

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

Bakalaureusetöö loodusgeograafias
Pilvisuse ajaline ja territoriaalne muutlikkus Eestis
Kati Karus

Juhendaja: prof. Jaak Jaagus

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

allkiri, kuupäev

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Teoreetiline ülevaade.....	4
1.1 Pilvede definitsioon ja tekkimine	4
1.2 Kaasaegne pilvede klassifikatsioon.....	4
1.3 Pilvisuse hindamine ja vaatlusviisid	5
1.4 Pilvede mõju kliimale.....	5
1.5 Aerosoolide mõju pilvedele	6
1.6 Pilvisuse muutused Euroopas ja mujal maailmas.....	7
1.7 Pilvisuse muutus ookeanide kohal	8
1.8 Pilvisuse muutused Eestis	8
2. Andmed ja meetodika.....	10
3. Tulemused ja arutelu	13
3.1 Pilvisuse sesoonne muutlikkus.....	13
3.2 Pilvisuse territoriaalne varieeruvus	17
3.3 Pilvisuse aastatevaheline muutlikkus ja pikaajaline trend	22
Kokkuvõte	28
Summary	30
Tänuavaldused.....	32
Kasutatud kirjandus.....	33

Sissejuhatus

Pilvisus on oluline kliimat kujundav tegur, mis mõjutab sademete rohkust, päikesekiirguse jõudmist maapinnale ja temperatuuri. Lisaks sellele osalevad pilved hüdroloogilises tsüklis, mõjutavad Maa energiabilanssi ning on head indikaatorid troposfääris asetleidvatele muutustele (Boucher et al., 2013; Kamenik, 2015).

Pilvisus on pilvede hulk taevaalaosel, mida määratletakse vaatluspunktis kindlatel kellaegadel ning mis näitab, kui suurt osa taevast katavad pilved.

Tänapäeval on võimalik, lisaks meteoroloogide poolt tehtavatele pilvevaatlustele, koguda pilvisuse kohta andmeid ka automaastelt satelliitidelt. Pilvevaatlusi teostades jälgitakse eraldi üld- ning madalpilvisust. Pilvi jaotatakse kolme kategooriasse, nelja klassi ja kümneks põhiliigiks, lähtuvalt pilve aluse kõrgusest, moodustumisest ja välimusest.

Pilvisus on suhteliselt muutlik ilmastikunähtus ning alates 20.sajandi teisest poolest on täheldatud üldise pilvisuse vähenemist maailma eriregioonides, kuid peale 1970-ndaid ei ole trendid enam nii selgelt välja kujunenud (Stocker et al., 2013). Teadaolevalt vähenes üldine pilvisus Lõuna-Ameerikas, Euraasias ja Aafrikas. Euroopas esines, perioodil 1936–1990, vastupidine trend (Sun & Groisman, 2000).

Eestis on varasemalt uuritud madalpilvisuse muutust perioodil 1955–1995 (Keevallik & Russak, 2001), kuid puudub hea ülevaade üldise pilvisuse trendidest. Seetõttu on asjakohane uurida, kuidas on muutunud madalpilvisus viimasel dekaadil ning millised trendid esinevad seoses üldpilvisusega. Sellest lähtuvalt on püstitatud ka antud bakalaureusetöö uurimusküsimused:

- 1) Milline on madala ja üldise pilvisuse sesoonne, territoriaalne ja aastatevaheline muutlikkus Eestis viimasel poolsajandil?
- 2) Milline on madala ja üldise pilvisuse pikaajaline muutuste trend Eestis?

Töö esimene pool ehk teoreetiline osa annab ülevaate pilveliikidest, tekkimisest ja kajastab lühikest ülevaadet seni tehtud uurimustöödest. Teine osa sisaldab andmeid ja metoodikat ning kolmas osa keskendub tulemustele ja arutelule, mis põhineb klimatoloogilisel analüüsil.

1. Teoreetiline ülevaade

1.1 Pilvede definitsioon ja tekkimine

Pilved on kolloidsed süsteemid, mis koosnevad õhus hõljuvatest veepiisakestest, jääkristallidest või nende segust ning enamasti jääb veepiisakeste läbimõõt 10 µm kuni 200 µm vahele. Pilvedeks loetakse ka ükskõik millised aerosooliosakeste kogumeid õhus, mis on piisavalt tihedad, et neid on võimalik mõne instrumendiga detekteerida (Kamenik, 2015). Käesoleva bakalaureusetöö andmed põhinevad visuaalselt määratletud pilvisusel, sellest tulenevalt tuleks enim silmas pidada esimest definitsiooni.

Pilvede tekkimiseks on olulised järgmised tegurid: temperatuurierinevuste esinemine, energia muundumised, kondensatsioonituumakesed, mille ümber hakkab veeaur kogunema ja jahtumisprotsess, et õhk saavutaks kastepunkti temperatuuri ning toimuks kondenseerumine (Kamenik, 2015).

Suurem osa pilvi tekib tõusva õhuvoolu adiabaatilisel jahtumisel. Tõusev õhk teeb tööd siseenergia arvelt ning hakkab paisuma. Piisavalt kõrgele tõustes, paisudes ning samal ajal adiabaatiliselt jahtudes, kui õhutemperatuur saavutab kastepunkti, hakkab toimuma veeauru kondenseerumine ning pilve moodustumine saab võimalikuks. Õhk võib tõusta nii iseeneslikult kui ka sunnitud. Soojenenud õhk on ümbritsevast kergem ja hakkab tõusma iseeneslikult. Suuremahulised sunnitud õhuliikumised leiavad aset frontides. Soojade frontidega kaasnevad tihti laiaulatuslikud kihtpilved, külmade frontidega võivad kaasneda konvektiivse arenguga pilved. Külma õhumassi tungimine soojema peale muudab sealse atmosfääri oleku ebastabiilseks nõnda võib tekkida mitmeid eriskummalise välimusega pilvi. Väiksema mahulised sunnitud õhutõusmised on tihti tingitud maapinna reljeefi iseärasustest. Maapinna tõustes on õhk sunnitud tõusma, mis soodustab pilvede teket mägede tuulepealsetel nõlvadel. Kokkuvõtvalt võib öelda, et enamik pilvi tekib tõusvate õhuvoolude tulemusena, mis on põhjustatud õhurõhu gradientidest ning üldjuhul on protsess adiabaatiline (Lamb & Verlinde, 2011).

1.2 Kaasaegne pilvede klassifikatsioon

Kaasaegne pilvede klassifikatsioon lähtub pilve aluse kõrgusest (kõrge, keskmine ja madal), moodustumisest ja välimusest. Pilved jaotuvad kolme kategooriasse, nelja klassi ja kümneks liigiks ehk põhivormiks. Kolm peamist kategooriat on kiulised ehk kiudpilvsed (*cirriiform*), kihilised ehk kihtpilvsed (*stratiform*), konvektiivsed ehk rünkpilvsed (*cumuliform*). Lisaks

põhijaotusele tuuakse vahel välja alamkategoriad: rünksajupilvsed (*cumulonimbiform*) ja kihtrünpilvsed (*stratocumuliform*). Jaotumine neljaks klassiks kõrguse järgi: alumised (alumine kõrgus ei ületa 2km), keskmised (alumine piir jääb 2–6km vahele), kõrged (alumine piir on 6–10km kõrgusel) ja vertikaalse arenguga pilved (alumine piir võib olla 0.5–1.5km, kuid võivad ulatuda kuni 10km kõrguseni) (Russak & Kallis, 2003). Mõnikord võidakse nimetada neljanda klassina suure vertikaalse ulatusega pilvi, kuhu kuuluvad rünpilved ja rünksajupilved. Sel juhul paigutatakse madalad ja keskmised rünpilved (*cumulus humilis, mediocris*) alumiste pilvede klassi. Pilvede kümme põhilist liiki ehk põhivormi on: kiudpilved (*Cirrus, Ci*), kiudkihtpilved (*Cirrustratus, Cs*), kiudrünpilved (*Cirrocumulus, Cc*), kõrgkihtpilved (*Altostratus, As*), kõrgrünpilved (*Alto cumulus, Ac*), kihtsajupilved (*Nimbostratus, Ns*), kihtpilved (*Stratus, St*), kihtrünpilved (*Stratocumulus, Sc*), rünpilved (*Cumulus, Cu*) ja rünksajupilved (*Cumulonimbus Cb*). Eespool väljatoodud kümme liiki jagunevad veel paljudeks erimiteks: alamliikideks, vormideks ja erikujudeks (Kamenik, 2015).

1.3 Pilvisuse hindamine ja vaatlusviisid

Pilvisust hinnatakse protsentides, kümnendik- või kaheksandiksüsteemis, millest enamlevinud on hindamine kümnepalliskaalal ehk kümnendiksüsteemis. Maapealsel pilvisuse hindamisel jälgitakse eraldi üldist pilvisust ja madalate pilvede hulka. Pilvevaatlusi on võimalik läbi viia kahel erineval viisil. Ajalooliselt on pilvevaatlusi teostatud meteoroloogiajaamades ja see on kuulunud jaamade rutiinsesse vaatlusprogrammi. Lisaks on hakatud pilvi määrama ka automaatselt satelliitidelt. Ilmajaamades kogutud vaatlusandmed on enamasti täpsemad ning neid on üles märgitud pikema perioodi jooksul. Kuid ilmajaamad paiknevad ebakorrapäraselt ning nende põhjal on raske teha globaalseid järeldusi. Samuti võib ilmavaatlejal olla raskusi keskmiste või ülemiste pilveliikide määramisel (Wibig, 2008; Stocker et al., 2013).

Satelliitidelt saadud andmed on regulaarsed, kajastavad globaalset pilvekatvust, mõõdavad troposfääri ülemise kihi õhurõhku ja optilist tihedust, kuid sealt saadud andmete põhjal on keeruline määratleda madalate pilvekihtide suurusjärku. Esineda võib katkestusi ja vastuolusid andmeajas, mis on seotud iga satelliidi erinevast kalibreerimisest. Üldiste järelduste tegemine kahe eri tüüpi vaatlusviisi andmestiku põhjal on keeruline, kuna mõlema puhul võib esineda eksimusi (Wibig, 2008).

1.4 Pilvede mõju kliimale

Pilvisus on oluline kliimat kujundav tegur. Pilved osalevad hüdroloogilises tsüklis, mõjutades sademete rohkest ning kandes neid kaugemale sisemaale. Lisaks sademete esinemisele mõjutavad

pilved ka päikesekiirguse jõudmist maapinnale ja seega omavad mõju aluspinna temperatuurile. Pilved transpordivad maapinnalt eralduvat soojust ülemistesse troposfääri kihtidesse ning kõrguse suurenedes pilvede olemasolul ümbritseva keskkonna temperatuur langeb aeglasemalt. Pilved on seega head indikaatorid troposfääris asetleidvatele muutustele.

Pilvisust peetakse üheks kõige olulisemaks Maa energiabilansi mõjutajaks, kuid pilvisuse rolli globaalses kliimasüsteemis on raske hinnata, sest olemasolevad kliimamudelid ei suuda järjekindlalt ning õigesti simuleerida pilvisust (Norris, 1999). Üldine seisukoht on, et pilvede mõju Maa energiabilansile päeval ajal on negatiivne ja öisel ajal positiivne (Warren et al., 2007).

Teadaolevalt mõjutavad madalad ja kõrged pilveliigid kliimat erinevalt. Ülemise kihi pilveliigid on suhteliselt õhukesed ja nende temperatuur on võrdlemisi madal, koosnedes peamiselt jääkristallidest. Mõjudes maakerale justkui õhukese katteloorina, lastes läbi päikeselt tulevat lühilainelist kiirgust ja hoides lõksus Maalt lahkuvat pikalainelist soojuskiirgust. Sellest tulenevalt võib järeldada, et ülemise kihi pilveliigid omavad Maale nõrka soojendavat mõju. Madalamate kihtide pilved on soojemad, optiliselt tihedamad ja koosnevad peamiselt vihmapiiskadest. Neil on suurem albeedo, seega nende võime tagasi peegeldada päikesekiirgust on suurem. Lisaks sellele kiirgavad nad ka vähesel määral pikalainelist kiirgust, sellest tulenevalt on madalatel pilvedel maakerale nõrk jahutav mõju (Wibig, 2008; Stocker et al., 2013).

1.5 Aerosoolide mõju pilvedele

Aerosool on gaasiline keskkond koos selles hõljuvate tahke ja/või vedela aine osakestega nagu näiteks udu, suits või tolm. Aerosoolid mõjutavad pilve mikrofüüsikat, suurendades tuumakeste rohkust pilves, mille ümber moodustuvad piisakesed. Aerosoolid mõjutavad pilve võimet tagasi peegeldada päikesekiirgust ning sademete Maale langemise algust. Aerosoolidega saastunud pilved toodavad võrreldes „puhaste“ pilvedega vähem sademeid (Teller & Levin, 2006; Sporre et al., 2014). Edasilükkunud sademete algus pikendab pilve eluiga ning seega, suureneb pilvekatvus, mis omakorda mõjutab maakera kliimat. Hinnanguliselt on 5% ulatuses suurenenud aerosoolidest põhjustatud pilvisus (Kaufman & Koren, 2006). Alates 1990. aastast on aerosoolide sisaldus atmosfääris tõusnud Aasia, Lõuna-Ameerika, Austraalia ja Aafrika, kuid vähenenud Euroopa ja USA kohal (Stocker et al., 2013).

Eraldi tuleks vaadelda kondensatsioonijälgi ehk joonpilvi. Kondensatsioonijäljed tekivad kahel erineval viisil. Esiteks õhku paiskunud veeaurust, mis pärineb õhusõiduki mootorist ja tekib

põlemisprotsessi käigus. Seda nimetatakse heitgaasitekkelisteks kondensatsioonijäljeks. Teiseks võimaluseks on, et kondensatsioonijäljed tekivad oludes, kus õhk on veeaurust küllastunud. Seda kutsutakse aerodünaamiliseks kondensatsioonijäljeks. Aerosooliosakeste mõju silmas pidades tuleks lähemalt vaadelda heitgaasi tekkelisi kondensjälgi. Mootorikütuse põlemisel tekivad peamiselt CO₂ ja H₂O. Kui hapniku pole piisavalt, siis mittetäieliku põlemise korral lisandub vingugaas ehk CO. Sellises olukorras on kondensatsioonituumadeks heitgaasidest pärinevad tahma- ja muud osakesed (Kamenik, 2015). Teadaolevalt on kondensatsioonijäljed samasuguse optilise tiheduse ja mikrostruktuuriga nagu teised kiudpilvedki ja mõjutavad energiabilanssi nagu teised kõrgkihi pilveliigid. Vähe on uuritud joonpilvede eluiga. Joonpilved võivad ühineda teiste kiudpilvedega ja nõnda suurendada kõrgete pilveliikide hulka taevas. Täheldatud on ülemiste pilveliikide katvuse suurenemist tiheda lennuliiklusega piirkondades. Seda kinnitavad nii sünoptilised vaatlusandmed kui ka satelliitidelt pärinevad mõõtmistulemused (Minnis, 2001).

1.6 Pilvisuse muutused Euroopas ja mujal maailmas

Alates 20. sajandi keskpaigast on täheldatud erinevates mandriregioonides üldise pilvisuse tõusutrendi, sealhulgas USA kohal, endistel NSVL aladel, Lääne-Euroopas, Kanada ja Austraalia keskmistel laiuskraadidel. Alates 1970.ndatest ei ole trendid enam nii ühtlaselt regioonide vahel jaotunud ning globaalseid järeldusi teha on keerulisem (Stocker et al., 2013), kuid teadaolevalt vähenes keskmistel ja madalamatel laiuskraadidel kõrgete pilvede osakaal 1,5% (Norris, 2005).

Perioodil 1971–1996 vähenes üldine pilvisus Lõuna-Ameerikas, Euraasias ja Aafrikas. Üldise pilvisuse negatiivne trend on peamiselt seotud kõrgete pilvede vähenemisega. Euraasias ja Põhja-Aafrikas on kiudpilvede (*C_i*) vähenemist täheldatud ennekõike talveperioodil. Alumistest ja keskmistest pilvedest vähenes sel ajavahemikul kihtpilvede (*S_t*), kõrgkihtpilvede (*A_s*) ja kihtsajupilvede (*N_s*) osakaal (Warren et al., 2007). Võrreldes teiste regioonidega esines Austraalias veidi suurem aastate vaheline pilvisuse kõikumine, mida seostatakse ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) indeksi kõikumisega. Hiinas vähenes üldine pilvisus peamiselt keskmiste ja madalate pilvede arvelt. Mainitud ajavahemikus suurenes konvektiivse arenguga pilvede osakaal (Warren et al., 2007).

Endistel NSV Liidu aladel vähenes ajavahemikus 1936–1990 madalate pilvede hulk, samal ajal suurenes üldine pilvisus. Muutus tuli paremini esile Euroopas ja Lääne-Siberis. Sel perioodil vähenes kihtpilvede (*S_t*) ja kihtsajupilvede (*N_s*) arv. Suurenes rümpilvede (*C_u*) ja

rünksajupilvede (*Cb*) arvukus. Mainitud ajavahemikul suurenes ka äikesetormide arv. Need muutused viitavad sellele, et 20. sajandi teises pooles intensiivistus Euraasias konvektiivsed atmosfääriprotsessid, mis on kooskõlas ka sellel perioodil suurenenud tugevate vihmahoogudega (Sun & Groisman, 2000). Pilvisuse muutlikkus Euroopas, eriti vihmapiilvede esinemine, on seotud NAO (*North Atlantic Oscillation*) indeksiga (Warren et al., 2007).

1.7 Pilvisuse muutus ookeanide kohal

Laevadelt pärinevate vaatlustandmete põhjal suurenes perioodil 1952–2001 madalate pilvede hulk 5%. Satelliitandmetele tuginedes esines sel ajavahemikul aga vastupidine trend. Veel teisegi uurimustöö kohaselt suurenes perioodil 1952–1995 ookeanide kohal madalate pilvede hulk, sedapuhku 3,6% ning peamiselt rünksajupilvede (*Cb*) ja kihtpilvede (*St*) arvelt (Norris, 1999). Erinevus kahe andmestiku vahel on suur, mis seab kahtluse alla laevadelt pärinevate vaatlusandmete õigsuse, 3,6–5% pilvisuse suuremisega oleks pidanud kaasnema ka muutused temperatuuris ja energiabilansis, mida sel perioodil ei täheldatud (Norris, 2008)

Olukord oli vastupidine kõrgete pilveliikide osas. Satelliitmõõtmiste ja maapealsete vaatluste tulemused olid kõrgete pilveliikide muutuste osas üsna tugevas korrelatsioonis, ajavahemikul 1951–1997 vähenes ookeanide kohal ülemiste pilvede hulk 1% (Norris, 2005). Perioodil 1952–2001 vähenes kõrgete pilvede osakaal Vaikse ookeani põhjaosas, lõunaosas ja läänepoolsemas troopilistel laiuskraadidel, Atlandi ookeani subtroopilises piirkonnas ja India ookeani ekvatoriaal alal (Norris, 2008). Vastupidine trend esines Vaikse ookeani ekvatoriaalsetel aladel, Atlandi ookeani troopilistel aladel ja Põhja-Atlandi keskmistel laiuskraadidel. Hetkel puudub arusaamine, miks oli kõrgete pilveliikide andmestik täpsem võrreldes madalate pilvede andmestikuga (Norris, 2008).

1.8 Pilvisuse muutused Eestis

Eesti kliimatiliste iseärasuste tõttu on üldine pilvisus võrreldes madalpilvisusega tunduvalt vähem varieeruv nii aasta lõikes kui ka territoriaalselt. Eestis on aasta keskmine üldpilvisus 7 palli, varieeruvus ilmajaamade vahel ei ületa 0,6–0,8 palli (Russak & Kallis, 2003). Erinevus on väiksem talvel ja pisut suurem suvel. Suhteliselt suurema üldise pilvisusega piirkonnad on Rapla ja Valga maakonnad.

Madal pilvisuse aasta keskmine väärtus on 5,3 palli. Talveperioodil esineb madalaid pilvi rohkem kui suvekuudel, sest siis moodustavad madalad pilved 95% üldisest pilvisusest ja see suhe muutub Eesti ulatuses vähe. Talvel esineb madalaid pilvi rohkem hommikupoolikul, suvel seevastu lõunasel või pärastlõunasel ajal. Ilmade soojenedes erinevus sisemaa- ja

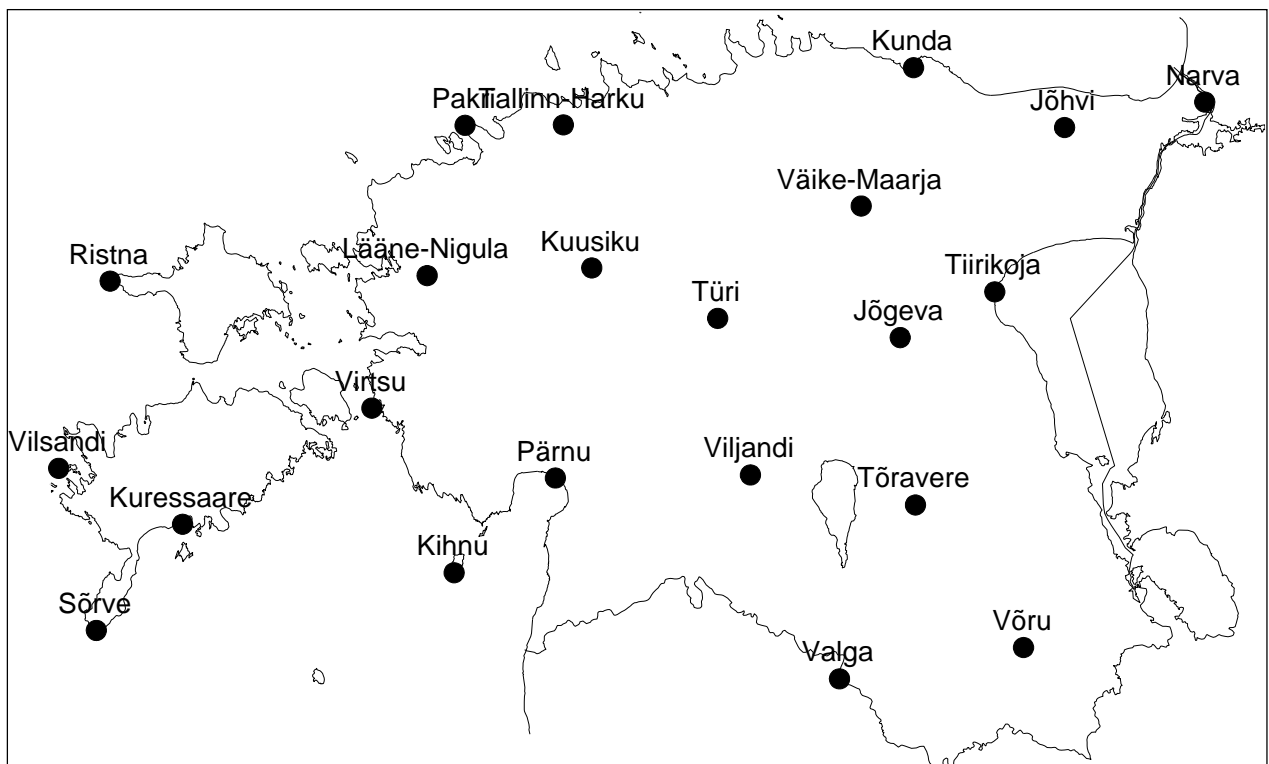
rannikujaamade vahel kasvab. Seda põhjustab Läänemeri, mis mõjutab olulisel määral pilvisust Eesti kohal ning kliimat üldiselt.

Kõige enam on võimalik maapealsel vaatlejal näha kihtrümpilvi (*Sc*), nende pilvede osakaal mõnevõrra väheneb suvel ning, siis on üha enam võimalik näha kõrgrümp- ja kiudpilvi (*Ac, Ci*). Vertikaalse arenguga rümpilved tekivad Eestis ennekõike soojal aastaajal ja neil on selgesti eristuv ööpäevane käik (Russak & Kallis, 2003).

Aastatel 1955–1995 suurenes Eestis madal pilvisus märtsis, juunis ja septembris. Madalate pilvede hulk suurenes kõige enam märtsikuus, positiivne trend esines kõigis 16 ilmavaatlusjaamas, juunis oli positiivne trend 12 ja septembris 8 ilmajaamas. Nimetatud perioodil kasvas peamiselt kihtpilvede (*St*) ja kihtrümpilvede (*Sc*) arvukus. Seda tüüpi pilveliikide teke on seotud stabiilsete õhumassidega. Märtsis esinenud pilvisuse muutus on statistiliselt seotud tsirkulatsiooni muutustega. Perioodil 1955–1995 suurenes läänevool märtsikuus 7,4 päeva võrra, tuues Eestisse Atlandi ookeanilt sooja ja niisket õhku. See võib olla peamine põhjus, miks on suurenenud madalate pilvede hulk märtsis (Keevallik & Russak, 2001).

2. Andmed ja meetodika

Käesolevas uurimustöös on kasutatud 22 Eesti meteoroloogiajaama pilvisuse vaatlusandmeid (joonis 1). Madal- ja üldpilvisuse kuu keskmised tulemused saadi digitaalsel kujul eraldi failidena ning pärinevad Riigi Ilmateenistuste andmekogust. Excelifailid sisaldasid 25 meteoroloogiajaama vaatlusandmeid, millest 16 jaama andmed olid perioodi 1961–2004 ja kuue jaama andmed 1961–2013 kohta. Alates 2003. aasta septembrist võeti Eesti jaamades kasutusele automaatiilmajaamad ning vaatlejad koondati. Seetõttu enam ei teostatudki seal pilvisuse visuaalseid vaatlusi. Vaatlejatega jäid tööle vaid kuus nn kliimajaama, kust laekub pilvisuse andmeid tänapäevani. Ruhnu, Tartu-Ülenurme ja Kärkla jaamade andmetes oli puudu rohkem kui viie aasta andmed, sel põhjusel jäeti need ilmajaamad analüüsist välja. Kuna 2004. aasta andmed lõppesid septembrikuus, siis see aasta oli enamikel jaamadel mittetäielik. Sellest tulenevalt lühendati uuritavat perioodi 2003. aastani ehk kasutati vaid täisaastaid. Andmete töötlemiseks kasutati MS Excel tarkara ning kaartide koostamiseks Surfer 7,0 programmi.



Joonis 1. Ilmajaamade asukohad.

Kaheteistkümne meteoroloogiajaama andmerekas esines mõningaid lünki, mida oli vaja andmetöötluse käigus täita. Selleks leiti jaamade andmeridade vahelised korrelatsioonikordajad, nii saadi teada, milliste jaamade vahel on seos tugevaim. Lünkade

täitmiseks kasutati selle jaama andmeid, millel oli tugevaim korrelatsioon antud jaama andmetega. Need suurima korrelatsiooniga jaamad on esitatud tabelites 1 ja 2. Arvutati keskmised pilvisuse vahed antud jaama ja suurima korrelatsiooniga naaberjaama vahel ning lünga täitmiseks liideti see vahe naaberjaamas mõõdetud tulemusele.

Tabel 1. Puudulike andmetega jaamad ja andmelünkade täitmiseks kasutatud jaamad madalpilvisuse kohta.

Puudulike andmetega jaam	Jaam, mille andmeid kasutati lünkade täitmisel
Jõgeva	Tiirikoja
Vilsandi	Ristna
Sõrve	Kuressaare
Kuressaare	Sõrve
Lääne-Nigula	Kihnu
Virtsu	Pärnu
Pärnu	Virtsu
Tartu-Tõravere	Viljandi
Võru	Tartu-Tõravere
Pakri	Tallinn-Harku
Väike-Maarja	Türi

Tabel 2. Puudulike andmetega jaamad ja andmelünkade täitmiseks kasutatud jaamad üldpilvisuse kohta.

Puudulike andmetega jaam	Jaam, mille andmeid kasutati lünkade täitmisel
Jõgeva	Tiirikoja
Vilsandi	Ristna
Sõrve	Kuressaare
Kuressaare	Lääne-Nigula
Lääne-Nigula	Virtsu
Virtsu	Pärnu
Pärnu	Virtsu
Tartu-Tõravere	Tiirikoja
Võru	Valga
Pakri	Tallinn-Harku
Väike-Maarja	Tiirikoja

Kuna pilvisuse andmestik on selgelt mittenormaalse jaotusega, siis kasutati selle kirjeldamiseks aritmeetilise keskmise asemel mediaani ja varieeruvuse näitajana standardhälbe asemel kvartiilihaaret. Lineaarse trendi tõusu väärtused leiti Sen'i meetodil ja trendi olulisust kontrolliti Mann-Kendalli testi abil. Need statistilised näitajad ei eelda algandmete normaaljaotust.

Mann-Kendalli testi teostamiseks kasutati Soome Meteoroloogia Instituudi poolt väljatöötatud

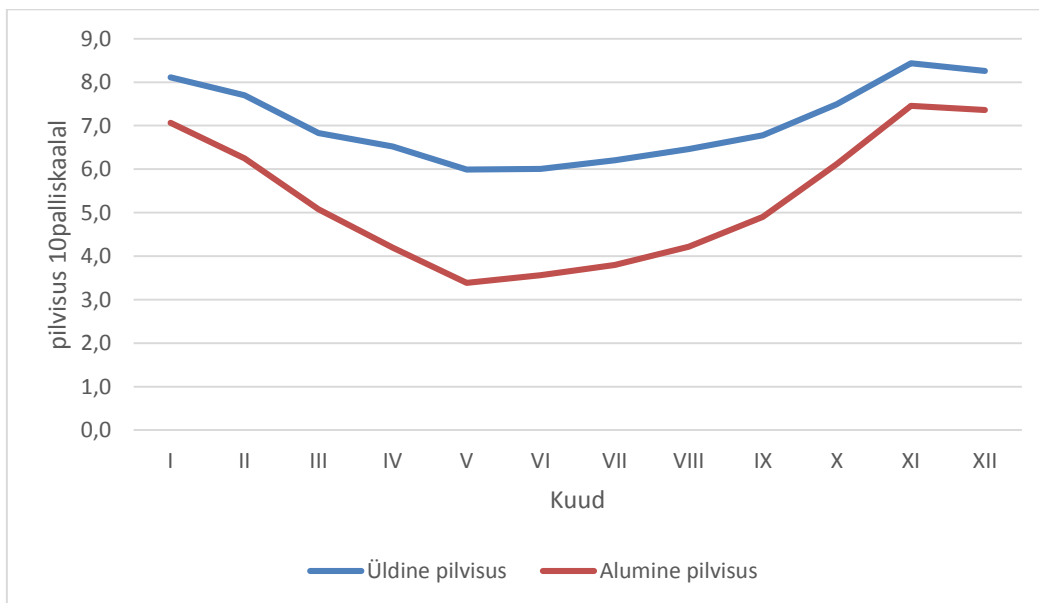
EXCELi makrot MAKESENS. Trend loeti statistiliselt usaldusväärseks $p < 0,05$ tasemel siis, kui testi statistiku väärtus oli vähemalt 1,96 või negatiivse trendi korral -1,96.

3. Tulemused ja arutelu

3.1 Pilvisuse sesoonne muutlikkus

Eestis on väga selgelt välja kujunenud pilvisuse sesoonne vaheldumine: kevadel ja suvel on pilvi vähem ning sügisel ja talvel on ilm enamasti pilvine. Viimast põhjustab aktiivne tsükloonaalne tegevus sellel perioodil. Tsüklonite tegevus intensiivistub sügisel ja eeltalvel, muutes ilma pilvisemaks, sademete rohkemaks ning tuulisemaks.

Alumise ja üldise sesoonsed kõverad kulgevad ühetaoliselt. Pilvisus on suurim novembrikuus, vastavalt 7,5 ja 8,4 palli (joonis 2). Kõige selgemaks kuuks on mai. Mais on üldine pilvisus 6,0 ning alumine pilvisus 3,4 palli. Kevadel muutuvad ilmad selgemaks, tsüklonite tegevus väheneb ja niisamuti ka pilvisus.

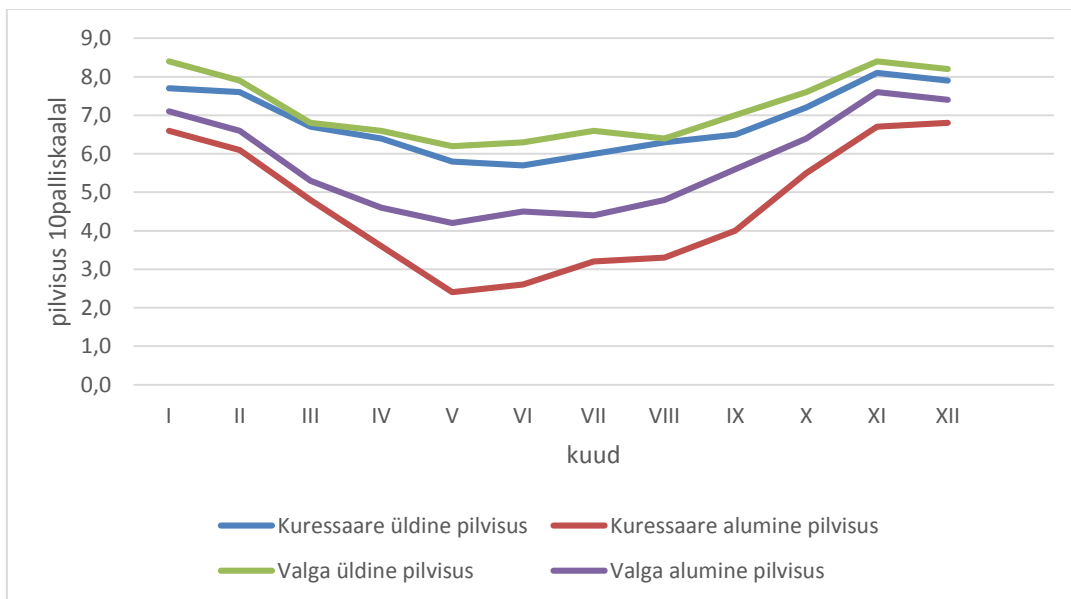


Joonis 2. Eesti keskmise alumise ja üldise pilvisuse mediaanväärtused kuude kaupa ajavahemikul 1961–2003, mis on leitud 22 ilmajaama andmete keskmisena.

Vaadeldes lähemalt üldise ja alumise pilvisuse muutusid kuude lõikes (joonis 2) on märgata, et üldise pilvisuse aastane käik on väiksema amplituudiga kui alumisel pilvisusel. Üldise pilvisuse erinevus kõige pilvisema (november) ja selgeima (mai) kuu vahel on 2,4 palli, alumise pilvisuse korral on aga 4,1 palli. See on tingitud asjaolust, et üldine pilvisus on ajas ja ruumis vähem muutuv. Seevastu alumine pilvisus allub rohkem erinevatele mõjuteguritele nagu näiteks aluspinna iseärasustest tingitud mõjutustele.

Merelise kliimaga Kuressaares ja mandrilise kliimaga Valgas kulgeb pilvisuse sesoonne muutus

võrdlemisi sarnaselt. Alates veebruarist hakkab pilvisus vähenema ning saavutab madalpunkti mais (joonis 3). Kuressaares on mais keskmine alumine pilvisus 2,4 palli, samal ajal Valgas on see näitaja 4,2 palli (tabel 3). Pärast maid hakkab pilvisus vaikselt suurenema ning saavutab maksimumi novembris. Alumine pilvisus on novembris vastavalt 6,7 ja 7,6 palli. Üldise pilvisuse sesoonne muutlikus Valga ja Kuressaare jaamas ei erine teineteisest kuigi palju, varieeruvus püsib ühe palli ulatuses (joonis 3). Mõlemas ilmajaamas on üldine pilvisus suhteliselt samaväärne märtsis, aprillis ja augustis. Nendel kuudel on pilvisuse erinevus alla 0,3 palli. Kõige suurem on üldise pilvisuse erinevus jaanuaris, kus vastava näitaja kahe ilmajaama vahe on 0,7 palli (tabel 4).



Joonis 3. Üldise ja alumise pilvisuse sesoonne muutlikus Valgas ja Kuressaares perioodil 1961–2003.

Tabel 3. Alumise pilvisuse mediaanväärtused jaamade ja kuude kaupa perioodil 1961–2003.

Jaamad	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
Võru	7,8	6,7	5,7	5,0	4,3	4,5	4,6	5,0	5,7	6,9	8,1	7,8	5,7
Väike-Maarja	7,2	6,5	5,7	4,7	3,7	4,2	4,1	4,8	5,2	6,4	7,8	7,7	5,5
Vilsandi	6,7	5,8	4,6	3,4	2,5	2,6	2,9	3,4	4,3	5,6	6,9	7,0	4,5
Tõravere	7,2	6,4	5,0	4,4	3,7	4,0	4,0	4,4	4,8	6,3	7,6	7,4	4,9
Tallinn-Harku	7,2	6,5	5,1	4,0	3,2	3,3	3,7	4,0	4,9	6,1	7,5	7,6	5,0
Pärnu	6,7	6,0	4,9	4,0	3,2	3,3	3,5	3,7	4,4	5,8	7,0	6,7	4,7
Kuressaare	6,6	6,1	4,8	3,6	2,4	2,6	3,2	3,3	4,0	5,5	6,7	6,8	4,3

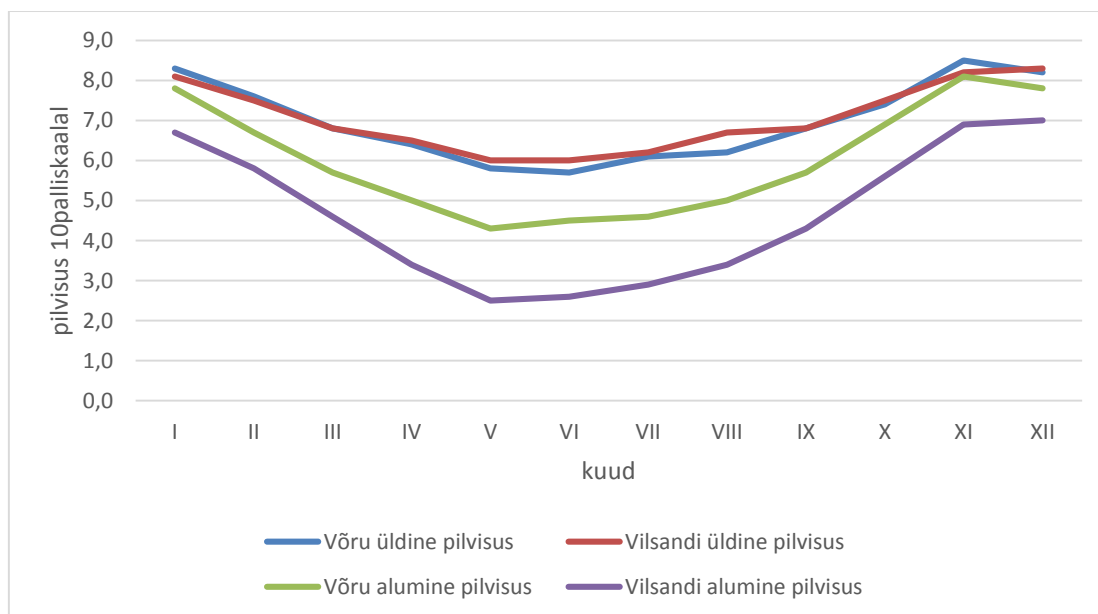
Ristna	7,0	6,0	4,7	3,6	2,5	2,5	3,1	3,3	4,5	5,7	7,1	7,4	4,6
Pakri	7,5	6,6	5,3	4,2	3,4	3,4	3,9	4,6	5,2	6,4	7,8	7,7	5,2
Virtsu	6,6	5,7	4,8	3,7	2,7	2,9	3,4	3,6	4,4	5,5	6,9	6,9	4,5
Viljandi	7,4	6,6	5,2	4,6	3,9	4,0	4,0	4,6	5,1	6,2	7,7	7,4	5,2
Valga	7,1	6,6	5,3	4,6	4,2	4,5	4,4	4,8	5,6	6,4	7,6	7,4	5,3
Lääne-Nigula	7,0	6,2	5,5	4,5	3,5	3,6	4,1	4,7	5,2	6,3	7,4	7,5	5,2
Türi	7,2	6,6	5,2	4,2	3,3	3,7	3,8	4,2	4,5	6,1	7,4	7,1	4,9
Narva	7,2	6,0	5,3	4,4	3,9	4,1	4,2	4,6	5,7	6,7	8,0	7,8	5,3
Tiirikoja	6,9	5,9	4,8	4,2	3,2	3,5	3,7	4,0	4,5	5,7	7,3	6,9	4,6
Sõrve	6,8	6,1	4,6	3,7	2,7	2,6	3,1	3,7	4,5	5,6	7,3	7,2	4,6
Kuusiku	7,2	6,3	5,4	4,4	3,8	4,1	4,3	4,5	5,0	6,2	7,4	7,4	5,0
Kunda	6,9	6,1	4,5	3,8	3,1	3,4	3,5	4,0	4,9	6,0	7,4	7,6	4,7
Kihnu	6,7	6,1	4,8	4,3	3,5	3,3	3,6	4,2	4,9	6,2	7,5	7,4	4,9
Jõhvi	7,4	6,3	5,3	4,3	3,6	3,9	4,2	4,5	5,5	6,6	8,0	7,9	5,2
Jõgeva	7,2	6,4	5,3	4,7	4,1	4,4	4,3	4,8	5,1	6,4	7,6	7,3	5,2
Eesti	7,1	6,3	5,1	4,2	3,4	3,6	3,8	4,2	4,9	6,1	7,5	7,4	4,9

Tabel 4. Üldise pilvisuse mediaanväärtused jaamade ja kuude kaupa perioodil 1961–2003.

Jaam	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
Võru	8,3	7,6	6,8	6,4	5,8	5,7	6,1	6,2	6,8	7,4	8,5	8,2	6,8
Väike-Maarja	8,1	7,6	6,7	6,4	5,8	5,9	5,9	6,2	6,6	7,5	8,6	8,2	6,7
Vilsandi	8,1	7,5	6,8	6,5	6,0	6,0	6,2	6,7	6,8	7,5	8,2	8,3	6,8
Tõravere	8,4	8,0	7,2	7,1	6,8	6,5	6,6	6,9	7,1	7,7	8,6	8,3	7,2
Tallinn-Harku	8,3	7,9	6,9	6,5	6,0	6,2	6,2	6,6	7,0	7,6	8,6	8,4	7,0
Pärnu	8,1	7,6	7,1	6,3	6,1	6,0	6,0	6,0	6,5	7,3	8,3	8,3	6,8
Kuressaare	7,7	7,6	6,7	6,4	5,8	5,7	6,0	6,3	6,5	7,2	8,1	7,9	6,5
Virtsu	7,7	7,6	6,7	6,4	5,8	5,7	6,0	6,3	6,5	7,2	8,1	7,9	6,5
Viljandi	8,2	7,8	6,6	6,2	5,7	5,9	6,2	6,3	6,5	7,3	8,5	8,0	6,5
Valga	8,4	7,9	6,8	6,6	6,2	6,3	6,6	6,4	7,0	7,6	8,4	8,2	6,7
Türi	8,0	7,5	7,0	6,3	5,7	5,6	5,7	6,0	6,4	7,2	8,4	8,0	6,4
Tiirikoja	8,1	7,9	7,0	7,0	6,4	6,4	6,7	6,7	7,0	7,8	8,6	8,3	6,9
Sõrve	7,8	7,4	6,4	6,3	5,6	5,6	5,9	6,3	6,5	7,3	8,2	8,1	6,5

Ristna	8,1	7,5	6,7	6,3	5,5	5,6	6,0	6,2	6,6	7,4	8,2	8,3	6,6
Pakri	8,2	7,9	6,8	6,5	5,9	6,0	6,2	6,8	7,2	7,7	8,6	8,5	6,9
Lääne-Nigula	8,1	7,7	7,0	6,6	6,1	6,1	6,5	6,9	6,8	7,5	8,4	8,4	6,9
Narva	8,1	7,9	7,1	7,1	6,3	6,5	6,6	6,8	7,2	8,0	8,7	8,5	7,0
Kuusiku	8,2	7,6	6,8	6,5	6,0	6,4	6,3	6,5	6,9	7,6	8,4	8,3	6,7
Kunda	8,3	7,7	6,7	6,4	5,8	5,8	6,0	6,5	7,0	7,5	8,6	8,5	6,6
Kihnu	7,6	7,4	6,4	6,3	5,8	5,7	5,7	6,2	6,5	7,1	8,2	7,9	6,5
Jõhvi	8,3	7,8	7,0	6,6	6,3	6,2	6,4	6,7	7,0	7,8	8,8	8,7	6,9
Jõgeva	8,3	7,9	7,0	6,8	6,4	6,3	6,7	6,7	6,8	7,6	8,6	8,5	6,8
Eesti	8,1	7,7	6,8	6,5	6,0	6,0	6,2	6,5	6,8	7,5	8,4	8,3	6,7

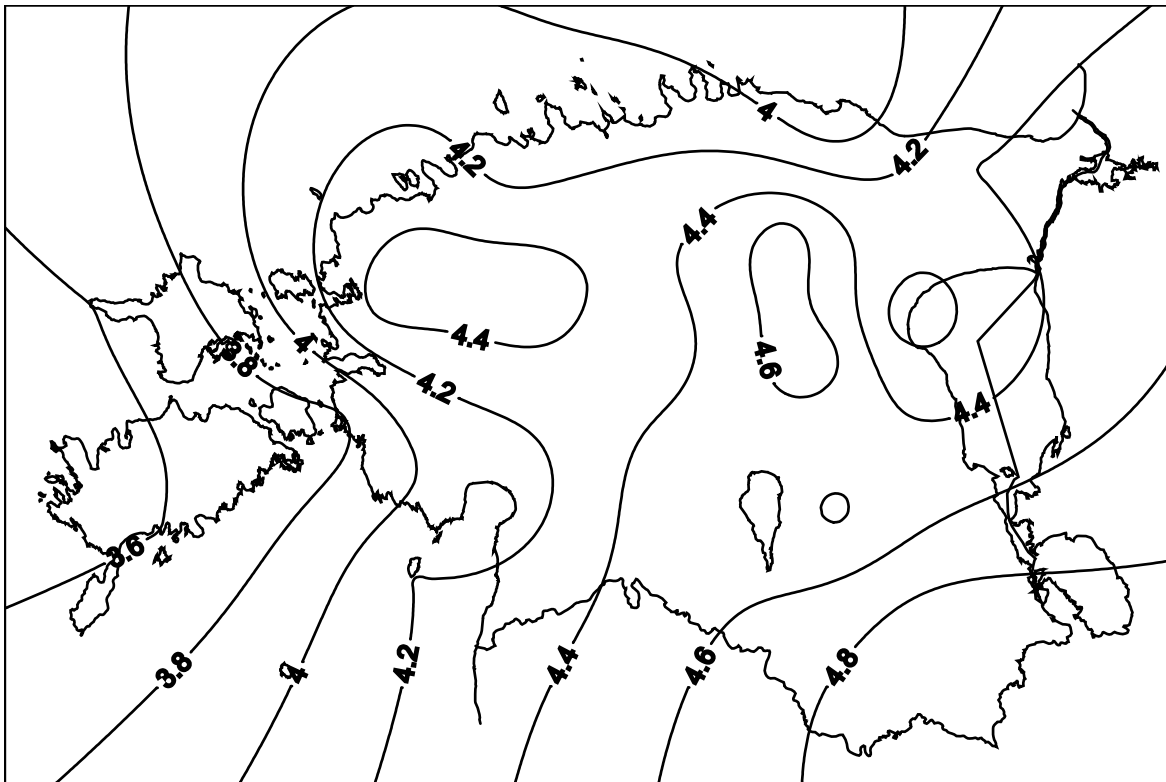
Eelneva põhjal võiks järeldada, et pilvisust esineb alati vähem rannikujaamades. Sellest tulenevalt tuleks esile tuua ka teinegi võrdlus, kus üldise pilvisuse kohta see seaduspärasus ei kehti. Nimelt Vilsandi jaamas on kohati üldine pilvisus suurem kui Võrus. Üldine pilvisus on suurem peamiselt kevad- ja suveperioodil: aprillis, mais, juunis, juulis ja augustis. Erinevust on kõige enam näha augustis, kus Vilsandil on üldine pilvisus 0,5 palli võrra suurem kui Võrus (joonis 4). Varieeruvus kahe ilmajaama vahel on siiski suhteliselt väikene. Samal ajal on alumine pilvisus Võrus 1,6 palli võrra suurem kui Vilsandil (tabel 3). Võrreldes alumise pilvisusega on üldine pilvisus kogu Eesti ulatuses vähem varieeruv nii sesoonselt kui ka territoriaalselt (tabel 4).



Joonis 4. Pilvisuse sesoonne muutlikkus Võrus ja Vilsandil perioodil 1961–2003

3.2 Pilvisuse territoriaalne varieeruvus

Parema ülevaate saamiseks on esitatud allpool perioodi 1961–2003 kohta pilvisuse territoriaalse jaotuse kaardid erinevatel aastaegadel. Üldiselt võib väita, et alumist pilvisust esineb vähem Lääne-Eesti merelise kliimaga jaamades ja seda kõikidel aastaegadel. Erinevust on paremini märgata suvel ja kevadel ning veidi vähem sügis-talvisel ajal. Alumist pilvisust esineb sõltumata aastaajast kõige enam Kagu-Eestis. Üldine pilvisus on kogu Eesti ulatuses tunduvalt vähem muutlik. Pilvi esineb mõnevõrra rohkem Võrtsjärvest ida poole jäävatel aladel (joonised 5–12).

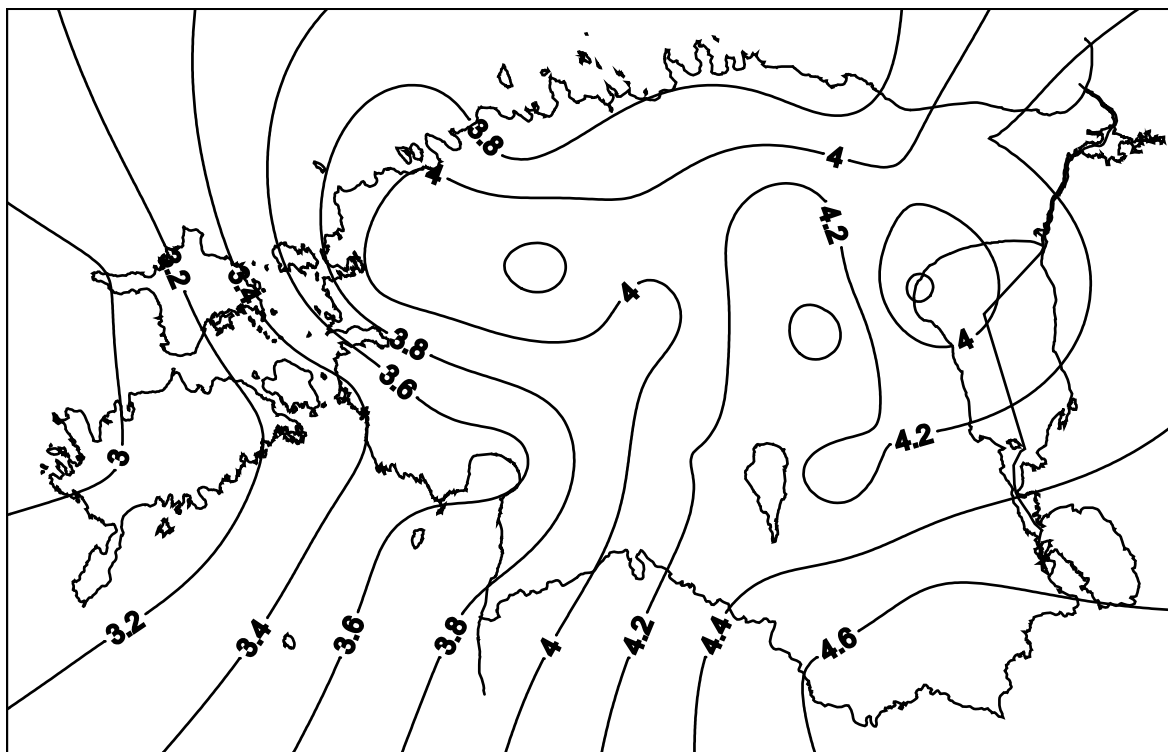


Joonis 5. Alumise pilvisuse territoriaalne varieeruvus kevadel (märts-mai).

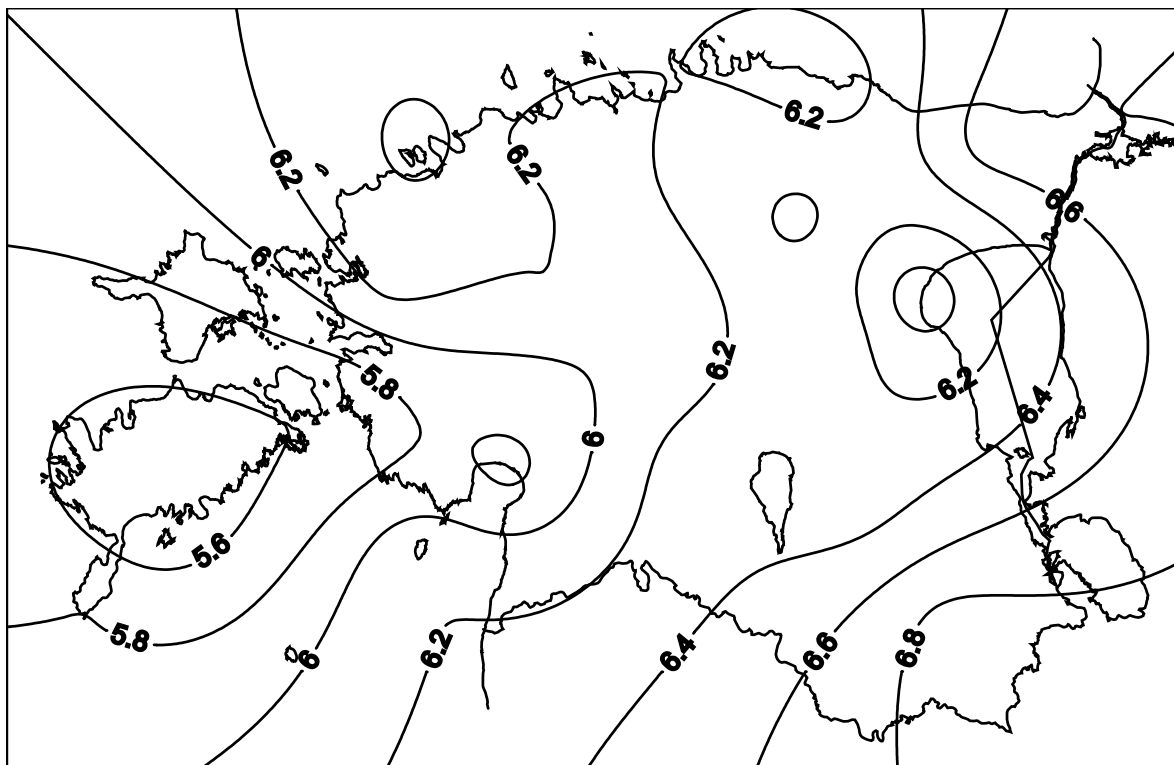
Kevadel ja suvel kulgeb alumise pilvisuse territoriaalne jaotus Eesti kohal sarnaselt. Pilvisust esineb kõige vähem saartel ning see hakkab kasvama sisemaa suunas. Nõnda on alumist pilvisust vähem rannikujaamades Lääne- ja Põhja-Eestis ning kõige pilvisemaks piirkonnaks on Kagu-Eesti (joonis 5 ja 6). Sellist territoriaalset jaotust põhjustab Läänemere aeglasem soojenemine võrreldes mandriga. Jaheda veepinna kohal ei teki tõusvaid õhuvoole ja pilvi.

Sügisel hakkab alumise pilvisuse territoriaalne jaotus mandri- ja rannikujaamade vahel ühtlustuma ning varieeruvus muutub väiksemaks. Peamine muutus võrreldes sooja perioodiga toimub Põhja-Eestis. Kevad-suvisel ajal mere mõju tõttu on Põhja-Eestis vähem pilvi, kuid sügisel ning talvel esineb alumist pilvisust seal võrdväärselt Kesk-Eestiga (joonis 4 ja 5).

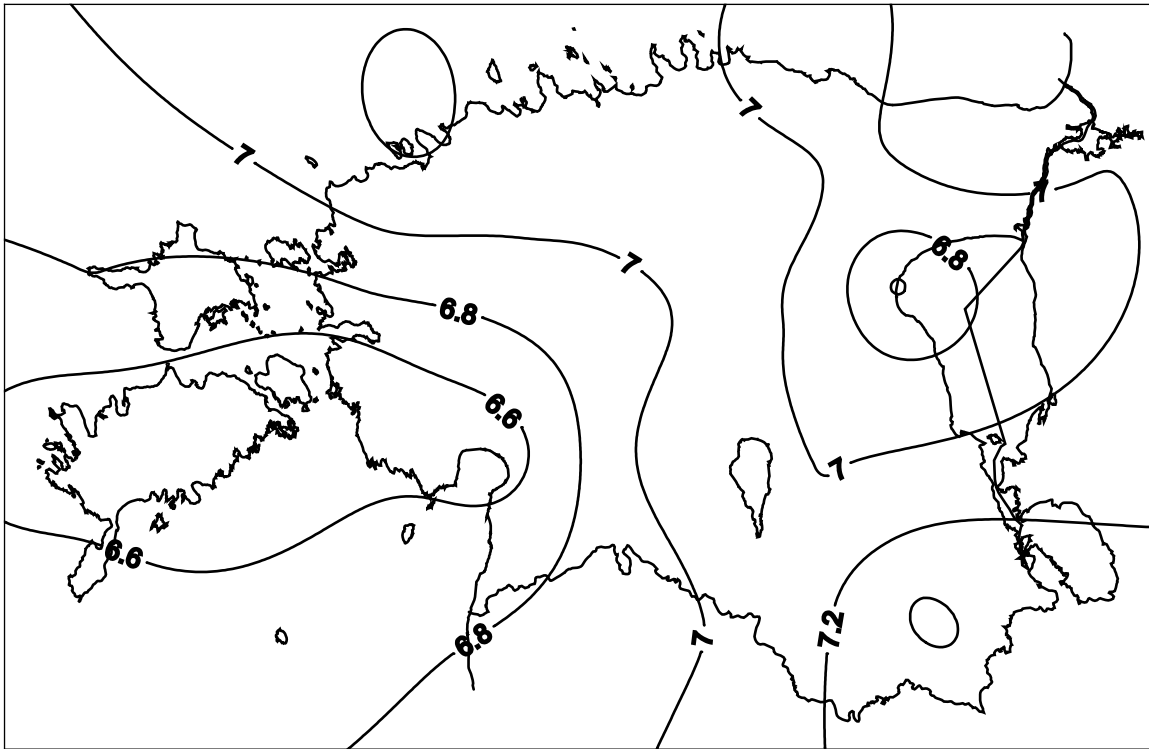
Eraldi tuleks vaadelda Tiirikoja ilmajaama, mis asub Peipsi järve vahetus läheduses. Peipsi mõju alumisele pilvisusele on kõige enam märgata suvel ja talvel, sest siis on seal võrreldes ümbritsevaga vähem pilvi (joonis 6 ja 8).



Joonis 6. Alumise pilvisuse territoriaalne jaotus suvel (juuni-august).

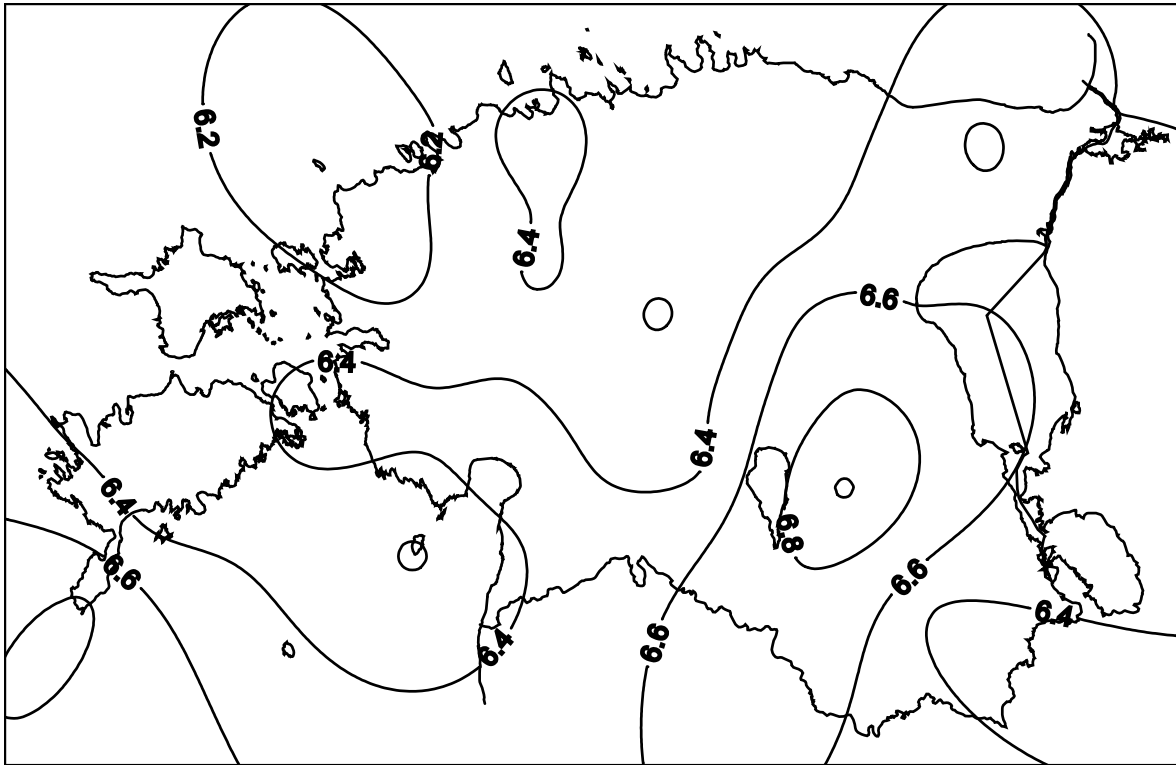


Joonis 7. Alumise pilvisuse territoriaalne jaotus sügisel (september-november).

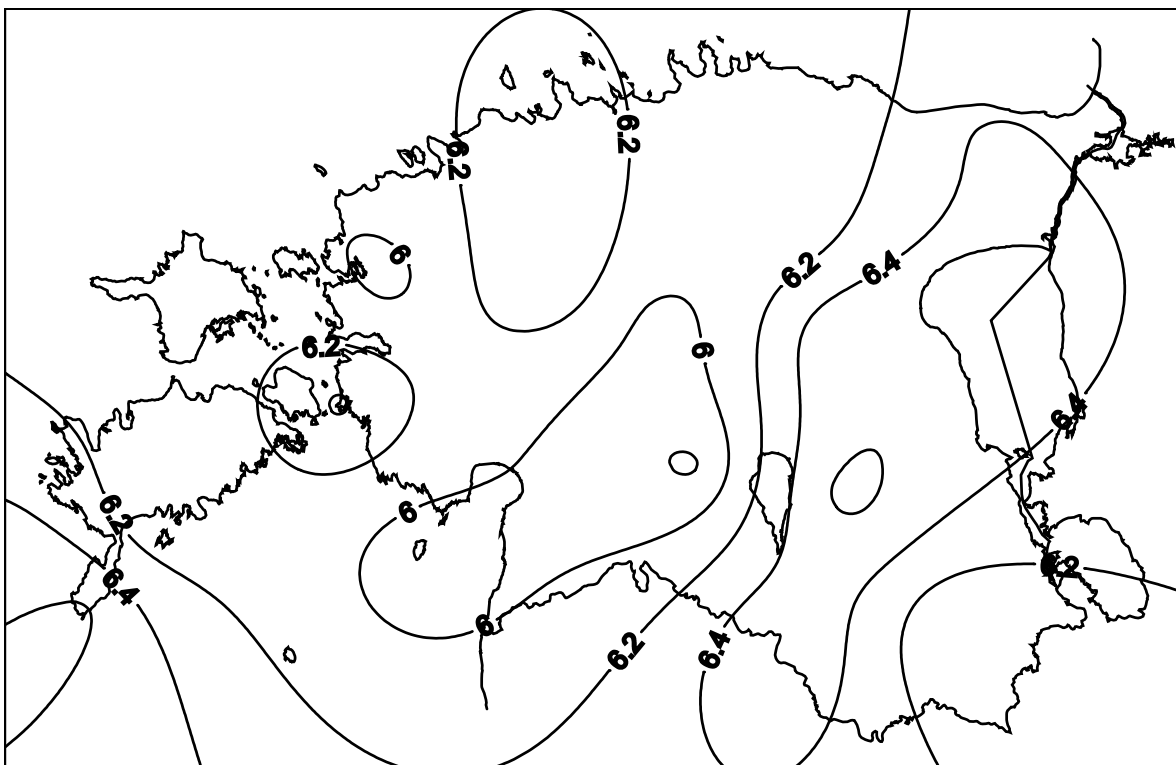


Joonis 8. Alumise pilvisuse territoriaalne jaotus talvel (detsember-veebruar).

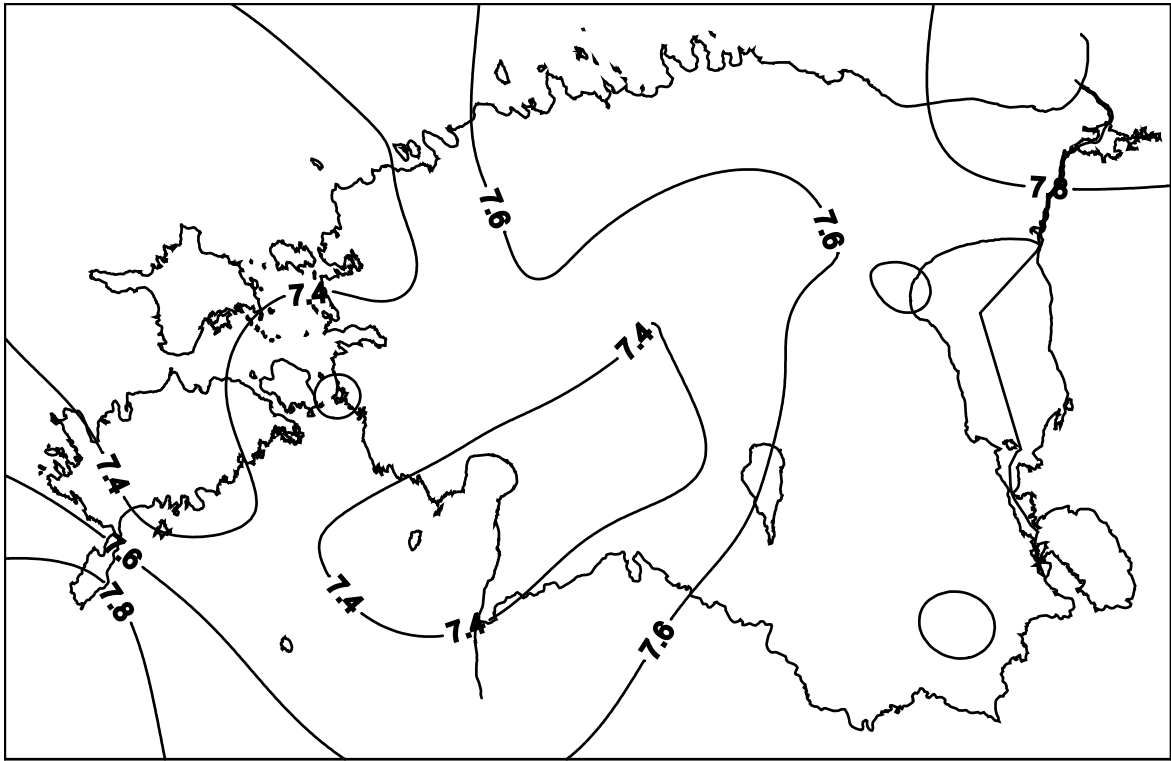
Üldise pilvisuse osas see seaduspärasus, et merelise kliimaga jaamades esineb vähem pilvisust, ei kehti, sest näiteks Sõrves esineb üldist pilvisust rohkem kui Kagu-Eestis (joonised 9–12). Üldise pilvisuse territoriaalne jaotus erinevatel aastaegadel on suhteliselt ebamäärane. Selgelt eristuvat trendi on keerulisem välja tuua, kuid lähemal vaatlemisel on näha, et talvisel ja kevadisel ajal on üldine pilvisus mõne võrra suurem Tartumaa piirkonnas (joonis 9 ja 12). Sügisel on kõige pilvisemateks piirkondadeks Kirde- ja Edela-Eesti (Narva ja Sõrve) (joonis 11). Suvel esineb teiste piirkondadega võrreldes üldist pilvisust vähem Pärnu ja Viljandi maakonnas (joonis 10). Üldise pilvisuse territoriaalset muutlikkust esineb võrreldes teiste aastaegadega kõige vähem talvel (joonis 12).



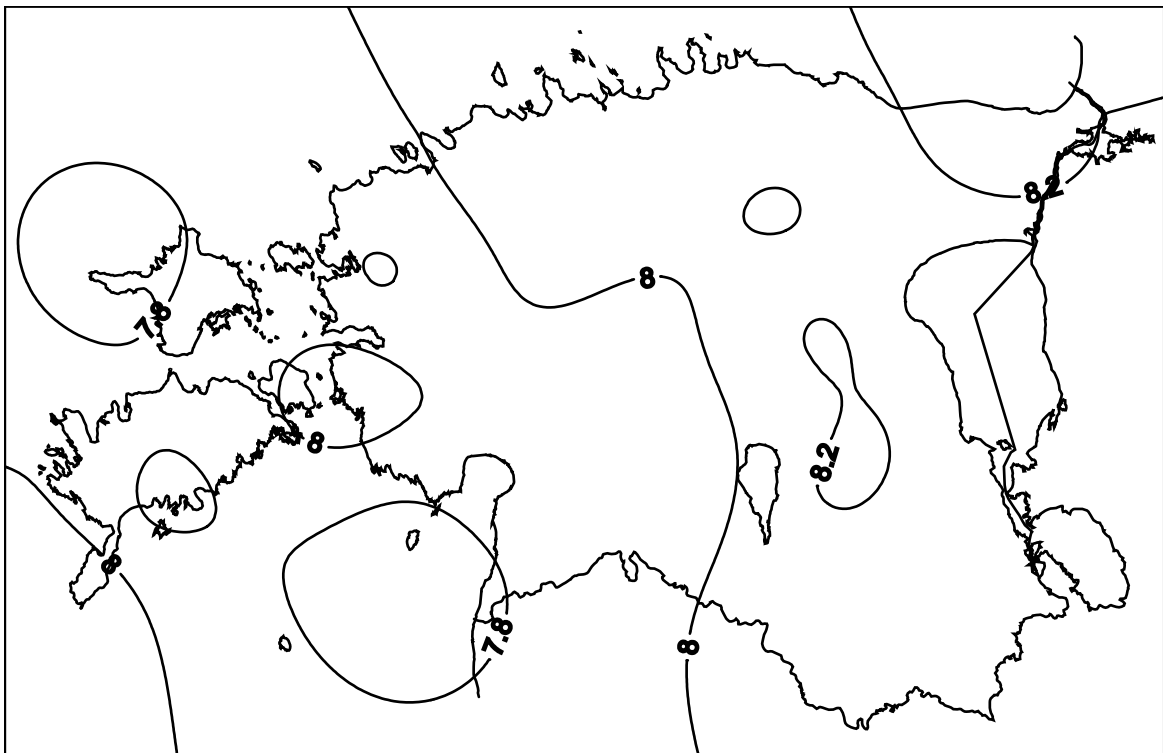
Joonis 9. Üldise pilvisuse territoriaalne jaotus kevadel (märts-mai).



Joonis 10. Üldise pilvisuse territoriaalne jaotus suvel (juuni-august).



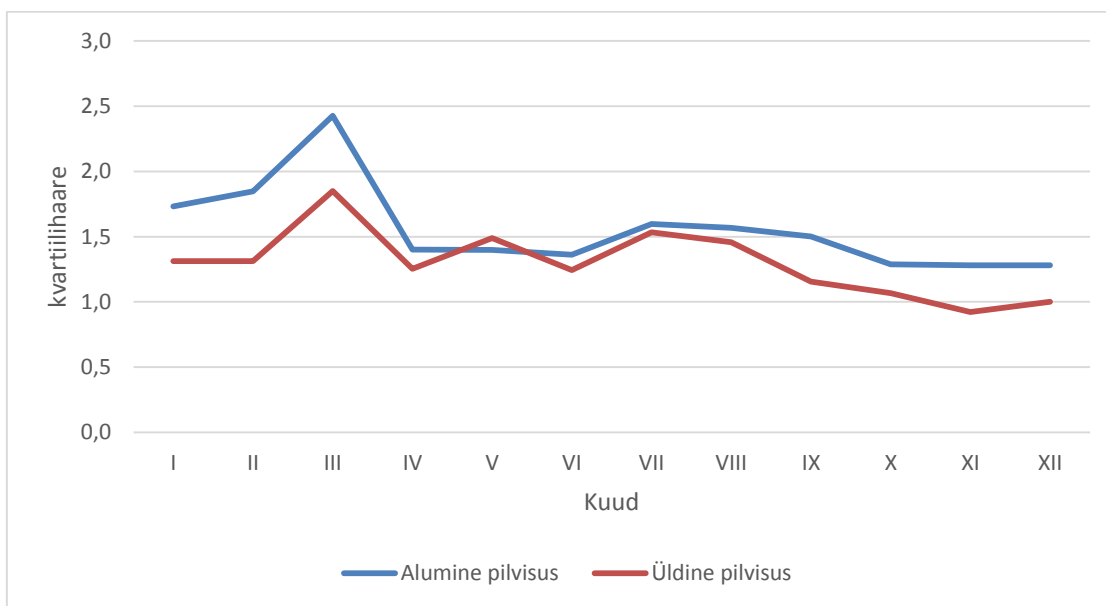
Joonis 11. Üldise pilvisuse territoriaalne jaotus sügisel (september-november).



Joonis 12. Üldise pilvisuse territoriaalne jaotus talvel (detsember-veebruar).

3.3 Pilvisuse aastatevaheline muutlikkus ja pikaajaline trend

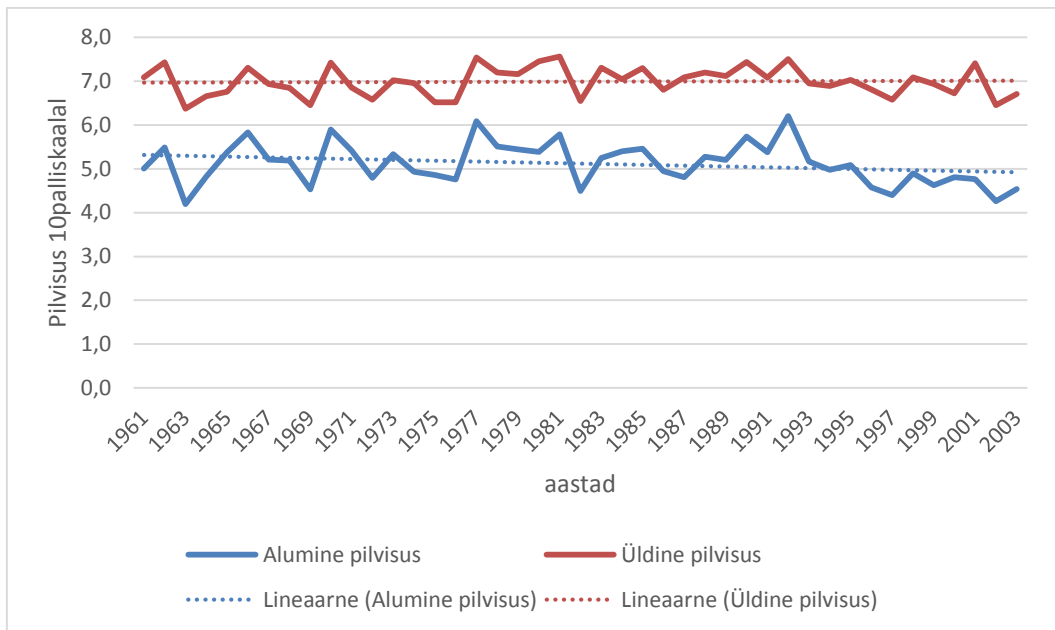
Pilvisuse muutlikkust iseloomustab kvartiilihaare. Mida suurem see on, seda suurem on olnud pilvisuse kõikumine erinevatel aastatel. Kvartiilihaare on toodud joonistena aastate 1961–2003 kohta, mis kajastavad nii alumise kui ka üldise pilvisuse muutikkust. Kvartiilihaare on kõige suurem märtsis, seda nii üldise kui ka alumise pilvisuse osas (joonis 10) See viitab tõsiasjale, et erinevatel aastatel võib esineda märtsikuus kas väga pilviseid või päikeselisi ilmu. Märtsikuu suur muutlikkus võib olla seotud tsirkulatsiooni muutustega kevadperioodil (Jaagus, 2006; Keevallik & Soomere, 2008). Alumine pilvisus on suhteliselt muutlik veel juulist kuni septembrini ning on ühetaoline aprillist juunini ning oktoobrist kuni detsembrini (joonis 10).



Joonis 13. Alumise ja üldise pilvisuse kuude keskmiste kvartiilihaare perioodil 1961–2003.

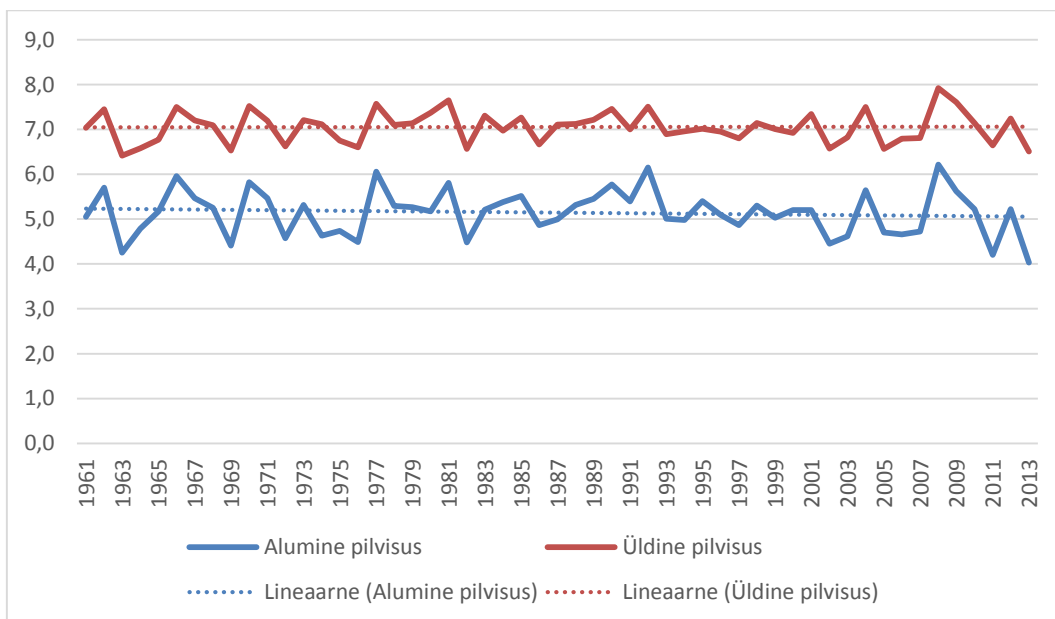
Üldise pilvisuse varieeruvus on suuremapoolsem veel mais, juulis ja augustis. Aastast-aastasse on üldine pilvisus vähemmuutlik aprillis, juunis ja novembris (joonis 13).

Pilvisuse pikaajalist trendi uuriti kahel perioodil 1961–2003 ja 1961–2013 ning parema ülevaate saamiseks on koostatud joonised erinevate aastate keskmise pilvisuse põhjal, millele on juurde lisatud ka pikaajalise muutuse trendijoon (joonised 13 ja 14) ning välja on toodud statistiliselt olulised väärtused tabelikujul (Mann-Kendalli testi statistiku väärtus $\geq 1,96$ või $\leq -1,96$), seda nii üldise kui ka alumise pilvisuse kohta (tabelid 5–8).



Joonis 14. 22 jaama keskmise pilvisuse muutlikkus ja pikaajaline trend 1961–2003.

Ajavahemikul 1961–2003 kulgevad nii alumise kui ka üldise pilvisuse aegread peamiselt ühtemoodi. Nii alumist kui ka üldist pilvisust, esines kõige vähem 1963. aastal (joonis 14). Suhteliselt vähem esines pilvi aastatel 1969, 1972, 1982, 1997 ja 2002 (joonis 14). Alumist pilvisust esines kõige rohkem 1992. aastal, siis oli vastav näitaja 6,2 palli. Pilvisemad aastad on veel 1966, 1970, 1977 ja 1981 (joonis 14). Üldise pilvisuse varieeruvus on väiksem ning kõige pilvisemaks aastaks on 1981, mil aasta keskmine pilvisus on 7,6 palli. Pilvisus oli suurem veel aastatel 1962, 1970, 1977, 1981, 1990, 1992 ja 2000 (joonis 14).



Joonis 15. Kuue jaama keskmise pilvisuse pikaajaline trend 1961–2013.

Nii pikemal kui ka lühemal perioodil (1961–2003 ja 1961–2013) vahelduvad pilvised aastad selgematega üsnagi sarnaselt ning seetõttu on mõistlik ennekõike lähemalt vaadelda pikema perioodi viimast dekaadi. Aastal 2004 on nii üldine kui ka alumine pilvisus suhteliselt suur, vastavalt 7,5 ja 5,6 palli (joonis 15). Sellele järgneb paariaastane vähem pilvisem perioodi. Ajavahemikul 1961–2013 on üldine pilvisus kõige suurem 2008. aastal, mil aasta keskmine pilvisuse väärtus on 7,9 palli (joonis 15). Alumise pilvisuse väärtus 2008. aastal on 6,2 palli, mis on võrdväärne 1992. aasta tulemusega (joonis 15). Kokkuvõtvalt võib öelda, et üldine pilvisus on Eesti kohal püsinud stabiilsena, kuid alumise pilvisuse pikaajaline muutlikkus näitab kergest langustrendi (joonis 14 ja 15).

Tabel 5. Mann - Kendalli testi väärtused alumise pilvisuse kohta perioodil 1961–2013.

Jaamad	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
Võru	2,59	0,26	0,53	-0,26	0,81	3,60	0,94	1,15	1,49	1,49	1,70	1,21	2,96
Väike-Maarja	2,21	-0,09	-0,87	-2,30	-1,97	0,84	-1,87	-2,05	-2,25	-0,25	0,18	1,18	-1,66
Vilsandi	-0,15	-0,90	-0,85	-2,45	-1,52	2,63	0,05	-1,19	-1,98	-0,60	-0,45	0,20	-1,83
Tõravere	2,52	0,62	-0,25	-1,10	-0,67	2,15	-0,34	0,39	-0,65	0,04	1,29	1,40	0,94
Tallinn-Harku	1,70	0,95	0,22	-0,61	0,66	2,97	0,76	-0,02	0,26	1,55	1,43	0,55	2,08
Pärnu	1,98	0,61	-0,33	-1,32	-1,95	1,35	-0,91	-0,73	-0,83	0,34	1,31	2,25	-0,62

Tabel 6. Mann - Kendalli testi väärtused alumise pilvisuse kohta perioodil 1961–2003.

Jaamad	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
Kuressaare	0,56	-1,26	-0,04	-1,01	-2,75	1,06	-0,89	-1,57	-1,21	-1,03	0,63	0,44	-1,74
Ristna	-0,68	-1,91	-0,88	-3,03	-3,13	-1,20	-1,53	-3,29	-3,58	-1,18	-0,62	-0,23	-4,46
Pakri	1,03	-0,57	0,03	-0,71	-1,72	2,72	-1,03	-0,59	-1,29	0,45	1,25	-0,41	-1,14
Virtsu	1,23	-0,53	-0,16	-1,74	-1,78	1,90	0,24	0,09	-0,60	-0,46	0,88	0,00	-1,09
Viljandi	2,21	1,06	0,72	0,01	-0,04	2,57	0,07	0,08	-0,45	0,07	0,60	0,26	0,83
Valga	2,27	0,26	-0,12	-0,49	-0,06	2,97	0,54	0,62	0,27	0,44	1,29	-0,40	0,60
Lääne-Nigula	2,62	1,36	0,64	0,65	1,27	4,15	1,73	1,28	1,09	1,98	2,35	1,59	4,70
Türi	1,58	-0,61	-0,67	-1,80	-2,63	-0,17	-2,62	-2,44	-3,55	-3,12	-1,05	-1,18	-4,19
Narva	1,64	-0,14	-0,58	-2,31	-1,22	1,32	-1,05	-1,48	-2,20	-1,05	-0,45	0,17	-2,17
Tiirikoja	2,38	0,78	-0,13	-1,45	0,33	3,16	0,74	-0,03	-0,34	0,19	1,19	0,58	1,59
Sõrve	1,56	-0,95	0,12	-1,85	-3,49	0,96	-0,55	-1,34	-1,29	-1,34	1,02	0,45	-1,02

Kuusiku	0,61	-0,69	-0,48	-1,13	-1,10	3,11	0,20	-0,35	-1,98	-0,87	0,03	-0,21	-1,72
Kunda	0,77	-0,89	-1,33	-2,19	-2,21	1,47	-1,83	-1,91	-1,93	-0,34	-1,28	-1,74	-2,88
Kihnu	3,17	1,31	0,90	0,66	0,85	4,03	1,89	1,08	1,16	1,99	2,91	1,09	4,36
Jõhvi	1,24	-0,75	-1,41	-3,53	-3,15	-0,64	-2,71	-3,50	-3,62	-2,06	-1,10	-1,50	-4,98
Jõgeva	1,80	0,54	-0,39	-1,06	0,04	2,84	-0,57	-0,67	-1,45	-0,46	0,10	0,52	-0,23
Võru	3,33	1,55	1,00	1,42	1,42	4,84	2,44	1,35	2,08	2,19	2,14	1,37	4,93
Väike-Maarja	2,19	0,24	-0,13	-1,03	-1,09	2,49	-0,99	-1,65	-2,12	-0,66	0,04	0,35	-0,64
Vilsandi	- 1,18	-2,21	-1,18	-2,20	-2,65	1,50	-0,48	-2,58	-3,49	-2,04	-1,90	-1,50	-4,09
Tõravere	2,57	1,10	0,24	-0,03	0,00	3,04	0,85	0,54	0,00	-0,09	0,94	0,62	2,03
Tallinn- Harku	1,89	0,88	0,73	0,10	0,93	4,00	1,60	0,92	0,32	1,48	1,17	0,85	3,31
Pärnu	1,68	0,09	-0,05	-1,21	-2,45	1,37	-0,79	-0,84	-1,39	-0,70	0,68	0,59	-1,69

Tabel 7. Mann - Kendalli testi väärtused üldise pilvisuse kohta perioodil 1961–2013.

Jaamad	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	aasta
Võru	2,81	1,05	0,61	0,22	0,81	3,45	0,70	1,34	2,22	2,18	2,12	2,26	4,41
Väike-Maarja	1,90	0,47	-0,26	-0,95	0,06	3,38	-0,33	-0,25	0,00	0,28	0,37	1,77	1,24
Vilsandi	1,21	-0,19	-0,45	-1,19	-0,95	2,37	0,60	-0,25	-0,65	-0,04	1,12	1,96	0,45
Tõravere	1,75	0,03	-0,53	-1,45	-0,81	2,29	-1,04	-0,62	0,16	0,88	1,04	2,33	0,60
Tallinn-Harku	1,05	0,68	-0,52	-0,24	-0,01	2,57	0,45	-0,29	-0,15	0,85	0,92	0,63	0,55
Pärnu	0,43	-0,74	-1,40	-1,64	-1,93	1,10	-0,62	-0,86	-0,95	0,02	0,82	1,61	-1,66

Tabel 8. Mann - Kendalli testi väärtused üldise pilvisuse kohta perioodil 1961–2003.

Jaamad	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	aasta
Kuressaare	1,13	0,66	0,11	0,09	0,48	3,79	1,10	0,70	0,99	1,15	2,38	0,81	2,49
Virtsu	1,48	-0,35	-0,50	-1,39	-1,44	1,83	-0,18	-0,62	-1,18	-0,40	1,01	0,33	-1,22
Viljandi	1,62	0,25	-0,86	-0,76	-1,91	2,56	-1,45	-1,34	-1,05	-1,30	0,02	-0,05	-1,88
Valga	2,99	1,27	-0,18	0,36	-0,55	2,68	-0,12	-0,62	0,57	0,03	1,20	0,19	0,46
Türi	1,77	0,14	-0,54	0,68	-0,98	2,24	-0,85	-1,07	-1,09	-0,78	0,30	-0,06	-1,05
Tiirikoja	2,76	1,18	-0,23	0,32	-0,10	3,20	-0,43	-0,83	0,02	-0,06	0,81	0,77	0,99
Sõrve	1,43	-0,65	0,00	-0,92	-1,60	2,62	-0,22	-0,56	0,20	0,02	1,19	0,28	0,12

Ristna	0,26	-0,84	-0,85	-1,26	-1,15	1,76	-0,30	-1,42	-1,59	-0,53	0,76	0,43	-1,59
Pakri	1,32	-0,21	-0,29	0,00	-1,12	1,95	-0,68	-0,40	-0,59	0,15	0,79	0,28	-0,88
Lääne-Nigula	1,22	0,27	-0,27	-1,20	-0,42	2,35	0,25	-0,23	-0,27	0,55	1,34	0,48	0,32
Narva	2,94	2,26	1,26	2,38	2,42	4,75	2,09	1,75	1,46	1,90	2,24	2,91	4,47
Kuusiku	1,30	-0,69	-1,02	-1,71	-2,27	1,28	-1,73	-1,91	-2,55	-1,92	0,09	-0,23	-3,76
Kunda	2,56	1,08	0,27	0,53	0,91	3,93	0,25	0,28	0,86	1,25	1,16	0,63	2,46
Kihnu	2,41	0,89	0,56	-0,08	0,13	3,31	0,63	0,13	0,76	1,50	2,07	0,65	2,31
Jõhvi	1,68	0,37	-0,31	-0,19	0,21	3,30	-0,21	-1,01	-1,14	-0,80	-0,03	-0,33	-0,03
Jõgeva	1,73	0,05	-0,30	-0,13	-0,86	2,70	-1,00	-1,37	-1,38	-0,60	0,37	0,08	-1,28
Võru	3,20	1,41	0,37	0,82	0,46	3,97	1,29	0,55	1,85	1,62	1,68	0,87	4,02
Väike-Maarja	1,82	0,24	-0,12	-0,49	-0,22	3,72	-0,44	-0,86	-0,52	-0,77	-0,08	0,15	0,30
Vilsandi	0,29	-1,31	-0,69	-1,49	-2,04	2,02	-0,51	-1,30	-1,67	-0,96	0,00	0,08	-1,62
Tõravere	2,22	0,59	-0,52	-0,36	-0,40	3,24	-0,19	-0,74	0,18	0,29	0,68	1,02	1,03
Tallinn-Harku	1,43	0,34	0,04	0,17	-0,17	3,48	0,42	0,10	-0,62	0,55	1,08	-0,17	0,71
Pärnu	0,95	-0,61	-0,96	-1,12	-1,80	2,26	-0,56	-0,94	-1,11	-0,69	0,77	-0,05	-1,66

Vaadeldes eraldi pilvisuse muutus kuude kaupa erinevates ilmajaamades hakkab silma, et juunikuus on toimunud nii alumise kui ka üldise pilvisuse suurenemine. Perioodil 1961–2013 suurenes juunikuus alumine pilvisus 4 ja üldine pilvisus 5 ilmajaamas, need ilmajaamad on Võru, Vilsandi, Tõravere, Tallinn-Harku ja Väike-Maarja (tabel 5 ja 7). Ajavahemikul 1961–2003 suurenes juunikuus alumine pilvisus 12 ning üldine pilvisus 18 ilmajaamas (tabel 6). Järgnevalt on väljatoodud lühema perioodi kohta ilmajaamade loend, kus esines nii alumise kui ka üldise pilvisuse suurenemine juunikuus, nendeks on: Viljandi, Valga, Lääne-Nigula, Tiirikoja, Kihnu, Jõgeva, Võru, Väike-Maarja, Tõravere ja Tallinn-Harku (tabel 6 ja 8).

Pilvisus on vähemal määral suurenenud ka jaanuaris. Aastatel 1961–2013 suurenes alumine pilvisus jaanuarikuus 4 ja üldine pilvisus 1 ilmajaamas (tabel 5 ja 7). Lühemal perioodil suurenes alumine pilvisus jaanuaris 8 ning üldine pilvisus 7 ilmajaamas (tabel 6 ja 8). Pilvisuse tõus jaanuaris ja juunis on kooskõlas sademete suurenemisega nendel kuudel (Jaagus, 2006).

Ajavahemikul 1961–2003 vähenes madalate pilvede osakaal mais ja septembris vastavalt 8 ja 7 ilmajaamas. Türi, Jõhvi ja Vilsandi ilmajaamas esines langustrend mõlemal kuul (tabel 6).

Alumine pilvisus suurenes usaldusväärselt pikemal perioodil kahes ja lühemal perioodil viies ilmajaamas. Need ilmajaamad on Tallinn-Harku, Võru, Tõravere, Kihnu ja Lääne-Nigula (tabel

5). Alumine pilvisus vähenes lühemal perioodil usaldusväärselt kuues ilmajaamas, millest üks asub sisemaal. Need ilmajaamad on: Ristna, Narva, Kunda, Jõhvi, Vilsandi ja Türi (tabel 6).

Perioodil 1961-2003 vähenes üldine pilvisus usaldusväärselt Kuressaares, Narvas, Kundas, Kihnus ja Võrus. Vastupidine trend esines ainult ühes ilmajaamas, milleks on Kuusiku. Pikemal perioodil usaldusväärselt langustrendi ei täheldatud ning pilvisuse suurenemist esines ainult ühes ilmajaamas.

Kokkuvõte

Käesoleva uurimustöö eesmärgiks oli uurida pilvisuse muutust Eestis viimasel poolsajandil. Sellest lähtuvalt analüüsiti milline on madala ja üldise pilvisuse sesoonne, territoriaalne ja aastatevaheline muutlikkus ning milline on madala ja üldise pilvisuse pikaajaline muutuste trend Eestis. Uurimustöö algandmed põhinevad visuaalselt määratletud pilvisusel ning seoses 2003. aastal automaatilmajaamade kasutusele võtmisega on antud uurimustöös käsitletud kahte perioodi, millest lühem on 1961–2003 ning pikem 1961–2013.

Järgnevalt on välja toodud uurimusküsimustele leitud vastused:

- Eestis on väga selgelt välja kujunenud pilvisuse sesoonne vaheldumine. Kevadel ja suvel on pilvi vähem ning sügisel ja talvel on enamasti väga pilvine. Nii alumist kui ka üldist pilvisust esineb kõige rohkem novembris ning kõige selgemaks kuuks on mai.
- Üldine pilvisus on kogu Eesti ulatuses vähem varieeruv nii sesoonselt kui ka territoriaalselt.
- Võrreldes sisemaa ilmajaamadega esineb alumist pilvisust vähem Lääne-Eesti merelisekliimaga jaamades, seda kõikidel aastaegadel. Üldise pilvisuse osas see seaduspärasus ei kehti. Sügisel hakkab alumise pilvisuse territoriaalne varieeruvus mandri ja rannikujaamade vahel ühtlustuma.
- Alumist pilvisust esineb kõige rohkem Kagu-Eestis. Üldist pilvisust esineb mõnevõrra rohkem Võrtsjärvest idapoolse jäävatel aladel.
- Aastast-aastasse on nii üldise kui ka alumise pilvisuse kõikumine kõige suurem märtsikuus.
- Juunis ja jaanuaris on toimunud nii alumise kui ka üldise pilvisuse suurenemine. Pikemal perioodil suurenes juunikuus alumine pilvisus 4 ja üldine pilvisus 5 ilmajaamas. Lühemal ajavahemikul suurenes juunis alumine pilvisus 12 ning üldine pilvisus 16 ilmajaamas. Jaanuaris suurenes alumine pilvisus 4 ja üldine pilvisus 1 ilmajaamas. Lühemal perioodil suurenes alumine pilvisus 8 ning üldine pilvisus 7 ilmajaamas.
- Ajavahemikul 1961–2003 vähenes madalate pilvede osakaal mais ja septembris vastavalt 8 ja 7 ilmajaamas.
- Ajavahemikul 1961–2003 esines nii alumist kui ka üldist pilvisust kõige vähem 1963. aastal, alumist pilvisust esines kõige rohkem 1992. aastal ning üldist pilvisust 1981. aastal. Pikemal perioodil oli kõige pilvisemaks aastaks 2008, mil üldine pilvisus

oli 7,9 palli ja alumine pilvisus 6,2 palli. See on võrdväärne 1992. aasta alumise pilvisuse tulemusega.

- Alumine pilvisus on suurenenud pikemal perioodil kahes ja lühemal perioodil viies ilmajaamas ning vähenenud lühemal perioodil kuues ilmajaamas. Pikemal perioodil usaldusväärset üldpilvisuse langustrendi ei täheldatud ning suurenemist esines ainult ühes ilmajaamas. Lühemal ajavahemikul vähenes üldine pilvisus Kuressaares, Narvas, Kundas, Kihnus ja Võrus. Vastupidine trend esines ainult ühes ilmajaamas, milleks on Kuusiku.

Spatio-temporal variability of cloudiness over Estonia

Kati Karus

Summary

The aim of this study was to analyze spatial and seasonal variability of cloudiness in Estonia, and to determine its long-term changes during the last half of a century. The dataset of total and low cloud coverage is based on visual observations reported by 22 weather stations in Estonia. In 2003 most weather stations in Estonia started using automatic weather recording systems and therefore two separate time periods 1961–2003 and 1961–2013 were used in this study. Seasonal variability and spatial distribution of cloudiness were analyzed for the period 1961–2003 only whereas long-term variability trends were examined for both time-series.

The main results of this work are listed below:

- Seasonal variations of cloudiness over Estonia follows a certain pattern whereby in Spring and Summer there are less clouds and in autumn and winter the weather is mostly very cloudy. The cloudiest month for both low clouds and overall cloudiness is November and the clearest is May.
- The amount of low clouds decrease from east to west, where the cloudiest place is South-East of Estonia. In autumn the difference between marine and inland stations start to fade but a small gap still remains. This spatial differentiation does not apply for total cloudiness. For total cloudiness the cloudiest area was found to be east of lake Võrtsjärv.
- Largest cloudiness variability occurs in march this applies for both low clouds and total cloudiness.
- The amount of low clouds and total cloudiness has increased in June and January. During the longer period the amount of low clouds increased in June at 4 stations and total cloudiness at 5 stations. For the shorter period the amount of low clouds increased at 12 stations and overall cloudiness at 16 weather stations. In January the amount of low clouds increased at 4 stations and total cloudiness at 1 station. During the shorter period the amount of low clouds increased at 8 stations and total cloudiness at 7 weather stations.

- During the period 1961–2003 the amount of low clouds decreased in May at 8 stations and September in 7 stations.
- During the shorter period the year 1963 was recorded as the least cloudy year this observation applies for both low clouds and total cloudiness. In contrast, the cloudiest year for low clouds was 1992 and for total cloudiness 1981. During the longer period it was found that for total cloudiness 2008 was the cloudiest year, for low clouds the result was the same as in 1992 and 2008 being the two cloudiest years over longer time-series.
- Long-term variability trend analyzes show that during the longer period the amount of low clouds has increased in 2 stations and total cloudiness has increased in 1 station, no reliable negative trends were detected. During the shorter period the amount of low clouds increased in 5 stations and decreased in 6 stations. Total cloudiness increased in 5 stations and decreased in 1 station.

Tänuavaldused

Sooviks tänada geograafe Jane Hüdsit, Birgit Viru ning ennekõike oma juhendajat professor Jaak Jaagust, kes panustasid oma aega ning jagasid häid nõuandeid, mis aitasid kaasa töö valmimisele.

Kasutatud kirjandus

- Boucher, O., D. Randall, P. Artaxo, C. Bretherton, G. Feingold, P. Forster, V.-M., . . . Liao, U. (2013). *2013: Clouds and Aerosols. In: Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 77-88.
- Kamenik, J. (2012). Kuidas sünnivad pilved. *Horisont*, 1.
- Kamenik, J. (2015). *Eesti pilveatlas*. Tallinn: Varrak.
- Kaufman, Y. J., & Koren, I. (2006). Smoke and Pollution Aerosol Effect on Cloud Cover. *Science*, Vol. 313 no. 5787 pp. 655-658.
- Keevallik, S., & Russak, V. (2001). Changes in the amount of low clouds in Estonia (1955-1995). *International Journal of Climatology*, 389-397.
- Keevallik, S., & Soomere, T. (2008). Shifts in early spring wind regime in North-East Europe (1955-2007). *Climate of the Past Discussions, European Geosciences Union (EGU)*, 271-287.
- Lamb, D., & Verlinde, J. (2011). *Physics and Chemistry of Clouds*. New York: Cambridge University Press.
- Minnis, P. (2001). Changes In Cirrus Cloudiness And Their Relationship To Contrails. *12th Symposium on Global Change Studies and Climate Variations* (1k 239-242). New Mexico: NASA Langley Research Center.
- Norris, J. R. (1999). Cloud Cover between 1952 and 1995. *JOURNAL OF CLIMATE*, 1864-1870.
- Norris, J. R. (2005). Multidecadal changes in near-global cloud cover and estimated cloud cover radiative forcing. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 1-17.
- Norris, J. R. (2008). Observed Interdecadal Changes in Cloudiness: Real or Spurious? *Advances in Global Change Research*, 169-178.
- Russak, V., & Kallis, A. (2003). *Eesti kiirguskliima teatmik*. Tallinn: OÜ Stilett Trükikoda.
- Sporre, M. K., Swietlicki, E., Glantz, P., & Kulmala, M. (2014). Aerosol indirect effects on continental low-level clouds over Sweden and Finland. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12167–12179.
- Stocker, T., D. Qin, G.-K. P., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., . . . Midgley, P. (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.:

Cambridge University Press.

Sun, B., & Groisman, P. Y. (2000). Cloudiness variations over the former Soviet Union.

International Journal of Climatology, 1997-1111.

Teller, A., & Levin, Z. (2006). The effects of aerosols on precipitation and dimensions of subtropical clouds: a sensitivity study using a numerical cloud model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 67-80.

Warren, S., Eastman, R., & Hahn, C. (2007). A Survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land from Surface Observations, 1971–96. *Journal of Climate*, 717–738.

Wibig, J. (2008). Cloudiness variations in Łódź in the second half of the 20th century.

International Journal of Climatology, 28: 479–491.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kati Karus (sünnikuupäev: 16.06.1992),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Pilvisuse ajaline ja territoriaalne muutlikkus Eestis“, mille juhendaja on Jaak Jaagus,

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

Tartus, **22.05.2015**