maksimaalne kõrgus** (m). Lumekruubi andmed kaksikpolarimeetrilisest sademeliikide klassifikaatorist.

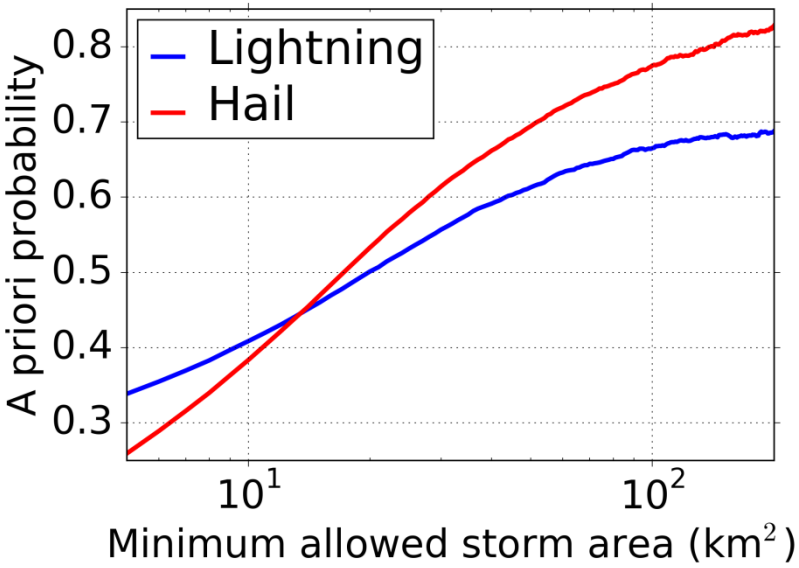
Ülevaade määratud tormidest

- Kokku **123 360** individuaalset tormiala **195** päeva kohta 4-aastasest perioodist

Tormid jagati nendes välkude ja rahe esinemise järgi klassidesse:

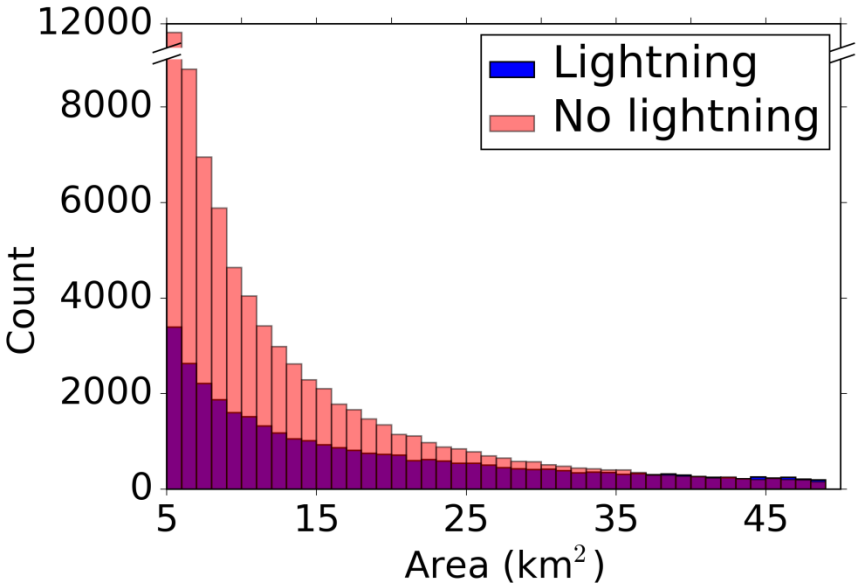
- 33.9 % välkudega, 66.1 % ilma
- 25.9 % rahega, 74.1 % ilma

- Seega vastavad aprioorsed tõenäosused 0.339, 0.661 ja 0.259, 0.741

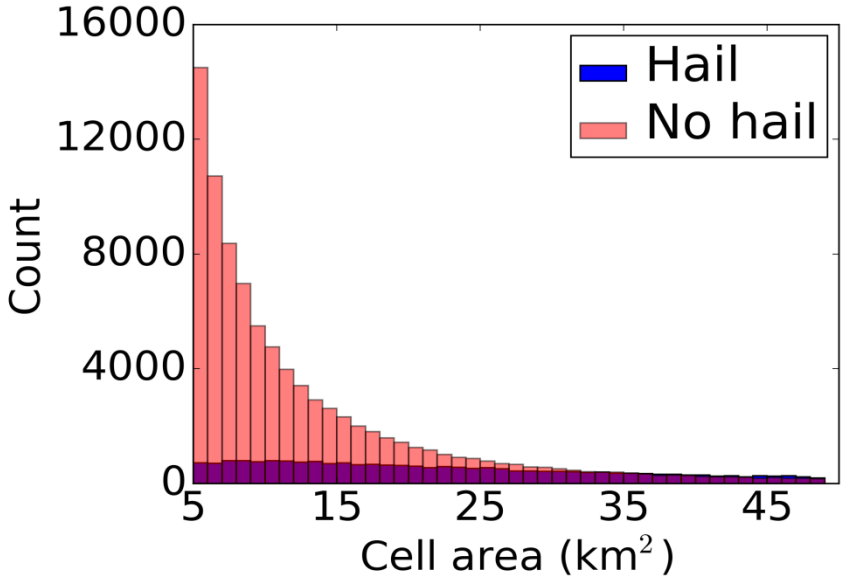


Välkude (sinine) ja rahe (punane) klasside aprioorsete tõenäosuste muutused sõltuvalt minimaalsest tormi pindalast (jättes kõrvale lävest väiksemad tormid)

Ülevaade määratud tormidest



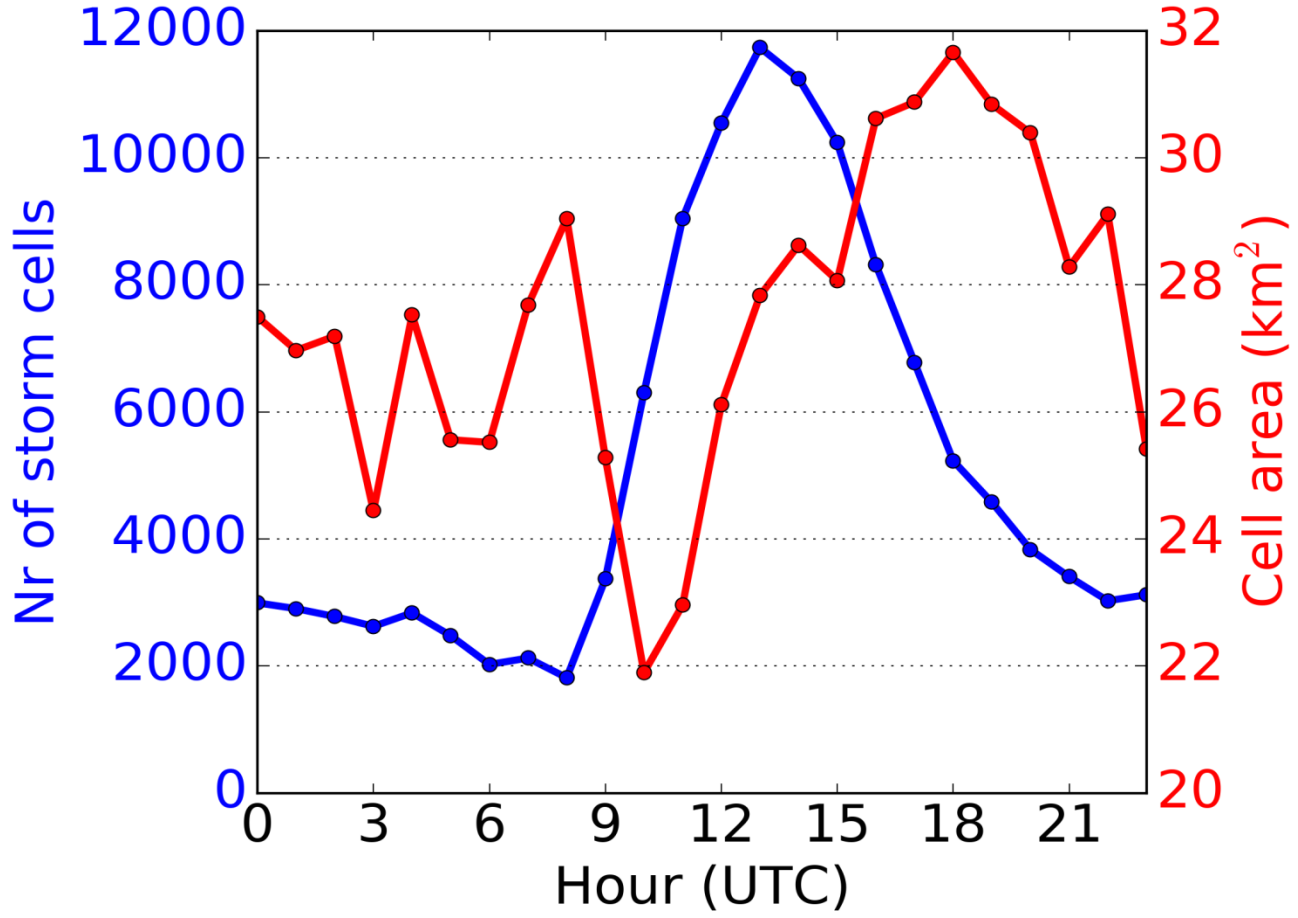
Välkudega ja ilma tormide pindalade histogramm



Rahega ja ilma tormide pindalade histogramm

- Väikese pindalaga konvektiivsetes tormides on sageli pilv-maa välke
- Rahe puhul ei paista väikese pindalaga tormid silma ja nende jaotus on ühtlasem

Ülevaade määratud tormidest



Tormide arvu ja pindalade päevane käik

- Kõige arvukamalt torme pärastlõunal (1600 kohaliku aja järgi, EEST)
- Pindalalt suurimad tormid on tavaliselt õhtuti (2100 EEST)
- Välgulöökide tihedus tormides suurim õhtul (2200 EEST)

Välkude detekteerimiseks parima parameetri leidmine

Võrdluseks kasutati levinud verifitseerimismõõdikuid:
kriitiline eduindeks **CSI** (*Critical Success Index*) , valehäirete suhe **FAR** (False Alarm Ratio), detekteerimise tõenäosus **POD** (Probability of Detection).

$$\mathrm{POD} = \frac{\text{täppi}}{\text{täppi+mööda}}$$ parim POD = 1

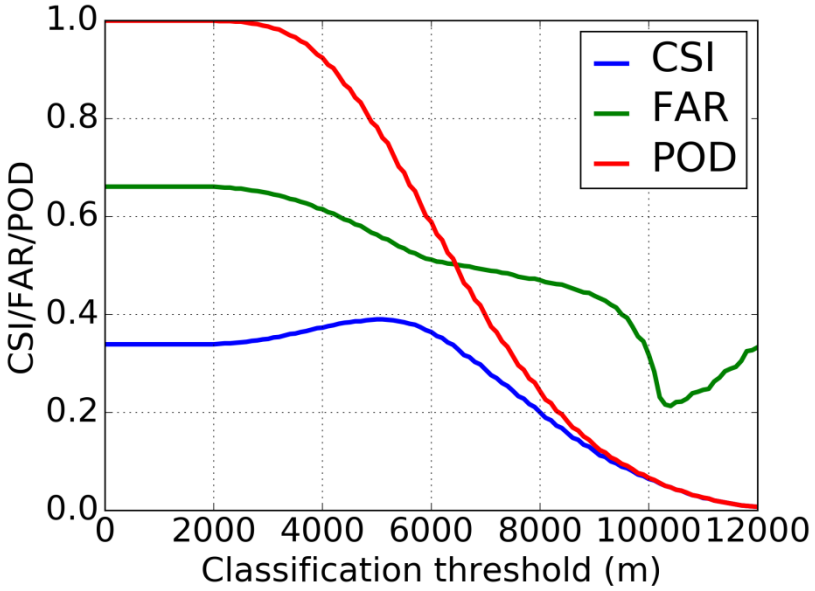
$$\mathrm{FAR} = \frac{\text{valehäire}}{\text{täppi+valehäire}}$$ parim FAR = 0

$$\mathrm{CSI} = \frac{\text{täppi}}{\text{täppi+mööda+valehäire}}$$ parim CSI = 1

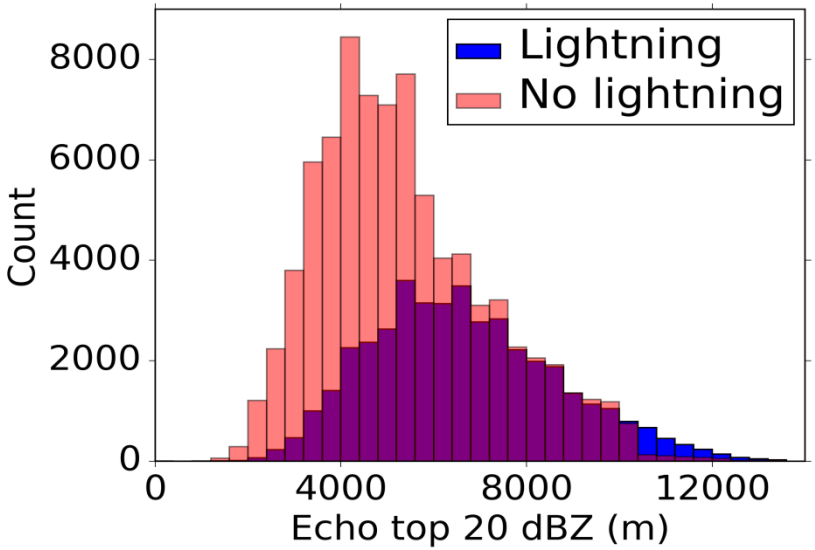
Täppi – välkudega tormialade arv, mis ületavad läve või on sellega võrdsed
Valehäire – välkudeta tormialade arv, mis on üle läve või sellega võrdsed
Mööda – välkudega tormialade arv, mis on lävest väiksemad

Välkude detekteerimiseks parima parameetri leidmine

Peegelduse kõrgus 20 dBZ (ET20) saavutas kõrgeima CSI väärtuse (0.390) läviväärtuse 5000 m korral, millele vastas FAR = 0.563, POD = 0.783

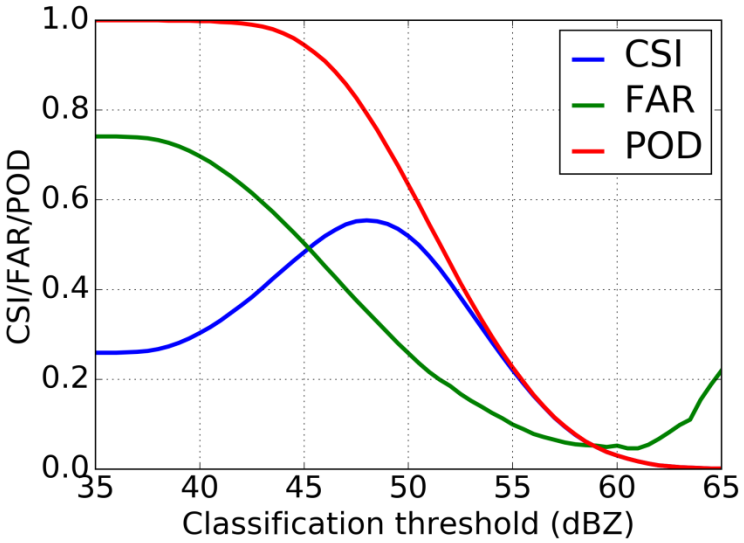


ET20 histogrammi jaotuselt paistab samuti välja, et välkudega ja välkudeta klassid on hästi eristuvad (tippude asukohad selgelt eristuvad)

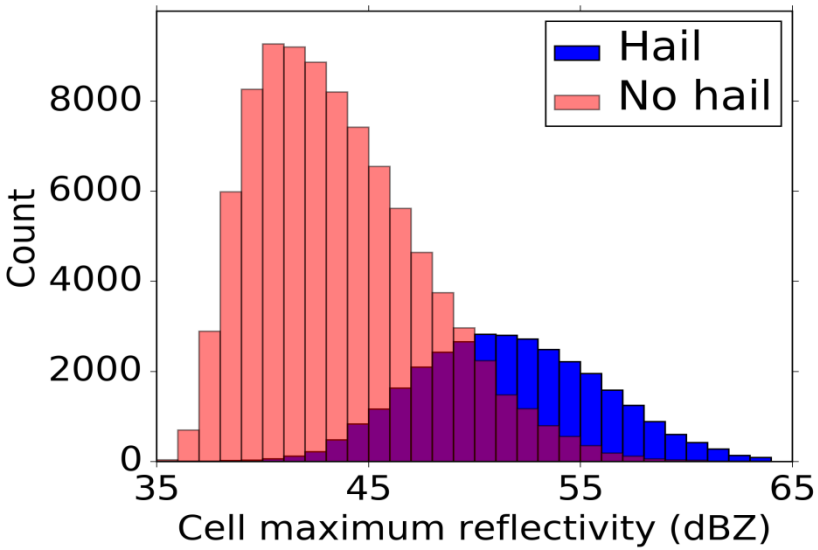


Rahe detekteerimise parameetrite võrdlus

Maksimaalne peegelduvus 0.5° skaneeringul tormi alas parim parameeter maksimaalse CSI väärtusega (0.554) läviväärtuse juures 48 dBZ (FAR = 0.352, POD = 0.792)



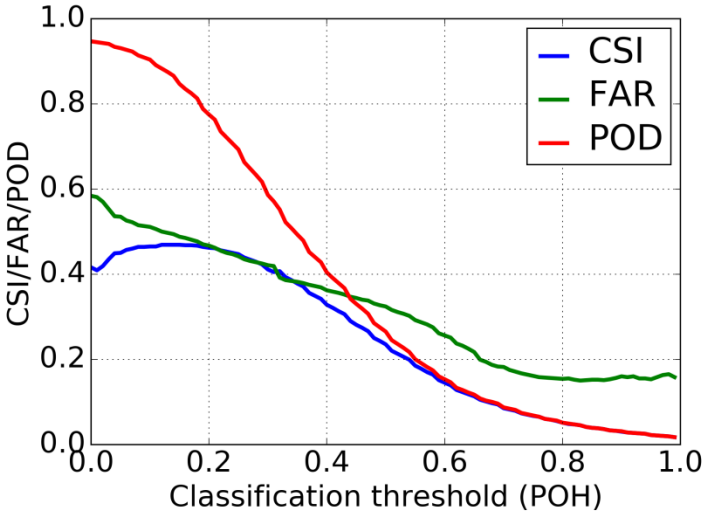
Maks. peegelduvuse histogrammil kõige selgemalt eristuvad rahe/mitterahe tormialade klassid

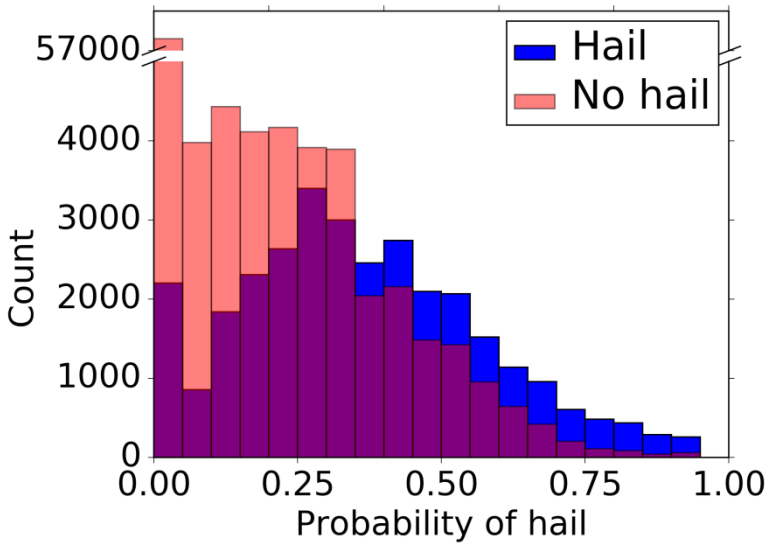


Rahe detekteerimise parameetrite võrdlus

Rahe tõenäosus (POH), mis on kasutust leidnud mitme riigi ilmateenistuses (nt FMI, KNMI, RMI), saavutas CSI väärtuseks 0.469, millele vastas FAR = 0.500, POD = 0.883 läviväärtuse 0.12 juures

Selle meetodi puhul on peamiseks probleemiks kõrge 0 tõenäosusega tormide arv

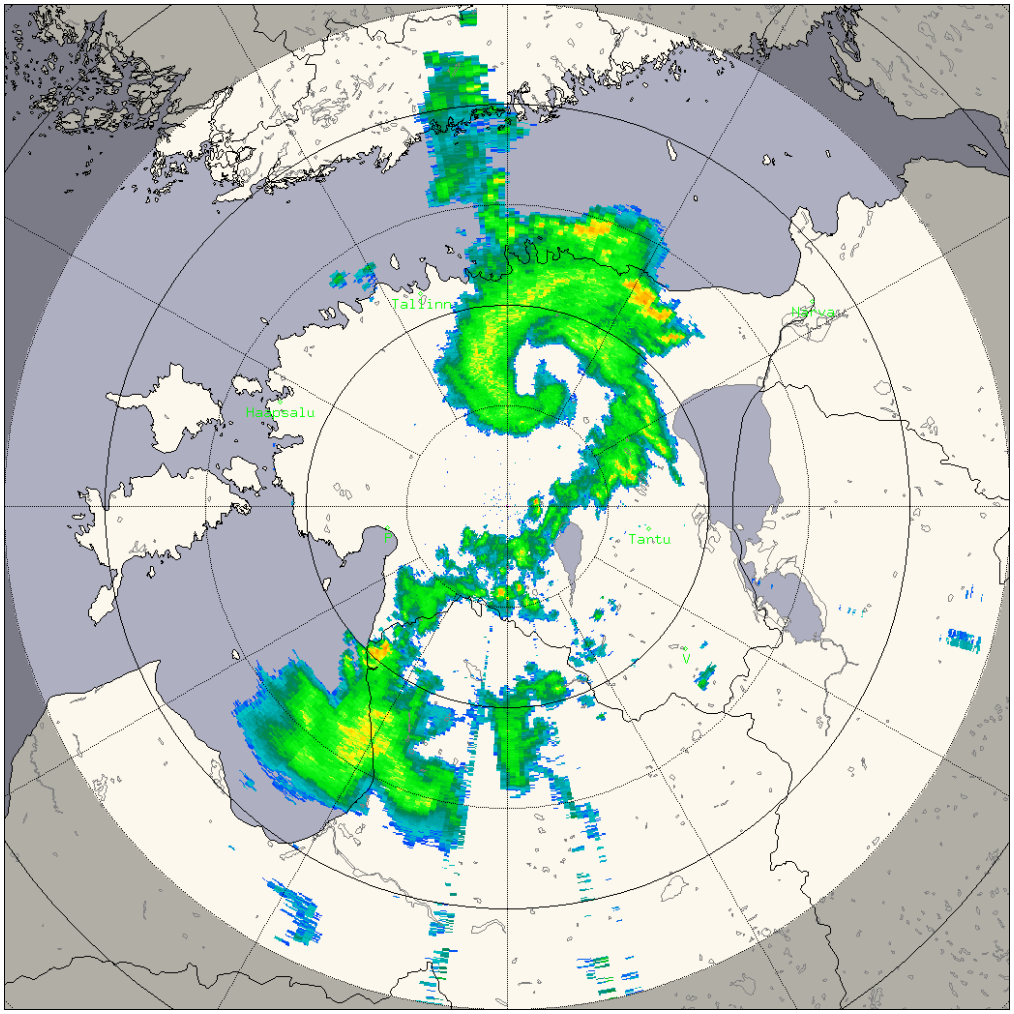




Kokkuvõte

- Suurema pindalaga tormid põhjustavad sagadamini äikest ja rahet. Mida suurem on minimaalne lubatud tormi pindala, seda kõrgem on rahe ja pilv-maa välkude aprioorne tõenäosus
- Võrreldes pilv-maa välke põhjustavate tormidega on rahetormide pindalade jaotus ühtlasem ja ei domineeri väiksema pindalaga tormid.
- Välkude detekteerimiseks parim parameeter on maksimaalne peegelduvuse kõrgus 20 dBZ (ET20) (CSI = 0.390, FAR = 0.556, POD = 0.761)
- Varasemates uurimustes on saavutatud CSI väärtuseid kuni 0.760 (40 dBZ - 10 °C) (Yang et al., 2010)

- Rahe detektorite omavahelisest võrdlusest oli parim madalaima kõrgusnurga skaneeringu maksimaalne peegelduvus (CSI = 0.554, FAR = 0.352, POD = 0.792)
- Sageli operatiivselt kasutatav rahe tõenäosus (POH) ei saavutanud nii häid tulemusi (CSI = 0.469, FAR = 0.500, POD = 0.883)
- Kunz and Kugel (2015) võrdlesid viit erinevat rahe detekteerimise parameetrit ja saavutasid CSI väärtusteks 0.62-0.69 ühe päeva andmeid kasutades ja CSI vahemikus 0.18-0.25 kasutades 15 aasta andmeid

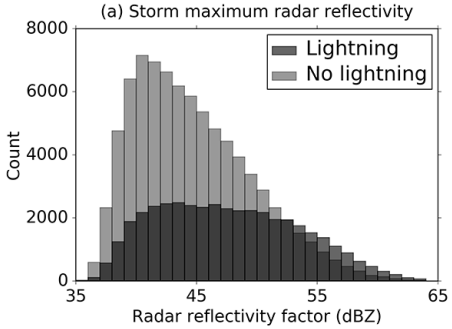


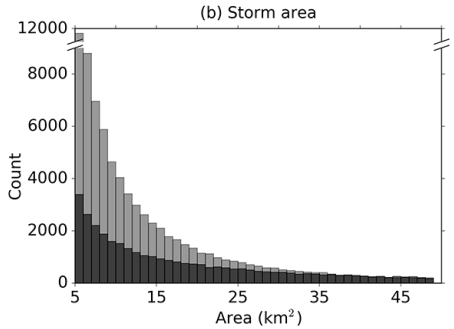
Tänan tähelepanu eest!

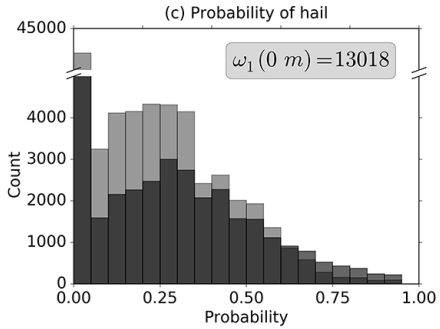
Lisamaterjal

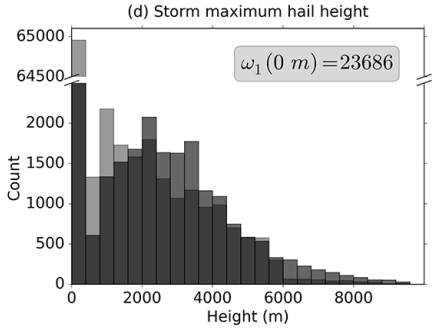
Pilv-maa välke detekteerivad parameetrid

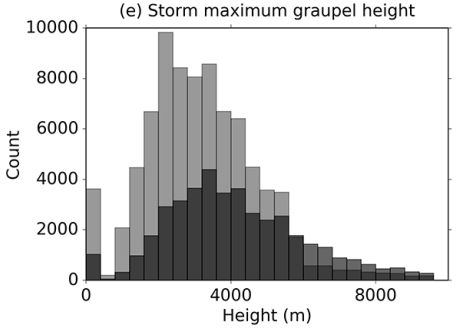
	CSI	FAR	POD	Parameter value
Max reflectivity	0.356	0.615	0.8	41.5 dBZ
Storm area	0.353	0.591	0.72	10 km^2
POH	0.34	0.588	0.663	0.03
Hail height	0.339	0.661	1	0 m
Graupel height	0.36	0.612	0.832	2400 m
ET0	0.382	0.59	0.846	6200 m
ET5	0.385	0.586	0.846	5900 m
ET10	0.387	0.581	0.833	5700 m
ET15	0.39	0.569	0.806	5400 m
ET20	0.39	0.563	0.783	5000 m
ET25	0.383	0.571	0.779	4300 m
ET30	0.368	0.585	0.763	3600 m
ET35	0.358	0.62	0.856	2500 m
ET40	0.355	0.62	0.845	1600 m
ET45	0.346	0.564	0.626	900 m

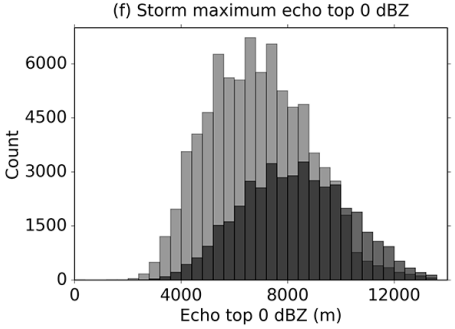

(a) Storm maximum radar reflectivity
Lightning
No lightning
Count
Radar reflectivity factor (dBZ)

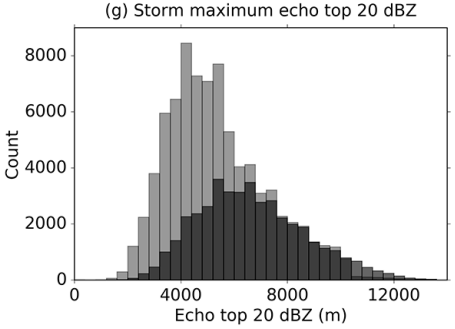

(b) Storm area
Count
Area (km²)

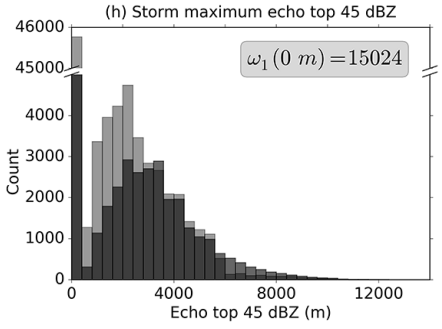

(c) Probability of hail
$\omega_1(0\ m) = 13018$
Count
Probability


(d) Storm maximum hail height
$\omega_1(0\ m) = 23686$
Count
Height (m)


(e) Storm maximum graupel height
Count
Height (m)

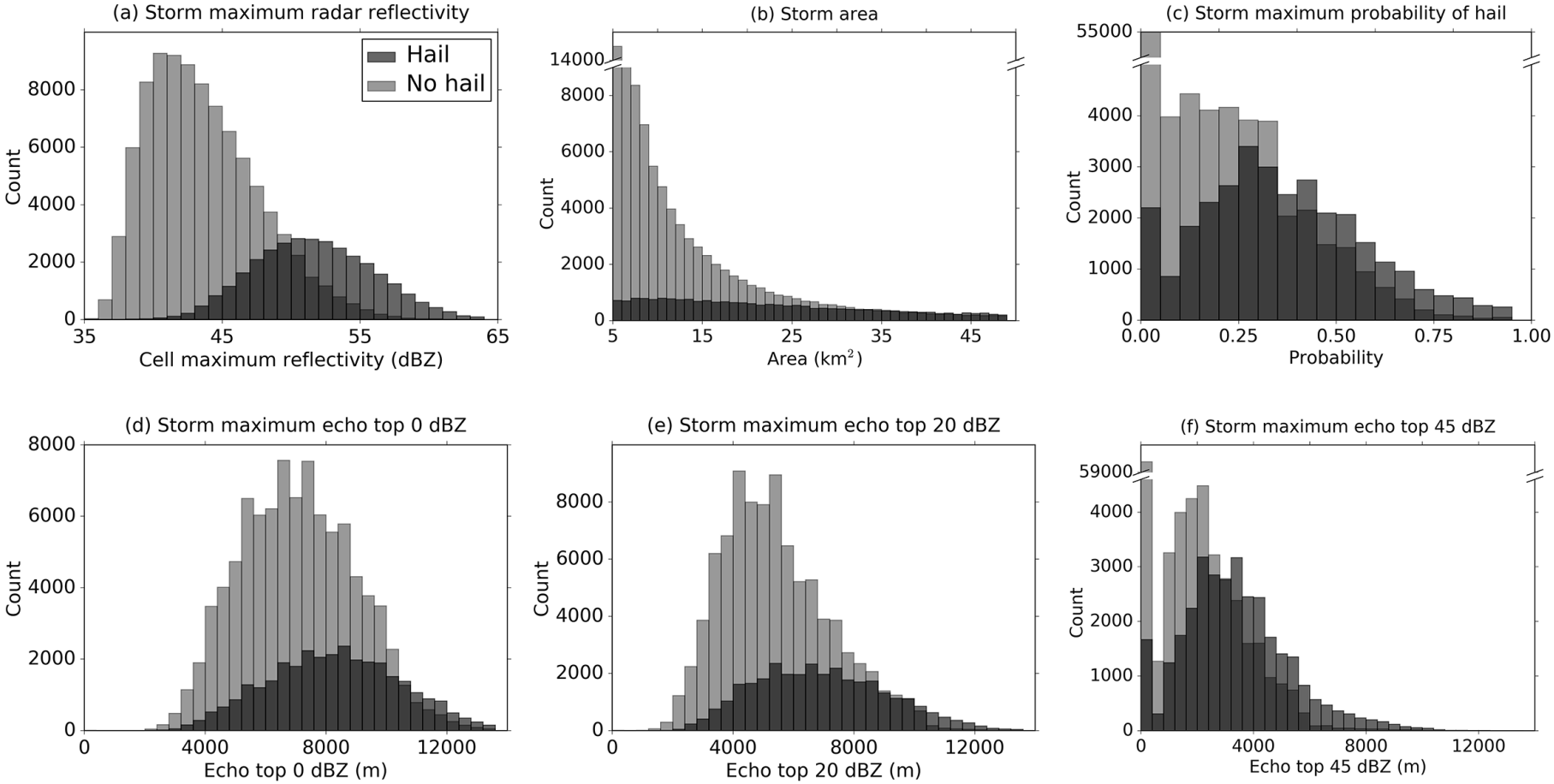

(f) Storm maximum echo top 0 dBZ
Count
Echo top 0 dBZ (m)


(g) Storm maximum echo top 20 dBZ
Count
Echo top 20 dBZ (m)


(h) Storm maximum echo top 45 dBZ
$\omega_1(0\ m) = 15024$
Count
Echo top 45 dBZ (m)

Rahet detekteerivad parameetrid

	CSI	FAR	POD	Parameter value
Max reflectivity	0.554	0.352	0.792	48 dBZ
Storm area	0.419	0.49	0.701	18 km^2
POH	0.469	0.5	0.883	0.12
ET0	0.294	0.652	0.654	7400 m
ET5	0.295	0.661	0.693	6900 m
ET10	0.299	0.657	0.698	6500 m
ET15	0.308	0.635	0.663	6300 m
ET20	0.323	0.612	0.658	5800 m
ET25	0.344	0.578	0.743	5300 m
ET30	0.359	0.559	0.655	4700 m
ET35	0.357	0.582	0.709	3800 m
ET40	0.377	0.555	0.71	3100 m
ET45	0.486	0.475	0.513	1500 m


(a) Storm maximum radar reflectivity
Hail
No hail
Count
Cell maximum reflectivity (dBZ)
(b) Storm area
Count
Area (km^2)
(c) Storm maximum probability of hail
Count
Probability
(d) Storm maximum echo top 0 dBZ
Count
Echo top 0 dBZ (m)
(e) Storm maximum echo top 20 dBZ
Count
Echo top 20 dBZ (m)
(f) Storm maximum echo top 45 dBZ
Count
Echo top 45 dBZ (m)