

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias

Lumikatte kestuse uurimine Eestis marsruutvaatluste põhjal

Andres Hillep

Juhendaja: Prof. Jaak Jaagus

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2016

Infoleht

Lumikatte kestuse uurimine Eestis marsruutvaatluste põhjal

Andres Hillep

Käesolev bakalaureusetöö keskendub Eesti lumikatte kestuse ning paksuse sesoonsele muutlikkusele. Uurimistöös analüüsitakse marsruutvaatluste mõõtmistulemuste põhjal Eesti talvede lumikatte muutusi alates 1992-st aastast. Lisaks annab uurimistöökannab põhjaliku ülevaate lumikatte muutustest ning selle tagajärgedest üle kogu Maa. Töös keskenduti järgmistele lumikatet iseloomustavatele aspektidele: lumikatte paksuse sesoonne muutumine, keskmiste lume paksuste maksimaalsete väärtuste muutused, marsruutide hinnangulise lume kaetuse erinevused, lumikatte paksuse amplituudide varieeruvus ja lumikatte kestuse muutused 23 talve jooksul.

Märksõnad:

- 1) Lumikatte
- 2) Marsruutvaatlused
- 3) Lumikatte kestus
- 4) Lume paksus

CERCS kood P510

Analyzing snow cover duration in Estonia with route observations

This bachelor's thesis analyses the temporal changes of snow coverage and depth in Estonia. The changes in snow coverage data gathered from route observations since 1992 is analysed. In addition, research gives an overview of snow coverage changes on Earth and the consequences of it.

Keywords:

- 1) Snow cover
- 2) Route observations
- 3) Snow cover duration
- 4) Snow depth

CERCS code P510

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Lumi ja lumikatte muutused	6
1.1 Lumi ja lumikate	6
1.2 Kliimamuutuste mõju lumikattele.....	7
1.2.1 Globaalne kliima soojenemine ja lumikatte kestuse muutumine	7
1.2.2 Kliimamuutuste mõju Euroopas.....	8
1.2.3 Kliimamuutuste mõju Läänemere regioonis	10
2. Mõõtmised	12
2.1 Lumikatte mõõtmine	12
2.2 Marsruutvaatlused	12
3. Andmete kogumine ja metoodika	14
4. Tulemused	16
4.1 Lumikatte paksuse sesoonne muutumine	16
4.2 Keskmiste lume paksuste maksimaalsete väärtuste muutused.....	18
4.3 Marsruutide hinnangulise lume kaetuse erinevused.....	20
4.4 Lumikatte paksuse amplituudide varieeruvus	22
4.5 Lumikatte kestuse muutused 23 talve jooksul.....	24
Kokkuvõte	29
Summary	30
Tänuavaldused.....	31
Kasutatud kirjanduse loetelu	32
Lisad.....	34

Sissejuhatus

Lumel on suur mõju kliimale, inimühiskonnale ja ka loomariigile. Teadlased teavad lumest ja selle tähtsusest palju, aga siiski üllatab lume nägemine iga uut põlvkonda. Lumikatte kõrge albeedo ja valguse peegeldumine muudab lumised talveilmad lumetutest kuni kaks korda valgemaks (Tooming 2002). Lisaks sellele, et valge maakate annab valgust pimedale ajale, mõjub see ka inimestele psühholoogiliselt hästi (Tooming, Kadaja 1995).

Kliima on maakera ulatuses erinev, muutudes ekvaatorilt pooluste suunas. Teatud laiuskraadidest alates liitub teistele kliimateguritele ka talvine lumikatte. Aasta jooksul on alaliselt või ajutiselt lumega kaetud 23 % maakerast, 50 % maismaast (Martinec, Sevruk 1992) Lumikatte eriline tähtsus seisneb selles, et ta kujundab paikkondade kliimat. Lisaks mõjutab lumi kliimat ka globaalselt, peegeldades suurema osa Päikese kiirgusest tagasi (Tooming, Kadaja 2006). Lumikattel on oluline koht agrokliima ja hüdroloogilise režiimi kujundajana. Tänu väga väiksele soojusjuhtivusele toimib lumikatte kui vaip, takistades külma õhu tungimist enda alla (Aruksaar *et al.* 1964).

Esimesi lumikatte andmete üldistusi tegid Eestis 1921. aastal Letzmann ja 1939. aastal Kirde. Letzmanni artiklis olid koostatud lume paksuse kaardid Balti kubermangude kohta. Kirde töös oli hinnatud lisaks ka lumikattega päevade arvu (Tooming, Kadaja 2006) Kaasaegsetel geoinfosüsteemidel (GIS) põhinevaid meetodeid lumikatte aastase kestuse ja paksuse territoriaalse jaotuse leidmiseks meteoroloogiajaamade ja –postide andmete põhjal kasutas Jaagus (1997, 2003). Põhjaliku ülevaate Eesti lumikatte kestuse, paksuse, tiheduse ja veevaru ning aluspinna albeedo kohta annab Toomingu ja Kadaja koostatud Lumikatteteatmik (2006).

Antud uurimistöö koosneb viiest sisupeatükist, mille raames tehakse ülevaade lumest ja lumikattest ning selle kestusest üldiselt kogu Maal, Euroopas ning Läänemere regioonis. Bakalaureusetöös kirjeldatakse kliimamuutuste senist mõju lumikatte kestusele erinevates piirkondades ning mõningaid tuleviku prognoose. Töö käigus uuritakse Eesti lumikatte kestuse sesoonseid muutusi marsruutvaatlustelt kogutud andmete ja erinevate lund iseloomustavate näitajate põhjal ajavahemikul 1992-2015.

Käesoleva uurimistöö eesmärk on kirjeldada viimase 23 talve lumikatte muutusi marsruutvaatluste mõõtmistulemuste põhjal. Lumikatte kestuse analüüsi marsruutvaatluste põhjal on tehtud siiani väga vähe ja seepärast on antud töö tulemused olulised. Nii talvine lume puudumine kui ka lumerohkus tekitavad mõlemad erinevates valdkondades probleematikat. Olenevalt sellest, kas lume olemasolu on oluline või vastupidi. Lumikatte kestuse muutuste

tulemustest oleksid huvitatud väga paljud erinevad valdkonnad. Eestis mõjutab lumikate eelkõige põllumajandust, metsandust, transporti, ehitust, talisporti ja ka turismi. Lumi põhjustab enim kulutusi maanteedel lumetõrjeks ning tekitab palju tööd teehooldajatele. Peamiseks probleemiks on see, et pole võimalik täpselt ette prognoosida lume koristamiseks vajamineva tehnika ja tööjõu hulka ning tehtavaid kulutusi (Tammemets 2008).

Töö uurimisülesanded:

- 1) Lumikatte näitajate varieeruvus marsruutmõõtmistel
- 2) Talvede lume kaetuse ja kestuse võrdlus

1. Lumi ja lumikatte muutused

1.1 Lumi ja lumikate

Lumeks saab nimetada tahkeid sademeid, mis koosnevad jääkristallidest või nende kogumeist. Neid nimetatakse sageli ka lumekristallideks. Jääkristallide tekkimist ning nende kuju mõjutab õhutemperatuur ja –niiskus. Enamasti on lumekristallid heksagonaalse kujuga, kuid kristalle võib tekkida ka väga erinevaid. Lumekristallid koosnevad kümnetest tuhandetest kristallidest (Doesken, Judson 1996). Lumi tekib pilvedest, mis saavad oma vee maismaalt ja veekogudest aurustumisel ning transpiratsiooni teel. Kui temperatuur langeb alla 0° C, siis koosnevad pilved allajahtunud veepiiskadest ja jääkristallide segust. Jääkristallidest tekkinud moodustisi sisaldavad pilved nii talvel kui ka suvel, kuid suvel jõuavad need sulada atmosfääri alumistes kihtides enne kui jõuavad maapinnani. Talvel, kui õhutemperatuur on piisavalt madal, langevad lumekristallid aga maapinnale (Tooming, Kadaja 2006).

Kui maapinna temperatuur on piisavalt madal ning lumesadu on küllaltki tugev, tekib maapinnale lumekiht, mida nimetatakse lumikatteks (Aruksaar *et al.* 1964). Aastaringne püsiv lumikate esineb ainult suurematel geograafilistel laiuskraadidel, näiteks Arktikas, Antarktikas ning ka kõrgmägedes. Keskmistel laiuskraadidel, nagu Eestis, on püsiv lumikate ainult talvekuudel. (Tooming, Kadaja 2006). Eesti territooriumil võib lumikatte kestus erineda aastati väga suurel määral. Enamasti mõjutab seda Läänemeri ning Atlandi ookeani põhjaosas olevad hoovused. Lisaks on Eestis suured lumikatte erinevused Lääne-Eesti merelise ja Ida-Eesti kontinentaalse kliimavaldkonna vahel (Tooming, Kadaja 1995).

Siiski ei saa enamasti pärast esimesi lumesadusid rääkida stabiilsest lumikattest, sest soojale maale langevad lumekristallid sulavad tavaliselt kohe ära. Eriti kui õhutemperatuur on soe, ei jõua enamuse lumekristallidest maapinnani. Esimese lume kiire sulamine on sagedasem Lääne-Eestis ning saartel, kus on hilissügis mere mõju tõttu soojem. Ida- ja Lõuna-Eestis, kus on kontinentaalsem kliima, on maapind tavaliselt esimeste lumesadude ajaks külmem ning lumi jääb tõenäolisemalt maapinnale püsima. Tavaliselt ongi sellel põhjusel sealsetes piirkondades ka lumikatte paksus märgatavalt suurem, kui Lääne-Eestis. Lume püsima jäämise võib otsustada juba paari kraadiline temperatuuride vahe, sest lumi on väga tundlik temperatuurile 0° C läheduses. Seetõttu on lumikatte püsijäämise ennustamine suur väljakutse sünoptikutele. Esimest lund on Eestis sadanud juba septembri lõpus. Sagedamini sajab lumi aga oktoobris, kõige tõenäolisemalt sisemaal novembri esimesel dekaadil. Rannikul sajab lumi enamasti novembri teisel ja saartel kolmandal dekaadil, kuid püsima jääb lumi tavaliselt siiski detsembris, vahel isegi alles jaanuaris. Kõige varem jääb lumikate püsima enamasti Haanja,

seejärel Otepää ja Pandivere kõrgustikul ning ka Kirde-Eestis. Saartel tekib püsiv lumikate tavaliselt alles jaanuari kuu keskpaiku, ehk umbes kuu aega hiljem kui kõrgustikel. Enamikel aastatel aga ei moodustu läänepoolsematel saartel püsivat lumikate üldse. Vilsandi saarel ei teki püsivat lumikate 63 % aastatest. Selle peamiseks põhjuseks on suur sulapäevade arv (Tooming, Kadaja 2006). Püsiva ehk stabiilse lumikate all mõistetakse lumikate, mis on maas olnud juba vähemalt 30 päeva. Sealjuures võib selle perioodi jooksul olla kuni kolm lumeta päeva, mis ei katkesta lumikate ning loetakse selle sisse (Kopanev 1978).

Maapinnale tekkiva lumikate paksus sõltub õhutemperatuuridest, maha sadanud lume kogusest ning ka aluspinnaomadustest ning tuulest. Tuulevaikse ilmaga sadanud lumi moodustab ühtlase paksusega lumekihi. Tuule korral sõltub lume paksus reljeefist ning ka tuuletakistustest. Enamasti on lumekihi paksus ühtlane ka ühte tüüpi metsades, kus ei esine pinnatuisku. Kui tegemist on aga näiteks segametsaga, kus esineb erineva tihedusega kohti, võib lume paksus muutuda paari meetriga mitmekordselt (Tooming, Kadaja 2006).

1.2 Kliimamuutuste mõju lumikatele

1.2.1 Globaalne kliima soojenemine ja lumikate kestuse muutumine

Viimasel kümnendil on olnud Maa pealispind soojem kui alates 1850ndast aastast mistahes kümne aastasel perioodil. Ajavahemikul 1983 kuni 2012 oli usutavalt põhjapoolkera viimase 1400 aasta kõige soojem 30-aastane periood. Viimase kolmekümne aasta jooksul on ülemaailmselt keskmine ookeani ja maapinna temperatuur tõusnud 0,85° C võrra (IPCC 2014).

Tõendeid inimtegevuste mõjust kliimasüsteemile on üha enam seostatud globaalse soojenemisega. Inimeste mõju on täheldatud nii atmosfääri ja ookeani temperatuuride tõusmisel kui ka lumikate kestuse ja jäämasside vähenemisel, mis omakorda on põhjustanud globaalset keskmist meretaseme tõusu (IPCC 2014). Kliimasüsteemi soojenemine on selge ning alates 1950ndatest aastatest on täheldatud mitmeid enneolematuid muutusi võrreldes varasema ajaga. Inimeste mõju ongi tõenäoliselt peamine globaalse soojenemise põhjus alates 20. sajandi keskpaigast. Inimtegevuse mõju on suure tõenäosusega põhjuseks ka liustike taandumisele ning lumikate kestuse vähenemisele põhjapoolkeral alates 1960ndatest aastatest. Kliimasoojenemisest tulenevalt on ajavahemikul 1992-2011 Antarktika ja Gröönimaa jäämass märkimisväärselt vähenenud ning suurema kiirusega on see vähenenud perioodil 2002-2011. Alates aastast 1993 on täheldatud inimeste mõju Gröönimaa pinnase jääkate sulamisel, kuid seda, et Antarktika mandrijää kiirem sulamine oleks tingitud inimtegevusest, pole veel vähese

uurimise tõttu täielikult tõestatud. Jäämasside hoogne sulamine mõjutab on mõjutamas märkimisväärselt äravoolu ning mageveevarusid (IPCC 2014).

On üsna kindel, et põhjapoolkera lumikatte kestus on vähenenud alates 20nda sajandi keskpaigast, ajavahemikul 1967-2012, keskmiselt 1,6 % kümnendi kohta märtsis ja aprillis ning 11,7 % kümnendi kohta juunis (IPCC 2014). Kliimamuutustest tulenevalt on suurtel laiuskraadidel ning kõrgetes piirkondades täheldatud igikeltsa soojenemist ja sulamist 1980ndate algusest saadik. Temperatuuri soojenemise tõttu väheneb igikeltsa paksus ning ulatus erinevatel aladel. Igikeltsa temperatuuri tõus mõjutab maapinnalähedase õhu temperatuuri, millest omakorda on mõjutatud ka maapinna lumega kaetus ning lumikatte kestus. Paljudes piirkondades on lumesadu ning lume ja jää sulamine muutnud hüdroloogilisi süsteeme, mõjutades veevarude kvantiteeti ja kvaliteeti (IPCC 2014).

Prognoositavalt väheneb põhjapoolkera alade kevadine lumikatte kestus 21. sajandi lõpuks sõltuvalt süsihappegaasi protsentuaalsest kogusest õhus, parimal juhul keskmiselt 7 % võrra ning halvimal juhul kuni 25 % võrra (IPCC 2014).

1.2.2 Kliimamuutuste mõju Euroopas

Muutused Euroopa keskmiste temperatuuride osas järgmise 100 aasta jooksul võivad olla alates 2 kraadilisest soojenemisest Suurbritannias kuni 3 kraadilise tõusuni Kesk-Euroopas ja 4-5 kraadilise soojenemiseni põhjapoolsetel aladel ning Vahemere äärsetes piirkondades (Impacts of climate Change on European Forests and Options for Adaptation 2007). Erinevad mudelid näitavad, et temperatuuride soojenemine talvel on kõige suurem Ida-Euroopas ning suvel Lääne- ja Lõuna-Euroopas. Põhja-Euroopas on temperatuuride tõus erinevatel aastaegadel sarnane. Temperatuuri muutustest tulenevalt suureneb keskmine sademete hulk Põhja-Euroopas ning väheneb veelgi Lõuna-Euroopas. Kõrgemad talvised keskmised temperatuurid lühendavad külmunud pinnase perioodi ning lumikatte kestust. (Impacts of climate Change on European Forests and Options for Adaptation 2007).

Mäestike piirkonnad on tänu oma lumikatele ning imelistele vaadetele ühed peamised turismi piirkonnad kogu Euroopas. Prognoositavatel kliimamuutustel on oluline mõju loodusele ning eriti mäestike loodusele, põhjustades erinevaid ohte nii maastikule kui ka inimestele, eriti turismi valdkonnas. Talisport ja turism on üks olulisemaid majandusharusid Alpides ning kliimamuutused ohustavad just seda valdkonda kõige enam (Amelung, Moreno 2009). Viimase sajandi jooksul on keskmine temperatuur Alpides tõusnud ligikaudu 1,5 kraadi, mis on kaks korda rohkem kui keskmiselt ülemaailmselt. Temperatuuri soojenemist on täheldatud kõigil

kõrgustel, rohkem aga kõrgemates piirkondades (Impacts of climate Change on European Forests and Options for Adaptation 2007). Temperatuuri soojenemine mõjutab nii loodusliku lume paksust ja püsivust kui ka kunstlume tootmist, eriti piirkondi, kus looduslik lumikate pole püsiv ja kus kunstlumel on oluline osa radade lumega kaetusel. Praegu töötavad kuues peamises riigis (Austria, Prantsusmaa, Saksamaa, Itaalia, Sloveenia ja Šveits) asuvatest suusakuurortidest üle 90 % loodusliku lumega (609 kuurortit 666-st). Prognoositav simulatsioon näitab aga, et 1 kraadiline temperatuuri kasv võib vähendada looduslikul lumel kestvaid suusakeskusi 500-ni; temperatuuri tõus 2 kraadi, vähendaks keskusi 404-ni, kuid 4 kraadilise soojenemise tagajärjel suudaksid loodusliku lumega edasi tegutseda vaid 200 suusakeskust. Ilma muutusi tegemata võib loodusliku lume vähenemine mõjutada suuresti töökohti, mis on loodud talvisele turismindusele (Impacts of climate Change on European Forests and Options for Adaptation 2007).

Prantsusmaal läbi viidud 40-ne aastase mõõdistamise tulemused näitavad, et maapinna lumega kaetud päevade arv on ühtlaselt vähenemas, kuigi on olnud ka mõningaid aastaid, mil lumikate on olnud paksem ning püsinud kauem, on need pigem siiski erandid (Amelung, Moreno 2009).

Prantsusmaa Meteoroloogia Instituudis on lumesajud ning lumikatte püsivus võetud suurema uurimise alla ning viimasel 50-ne aastasel perioodil põhinevate vaatlusandmete järgi on arendatud mudel, mis arvutab lumekaetust teiste meteoroloogiliste parameetrite põhjal (maapinna- ja õhutemperatuur, niiskus, tuul jne). Eeldades, et temperatuur tõuseb 1,8°C, sel juhul 1500 meetri kõrgusel olevates vaatlusjaamades lüheneks maapinna lumega kaetud päevade arv, võrreldes praeguste tingimustega, 40 päeva võrra lühemaks (Amelung, Moreno 2009).

Austria lumikatte kestuse seost kliimamuutustega on uurinud Hantel, Ehrendorfer ja Haslinger (2000). Hantel leidis uuringu tulemusena, et lumikatte kestus võib kõige tundlikemates piirkondades väheneda isegi nelja nädala võrra, kui temperatuur tõuseb 1°C. Lumehooaja pikkus on vähem mõjutatud kõrgematel kõrgustel olevates vaatlusjaamades (Amelung, Moreno 2009).

Šveitsi 230 suusakuurortit moodustavad 20 % kogu Euroopa mäekeskustest. Bürki ja teiste uurijate arvates võib praeguste kliimuutuste jätkudes neist keskustest 85 % pidada jätkusuutlikeks. Kui prognoositav lumepiir tõuseks 1500 meetrini, jääks jätkusuutlikuks vaid 63 % mäekeskustest. Juhul kui lumepiir peaks tõusma 1800 meetri kõrgusele merepinnast, suudaks edasi töötada ainult 44 % kõigist Šveitsi suusakuurortidest (Amelung, Moreno 2009).

Varasema lume sulamisega võib kaasneda aga põudade tõenäosus hilissuvel ja varasügisel. Üldiselt mõjutavad kliimamuutused kõiki piirkondi omamoodi erinevalt ning kliima soojenemise tagajärgedega tuleb arvestada. Lume sulamisest ning sademete rohkusest tulenevad ekstreemsemad ning sagedasemad üleujutused võivad kahjustada lisaks metsadele ja põllumaadele ka hüdroenergia infrastruktuuri. (Impacts of climate Change on European Forests and Options for Adaptation 2007). Probleemid võivad tekkida ka paljudes Euroopa linnades, mis on ehitatud jõgede äärde ning on mõjutatud tugevatest sadudest ja suuresti ka lume sulamistest. (Clima 2013). Ootamatud veetaseme tõusud on ohtlikud, sest võivad põhjustada suuri üleujutusi (European Commission 2013).

1.2.3 Kliimamuutuste mõju Läänemere regioonis

Lumesajud esinevad Läänemere regioonis igal talvel ning selle tõttu esineb hooajaline lumikate ka Läänemere ümber asuvates riikides. Lumikatte kestus on kõige lühem Läänemerd edelast piiravates riikides. Lumi moodustab 10–60 % Läänemere maade sademetest, mõjutades sellega märkimisväärselt äravoolu ning on üks peamisi üleujutuste põhjuseid. Lumikatte kestus Läänemere regioonis varieerub keskmiselt mõnest päevast Skandinaavia läänepoolses otsas kuni 7 või 8 kuuni põhjapoolsetel aladel (Helcom 2007).

Lumikatte kestuse ja selle veervarude vähenemisi viimastel kümnenditel, just lõunapoolsetel aladel, on näidanud mitmed uuringud (Helcom 2007). Samas kui Skandinaavia kõrgustikes on sademete hulk olnud suurem ning kõrgematest temperatuuridest sõltumata, on lumikate muutunud paksemaks. Soome lõuna- ja läänepoolsetel aladel on ajavahemikul 1946–2001 temperatuuride tõusmisega intensiivistunud talvisel ajal lume sulamine. Samal ajal Ida- ning Põhja-Soomes on lumenäitajad tõusnud. Ka Rootsis on muutunud lumikate sarnaselt Soomele ja Norrale, kus põhjas on lund rohkem ja lõunas on lumikate õhem (Helcom 2007).

Baltikum, mis asub Põhja-Atlandi merelise ja Euraasia kontinentaalse kliimavaldkonna piirialal, kujutab endast väga muutlike tingimustega piirkonda, mis eriti tundlikult reageerib globaalsetele kliimamuutustele (Ševkunova *et al.* 1999). Läti ja Leedu lumikatte kestuse vähenemist on märgatud viimase viie kuni seitsme kümnendi jooksul. Poolas on lumikatte kestuse vähenev trend olnud kuni 4 päeva kümne aasta kohta ning lumikatte paksus on mõningates kohtades vähenenud kuni 13 cm kümnendi kohta, alates 20. sajandi teisest poolest (Helcom 2007).

Lumikatet on Eestis meteoroloogilises vaatlusvõrgus mõõdetud enam kui 100 aasta jooksul. Igakuised lumikatte kestuse ja paksuse andmed esinevad meteoroloogilistes kuukirjades siiski

alates 1961. aastast. Uuemad andmed lumikatte kohta on kogutud juba digitaalselt Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi andmebaasi. Lumikate on oluline kliimanäitaja, mis on Eestis üks paremini talvetingimusi kirjeldav nähtus. Eesti asub klimatoloogiliselt väga huvitavas ning samas väga uuritavas piirkonnas, sest meie kliima on väga mitmekesine. Juba ainult 200-300 kilomeetriga toimuvad märgatavad kliimaatilised muutused, sest kliima muutub mereliselt kontinentaalseks. Eriti suur on kliimaatiline mõju Eestis just talvisel ajal. Keskmine talvine õhutemperatuuride erinevus on üle 5 kraadi, Mandri-Eestis $-7,6^{\circ}\text{C}$ ning Ranniku-Eestis $-2,5^{\circ}\text{C}$ (Tooming, Kadaja 1995). Lumikate püsib Eestis olenevalt aastast ja asupaigast 30-140 päeva. Pikaajalise keskmisena püsib lumi umbes 90 päeva rannikul, 100 päeva lauskmaal ja 110 päeva kõrgustikel (Frey 1998). Lumikatte erinevust aastati on mõjutanud hilistalvine lumikatte albeedo. Lumikatte albeedo näitab, kui suurel hulgal peegeldatakse tagasi päikeselt pealelangevat kiirgust või kui palju neeldub maapinnal. Talved on väga erinevad ning seetõttu on Eestis esinenud aastaid, mil maa on kaetud lumega aprilli lõpuni, samas on olnud ka talvi, mil stabiilne lumikate aga puudub. (Tooming, Kadaja 1999) Aasta aastalt on uuritud lumikatte ja lume albeedo vahelisi seoseid ja muutusi. Lumikatte kestus vähenes ajavahemikus 1950-1990 17 päeva võrra. Mõnel alal Eestis on see vähenenud lausa 22 päeva võrra (Tooming, Kadaja 1995). Kõige enam on lumikatte kestus vähenenud just rannikualadel ning eriti saartel (Jaagus 1996). Lisaks on varasemate uurimuste järgi täheldatud, et lumikatte kestus on vähenenud märgatavalt ka Kesk-Eestis. Uuringute kohaselt on peamiselt ajavahemikul 1961-2001 lumikatte paksus ja selle veevaru vähenenud kõige enam veebruaris. Paljuski sõltub lumikatte albeedo õhu- ja maapinna temperatuurist - mida külmem ilm, seda rohkem on maapind kaetud lumega ja seda kõrgem on albeedo. Kui aga temperatuur tõuseb, siis selle tulemusel lumi sulab ning ka albeedo väheneb (Tooming, Kadaja 1995).

Vastavalt temperatuuri muutustele näitavad prognoosid, et keskmine lumikatte paksus on vähenemas kogu Põhja-Euroopas. Põhjapoolsematel aladel võivad küll muutused olla väiksemad kui Läänemere regiooni lõunaaladel. Tuleviku simulatsioonid näitavad lumehooaja lühenemist. Taanis, Saksamaal, Poolas ja paljudel aladel Baltimaades, kus ka praegu on lumikatte paksus küllaltki õhuke, võib tulevikus üldse püsiv lumikate puududa. Kliimamuutustest tulenevalt lumikatte paksus aina väheneb ning lumi sulab kliima soojenemise tõttu üha varem. Tänu õhemale lumikattele, lühemale lumikatte kestusele ja tihedamatele sulamisperioodidele väheneb ka kevadise suurvee intensiivsus ning üleujutuste oht Balti riikides (Helcom 2007).

2. Mõõtmised

2.1 Lumikatte mõõtmine

Üldiselt ladestub lumi maapinnale ebaühtlaselt ning seepärast mõõdetakse seda ja hinnatakse selle omadusi nii meteoroloogiajaama vahetus läheduses statsionaarsel mõõtmisel kui ka jaama ümbruses marsruutmõõtmisel. Lumikatte statsionaarne mõõtmine toimub Eesti meteoroloogia- ja hüdroloogiajaamades ning sademete mõõtejaamades kord päevas, hommikul kell 8 talveaja järgi. Mõõdetakse lumikatte paksust, hinnatakse vaatlusjaama ümbruse lumega kaetuse astet, ladestuse iseloomu ning lume seisundit. Lumikatte paksust mõõdetakse sentimeetrites maapinnast lumikatte pinnani kolme lumelati juures ning nende mõõtmiste järgi leitakse keskmine lume paksus. Vaatlusjaama ümbruse kaetust hinnatakse 10-palli skaalas – kui kogu ümbrus on kaetud lumega, on kaetuse aste 10 palli, kui lume all on pool nähtavast alast, on kaetus 5 palli. Kui aga lund on näha vaid mõningate üksikute laikudena ning need moodustavad kogu nähtavast alast tühise osa, siis märgitakse kaetuseks 0 palli. Kui lumega kaetuse aste on 6 või rohkem palli, siis määratakse ka lumikatte ladestuse iseloom: kas lumi on ühtlaselt jaotunud või hangedena, milline on pinnas lume all jm. Lisaks määratakse ka lume seisundi iseloom: kohev, niiske, tolmjäs vms. Igapäevaste lume keskmise paksuse ja kaetuse andmete alusel arvutatakse dekaadi ja kuu keskmine lume paksus ja lumikattega päevade arv (Tammemets 2008).

2.2 Marsruutvaatlused

Lumikatte marsruutvaatlused on vaatlused, mis viiakse läbi kindlates kohtades teatud pikkusega marsruutidel. Marsruutvaatluste rada valitakse enne talve saabumist ning see ei tohi asuda vaatlusjaamast või postist enam kui 5 kilomeetri kaugusel (Tooming, Kadaja 2006). Valitud lumemarsruut on iseloomulik ümbritsevale alale ja sellel ei tohiks olla muudatusi, mis avaldavad mõju lumikatte ladestusele (nt. hoonete ehitamine, teede rajamine, metsa istutamine või mahavõtmine), vastasel juhul valitakse uus marsruut (Tammemets 2008). Lisaks peab valitud rada asuma asustatud aladest, maanteedest ja raudteetammidest vähemalt poole kilomeetri kaugusel. Marsruutvaatluste puhul valitakse alati üks marsruut põllul ning teine metsas. Vaatlusel kasutatakse lumepaksuse määramiseks kaasaskantavat lumelatti ning lumikatte paksust mõõdetakse metsamarsruudil iga 10 meetri ning põldudel iga 20 meetri järealt. Metsades läbiviidava vaatluse teekonna pikkuseks on 500 meetrit, mis jaguneb kahte ossa – üks paikneb puude võrastiku all, teine aga metsalagendikul (Tooming, Kadaja 2006). Metsamarsruut peab algama vähemalt 100 meetri kauguselt metsaservast ning asuma antud

metsale iseloomulikus kohas (Tammemets 2008). Sirgjooneline põlluvaatlus tuleb läbi viia väikestel põldudel vähemalt 1000 meetri pikkusel ning suurtel lagedatel aladel olevatel põldudel 2000 meetri pikkusel marsruudil. Kui sirgjoonelist marsruuti pole võimalik koostada, on lubatud muuta suunda nürinurga võrra (Tooming, Kadaja 2006). Lume mõõdistamisega alustatakse siis, kui üle poole meteoroloogiajaama ümbrusest on lumega kaetud. Seda tehakse kindlaks määratud tähtaegadel, enamasti kord dekaadis, kevadtalvel ka tihedamini (Tammemets 2008).

Kuigi marsruutvaatluste korral mõõdetakse lumikatte parameetreid vähemates vaatluskohtades kui alalistel vaatlusväljakutel, on siiski korduste arv marsruutvaatluste korral oluliselt suurem. Mõõtmiste arv metsades on 50 ning põldudel 50–100 (Tooming, Kadaja 2006). Üksikmõõtmistel saadud tulemustest arvutatakse hiljem keskmine. Keskmiste leidmisel arvestatakse sisse ka lumeta perioodid, mil lumikatte puudub, märkides need võrdseks nulliga. Kui ollakse huvitatud lumikatte keskmisest paksusest, võttes arvesse ka selle puudumise, on kindlasti sobivamad just marsruutvaatluste tulemused. Lisaks viiakse marsruutvaatlused läbi palju suurema pindalaga aladel ning sellest tulenevalt võib neid andmeid pidada oluliselt täpsemaks kui alalistelt vaatlusväljakutelt saadud andmeid. Lumikatte paksust mõõdetakse põldudel enamasti iga kuu 10ndal, 20ndal kuupäeval ning kuu viimasel päeval. Kevadisel perioodil, mil lumi hakkab sulama (enamasti alates 15ndast veebruarist, külmematel talvedel alates 1. märtsist) viiakse marsruutvaatlused läbi iga viie päeva järel. Marsruutmõõtmisel määratakse lumikatte paksus, lume tihedus, lume veevaru, lumega kaetuse aste marsruudil ja selle ümbruses, lumikatte ladestuse iseloom ning maapinna seisund marsruudil. Lume tihedust mõõdetakse ainult marsruutvaatlusel ja seda koos lume kõrgusega põllul 10 punktis ja metsamarsruudil 5–7 punktis. Tiheduse määramiseks kasutatakse lumekaalu. Mõõtmistulemustest leitakse lume keskmine tihedus (g/cm^3) eraldi põllu ja metsa jaoks (Tooming, Kadaja 2006). Lume tiheduse leidmiseks määratakse lumekaalu abil mitmes korduses lume vertikaalsamba massi suhe tema ruumalasse. Enamasti koosneb lumikate erinevatest kihtidest. Veega küllastunud lumekihi, lumest sulanud veekihi ja jääkooriku paksus mõõdetakse eraldi, tiheduseks arvestatakse veekihil $1,0\text{g/cm}^3$ ning jääkoorikul ja veega küllastunud lumekihil $0,8\text{g/cm}^3$. Kokkuvõtteks saadakse lumikatte veevaru. Neid andmeid saab kasutada lumikatte koormuse määramisel, põllu kevadiste veevarude hindamisel ning ka teistel eesmärkidel. Lume tihedust mõõdetakse, kui lumekihi paksus on 5 cm või rohkem (Tammemets 2008).

3. Andmete kogumine ja metoodika

Uurimistöös võrreldaks viimase 23 aasta talvesid, ehk 1992/1993 aastast kuni 2014/2015 aasta talve lõpuni. Töös käsitletakse igal aastal viie kuulist perioodi novembrist märtsi lõpuni. Kuigi oli mõningaid aastaid, mil lumikatet esines ka oktoobris ja aprillis, on need siiski küllaltki haruldased ning polnud mõistlik uurimistöös analüüsitava perioodi kaasata. Bakalaureusetöös on võrdlusesse võetud marsruutvaatlustel mõõdetud keskmine, maksimaalne ja minimaalne lumikatte paksus. Lisaks ka marsruudi hinnanguline kaetus 10 palli süsteemis, kirjeldamaks maapinna lumega kaetust.

Bakalaureusetöös on võrreldud 11 erineva vaatlusjaama juures tehtud marsruutvaatluste andmeid. Vaatlusjaamade paiknemise kaart on näitena lisades, lisa 1. (Eesti meteoroloogiajaamade vaatlusvõrk). Avatud põllumarsruutidel viidi mõõtmised läbi Jõgeva, Jõhvi, Nigula ning Väike-Maarja vaatlusjaamade läheduses. Poolavatud põllumarsruutidel toimusid mõõtmised Kuusiku, Türi, Valga, Viljandi ja Võru vaatlusjaamade ümbruses. Poolavatud metsamarsruudil tehti mõõtmised Tiirikoja vaatlusjaama läheduses. Lisaks on töös uuritud 1992-1996. aastal Tartu-Ülenurme ja 1997-2015. aastal Tartu-Tõravere vaatlusjaamades läbiviidud avatud põllumarsruutide mõõtmistulemusi. Selleks, et uurimistulemustest peegelduks lumikatte näitajate varieeruvus, võeti bakalaureusetöö võrdlusesse võimalikult paljudes erinevates Eesti paikades läbiviidud marsruutvaatluste tulemused.

Kuigi algandmetes oli mõõtmisi tehtud 16 erineva vaatlusjaama juures ning Türi vaatlusjaamas nii metsa- kui ka põllumarsruudil, tuli mõningad mõõtmistulemused uurimistööst välja jätta. Esimesena jäi välja Kunda vaatlusjaam, sest Kundas oli mõõtmisi tehtud kuni 2005. aastani. Bakalaureusetöös ei saanud arvestada ka Narva ja Narva-Jõesuu marsruutvaatluste tulemusi, sest kuni 2000. aastani oli vaatlusjaam Narvas ning hiljem Narva-Jõesuus. Narvas oli marsruut põllul, kuid Narva-Jõesuus viidi läbi marsruutvaatlus metsas ning nende tulemuste liitmine poleks olnud mõttekas. Lisaks ei saanud arvestada ka Virtsu vaatlusjaama läheduses tehtud mõõtmisi, sest ka seal viidi marsruutvaatlusi läbi kuni 2005. aastani. Lõpuks jäid tööst välja Türi metsamarsruudil tehtud mõõtmised, mida viidi läbi kuni 2002. aastani.

Peamiselt lumevaestest talvedest tulenevalt olid marsruutvaatluste mõõtmistulemused lünklikud ning korrektsete uurimistulemuste saamiseks tuli teha mõningaid muudatusi ja täiustusi. Tabelites lünkade täitmisel võrreldi kõigepealt eelmise ja järgmise mõõtmispäeva näite, seejärel kontrolliti ööpäeva keskmist temperatuuri. Lisaks võrreldi veel lähimate ja sarnaste vaatlusjaamade marsruutvaatluste andmeid. Kui võrdluste põhjal selgus, et antud

päeval pidi siiski lumikatte antud marsruudil esinema, märgiti tabelisse vaatlusjaama püsilatilt mõõdetud näit, tabelites on täiendused märgitud sinisega (Lisa 2).

Kuna viimaste aastate vaatluste läbiviimiseks kinnitati eeskiri, et vaatlust ei viida läbi, kui hinnatav üldine lumikatte paksus on alla 5 cm, olid enamikes jaamades 2013/2014 ja 2014/2015 talvede mõõtmised väga lünklikud ning mõningates jaamades mõõtmistulemused täiesti puudusid. Selleks, et arvestada uurimistöösse ka viimased talved, täideti tabel vastavate vaatlusjaamade püsilati näitude järgi.

Oli ka erandeid, kus oli selgelt näha eelmise ja järgmise vaatlustulemuse ning ööpäevaste keskmiste temperatuuride järgi, et vaatlusplatsil mõõdetud tulemus oli kas liiga kõrge või väike. Sellistes olukordades arvutati lumepaksuse keskmine.

Lumikatte marsruutmõõtmiste andmed (lumikatte paksus ja lumega kaetus) kõigis Eesti ilmajaamades alates talvest 1992/1993 saadi Keskkonnaagentuurilt (KAUR). Ühel näidis marsruutvaatlusel osales ka uurimistöö koostaja. Marsruutvaatlustel Eestis mõõdetakse lumikatte keskmist, maksimaalset ja minimaalset paksust; jääkooriku olemasolul jääkooriku keskmist paksust. Veel hinnatakse üldist ümbruse ja marsruudi lumega kaetust pallides ning lisaks tehakse lumikatte ladestuse ja lumikatte iseloomustus. Selleks, et arvutada lume keskmine tihedus, tuleb ka iga mõõtmispunkti juures kaaluda teatud anuma täis lund. Kui on tarvis, mõõdetakse ka veega küllastunud lumekihi paksus ning sulaveekihi paksus. Hiljem leitakse arvutuste teel lume veevaru ning üldine veevaru (EMHI Ilmavaatlusosakond 2005).

Võrreldavate näitajate jaoks, milleks on lumikatte keskmine, maksimaalne ja minimaalne paksus ning lumikatte hinnanguline kaetus, koostati eraldi tabelid 23 talve võrdluseks viie kuulisel perioodil (Lisa 2, 3, 4, 5). Töö käigus leiti arvutuste teel lumikatte keskmise paksuse tabelist mõõtmispäevade keskmised ja maksimaalsed näitajad ning lisaks nii mediaan kui ka standardhälve. Maksimaalse ning minimaalse lumikatte paksuse tabelite abil leiti mõõtmispäevade maksimaalsed tulemused. Lisaks koostati maksimaalse ja minimaalse lume paksuse mõõtmistulemuste vahest tabel, mis kajastab igal talvel lumikatte paksuse amplituudi mõõtmispäevade kaupa (Lisa 6). Amplituudi tabeli abil leiti mõõtmispäevade keskmine ja maksimaalne amplituud. Kaetuse tabeli abil arvutati protsentuaalselt mõõtmiskuupäevade keskmine lumikatte olemasolu, arvestades vaid mõõtepäevi, mil hinnanguline kaetus oli vähemalt 6 palli (Tabel 3). Viimaseks leiti eraldi ka iga talve keskmine lume kaetus kõigi marsruutide keskmiste põhjal (Tabel 5).

4. Tulemused

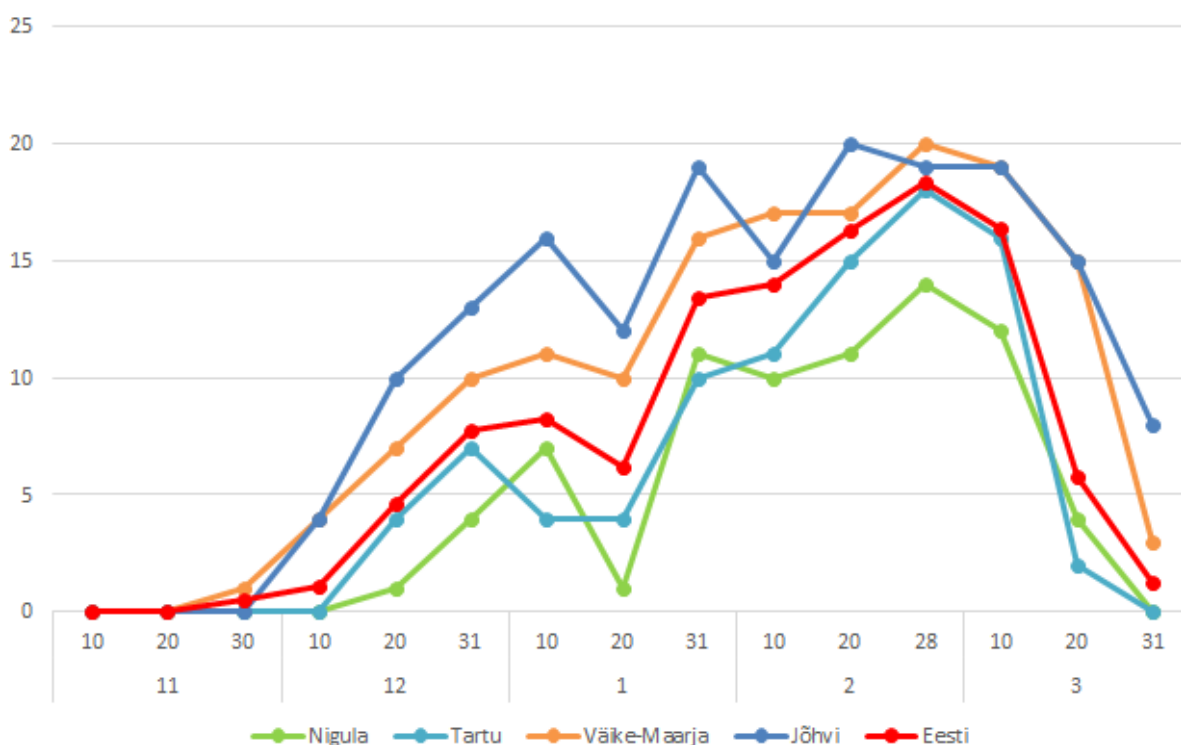
4.1 Lumikatte paksuse sesoonne muutumine

Erinevate vaatlusjaamade läheduses läbi viidud marsruutvaatluste tulemused peegeldavad lumikatte paksuse ja kestuse iseloomu Eestis. Lumikatte keskmised paksused on kõrgemad just piirkondades, kus esineb kõige enam lumega kaetud päevi. Dekaadide kaupa välja toodud iga jaama keskmistest mõõtmistulemustest on leitud mediaanid (Tabel 1) ning üle Eesti paiknevate mõningate vaatlusjaamade marsruutide mõõdistamise tulemused on kajastatud joonisel 1.

Töös käsitletud perioodi jooksul esines nii novembri esimesel, teisel kui ka kolmandal dekaadil lund harva ning püsivat lumikatet üldiselt ei tekkinud. Detsembrikuu esimeste mõõtmiste ajaks oli enamikel talvedel lumi maha sadanud Pandivere kõrgustikul Väike-Maarjas ning ka Ida-Virumaal Jõhvis. Ülejäänud marsruutidel enamasti lumikate puudus või oli see väga õhuke. Detsembri teiseks dekaadiks on üldjuhul Eesti kaetud juba valge kattega. Alates detsembri teisest dekaadist on lumikate töös vaadeldud perioodi jooksul kõige paksem Jõhvis ja ka Väike-Maarjas, kus püsiv lumikate tekib ka kõige varem. Püsiv lumikate tekib kõige hiljem ning on kõige õhem Lääne-Eestis. Uurimistöös käsitletud marsruutvaatluste andmete põhjal on just Nigulas ning Kuusikus läbi viidud lume paksuse mõõtmiste tulemused kõige väiksemad. Kõikide marsruutide vaatlusandmete puhul joonistub välja, et vana-aasta lõpuks ning jaanuari esimeseks dekaadiks on sadanud küllaltki palju lund, kuid siis 20ndaks jaanuariks on lumikate sulanud õhemaks ning seejärel uuesti jaanuari viimaseks päevaks järsult tõusnud. Mõningaid lume sulamisi võib täheldada ka veebruari teisel dekaadil, kuid üldiselt tõuseb lumikatte paksus kõigil marsruutidel talve teisel poolel. Maksimaalsed lumepaksused esinevad veebruari viimastel päevadel. Alates märtsi esimesest dekaadist, kui õhutemperatuur hakkab tasapisi kasvama ning sulapäevi on üha enam, langeb ka keskmise lumepaksuse mediaan. Märtsi keskpaigaks ning teiseks dekaadiks on õhutemperatuur juba niivõrd kõrge, et lume paksus väheneb erinevates piirkondades kuni kaheksa korda. Erandlikud on aga Jõhvi ja Väike-Maarja marsruudid, kus nii nagu ka talve esimesel poolel, on lume paksus teistest piirkondades neli korda paksem. Sulamisprotsess toimub aeglasemalt ka Tiirikoja metsamarsruudil ning õhuke lumikate esineb nii seal kui ka Jõhvis ja Jõgeval enamikel märtsikuu viimastel päevadel.

Tabel 1. Lumikatte keskmiste paksuste mediaanid (cm).

Kuu	11			12			1			2			3		
	November			Detsember			Jaanuar			Veebruar			Märts		
Kuupäev	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
Jõgeva	0	0	2	1	4	11	9	5	12	14	14	16	17	3	0
Jõhvi	0	0	0	4	10	13	16	12	19	15	20	19	19	15	8
Kuusiku	0	0	0	0	1	2	4	3	12	11	12	17	15	4	0
Nigula	0	0	0	0	1	4	7	1	11	10	11	14	12	4	0
Tartu	0	0	0	0	4	7	4	4	10	11	15	18	16	2	0
Tiirikoja	0	0	1	1	5	6	7	8	12	13	17	18	16	7	3
Türi	0	0	2	1	2	6	8	3	13	15	18	17	13	3	0
Valga	0	0	0	0	7	11	9	9	13	16	20	22	18	4	0
Viljandi	0	0	0	0	6	11	9	6	16	17	18	21	17	3	0
Võru	0	0	0	1	4	4	7	7	14	15	17	20	18	4	0
Väike- Maarja	0	0	1	4	7	10	11	10	16	17	17	20	19	15	3
Keskmine	0,0	0,0	0,5	1,1	4,6	7,7	8,3	6,2	13,5	14,0	16,3	18,4	16,4	5,8	1,3



Joonis 1. Lumikatte keskmiste paksuste mediaanide muutlikkus (cm) vaatluspäevade kaupa.

4.2 Keskmiste lume paksuste maksimaalsete väärtuste muutused

Lumikatte maksimaalsed paksused sõltuvad suuresti nii marsruudi paiknemisest kui ka ilmastikuoludest. Eesti kõigi aegade paksem lumikate (dekaadi keskmine) 104 cm on mõõdetud 1924. aasta veebruaris Tallinnas. Meteoroloogiaväljakute kõige paksem kuu keskmine lumikate 77 cm mõõdeti 1966. aasta veebruaris Kundas ning põllumarsruutmõõtmisel on saadud kuu keskmiseks maksimaalseks lume paksuseks ka 77 cm, 1988. aasta detsembris Haanjas (Tammemets 2008).

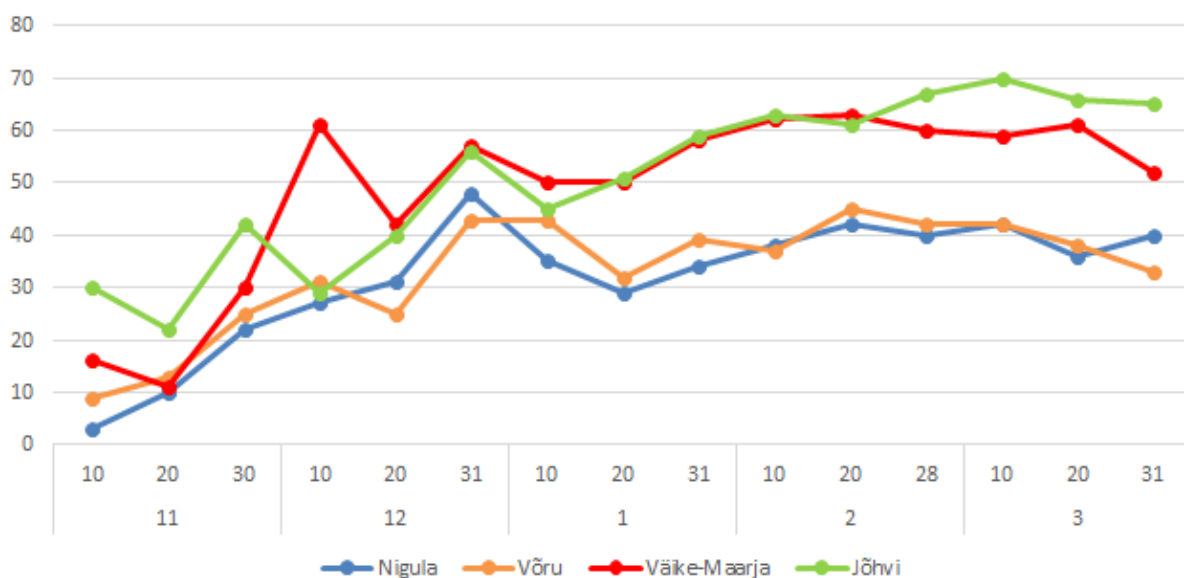
Uurimistöös käsitletud viimase 23 talve keskmise lume paksuse marsruudi maksimaalseks tulemuseks mõõdeti 70 cm Jõhvi avatud põllumarsruudil. See tulemus mõõdeti 10ndal märtsil 2011. aastal. Marsruudi maksimaalseks tulemuseks mõõdeti aga samal päeval lausa 85 cm. Samal ajal mõõdeti Võru vaatlusjaama marsruudi keskmiseks võrreldes Jõhviga poole vähem ehk 35 cm. Võrreldava ajaperioodi kõikide jaamade maksimaalsete keskmiste tulemuste järgi tuleb aga välja, et kõige paksem on lumi veebruari teisel dekaadil (Tabel 2).

Tabel 2. Keskmiste lume paksuste maksimaalsed väärtused (cm).

Kuu	11			12			1			2			3		
	November			Detsember			Jaanuar			Veebruar			Märts		
Kuupäev	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
Jõgeva	12	9	17	35	39	53	49	55	53	52	53	53	55	54	50
Jõhvi	30	22	42	29	40	56	45	51	59	63	61	67	70	66	65
Kuusiku	4	10	18	24	35	47	43	43	42	49	51	48	49	42	45
Nigula	3	10	22	27	31	48	35	29	34	38	42	40	42	36	40
Tartu	10	12	26	45	32	53	43	45	45	43	48	43	42	40	42
Tiirikoja	14	12	16	44	34	59	41	42	46	51	51	49	48	45	34
Türi	10	14	27	52	44	56	47	46	48	54	54	52	51	50	48
Valga	8	11	23	34	30	45	42	40	43	41	55	47	43	42	32
Viljandi	10	7	27	51	38	54	45	43	46	48	56	56	54	48	39
Võru	9	13	25	31	25	43	43	32	39	37	45	42	42	38	33
Väike-Maarja	16	11	30	61	42	57	50	50	58	62	63	60	59	61	52
Keskmine	11,5	11,9	24,8	39,4	35,5	51,9	43,9	43,3	46,6	48,9	52,6	50,64	50,5	47,5	43,6

Maksimaalne keskmine lume paksus on kõige väiksem novembri esimesel ja teisel dekaadil. Kui ülejäänud jaamade marsruutidel on novembri esimestel dekaadidel keskmiste paksuste maksimaalsed tulemused jäänud 10 cm ümber, siis Jõhvis on olnud 1998. aasta 10ndal novembril marsruudi keskmine lume paksus koguni 30 cm. Detsembri esimese dekaadi

keskmist tõstab kindlasti kõrgemaks lumerohke 2010/2011 talv, mil 10ndal detsembril 2010 mõõdeti väga suured keskmised paksused (nt: Väike-Maarjas 61 cm, Türil 52 cm ja Viljandis 51 cm). Tavaliselt siiski talve esimesel poolel nii paksu lumikatte maha ei saja. Läbi aastate on keskmine lume paksus olnud ka kõrge detsembri viimastel päevadel, kui erinevates paikades üle Eesti on mõõdetud ligi 60 cm paksune lumekiht. Keskmiste paksuste mediaanist ja ka keskmiste paksuste maksimaalsest väärtustest on näha, et jaanuari esimesel ja teisel dekaadil on uuritava perioodil lumikatte olnud õhem kui detsembri lõpus ning sellest tulenevalt on ka maksimaalsed paksused väiksemad (Joonis 2). Jaanuari viimastel päevadel ning veebruari alguses keskmise lume paksuse maksimaalsed väärtused marsruudil taas tõusevad ning veebruari teise dekaadi lõpus toimuva mõõtmise ajaks on lumikatte paksus tõusnud talvise maksimumini, ulatudes lumerohketel aastatel enamikel marsruutidel üle 50 cm ning Jõhvis ja Väike-Maarjas isegi üle 60 cm kogu marsruudi keskmisena. Veebruari lõpus ning märtsi esimesel dekaadil pole veel suurt lumikatte paksuste langemist märgata, kuid märtsi lõpuks on marsruutide keskmiste paksuste maksimaalsed tulemused langenud võrreldes veebruari keskpaigaga umbes 10 cm. Üksikutel marsruutidel nagu näiteks Viljandis ja Valgas on langenud maksimaalsed paksused isegi 20 cm võrra, kuid Jõhvis, kus lumi sulab tavaliselt hiljem, on talve kõrgemad maksimaalsed tulemused mõõdetud just alles märtsis.



Joonis 2. Keskmiste lume paksuste maksimaalsete väärtuste muutlikkus (cm) vaatluspäevade kaupa.

4.3 Marsruutide hinnangulise lume kaetuse erinevused

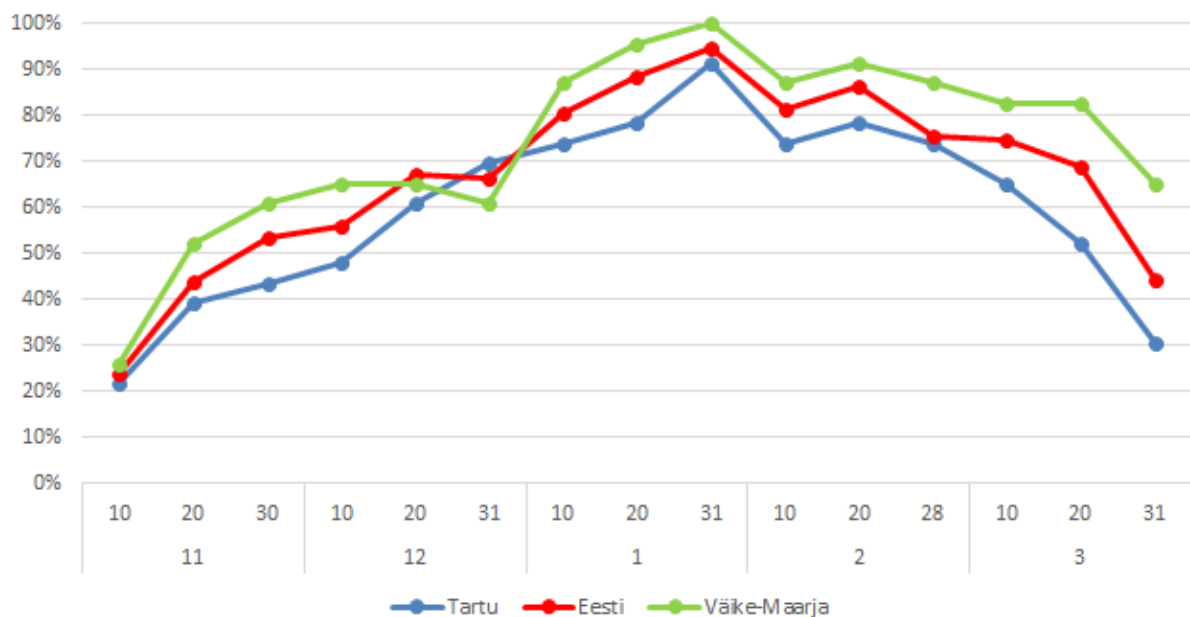
Lumikatte kaetust marsruudil märgiti hinnanguliselt 10-palli süsteemis. Koostatud tabelleid analüüsid selgus, et vähem kui neljandikul talvedest esines lund novembri esimesel dekaadil (Tabel 3). Enim (35 % talvedest) oli lumega kaetud Jõgeva marsruut ning kõige harvemini (17 % talvedest) esines lumikatte novembri alguses Lääne-Eestis Nigula marsruudil. Soojade merehoovuste tõttu tekibki lumikatte Eesti läänepoolses küljeosas hiljem. Novembri teisel dekaadil esines lumikatte peaaegu kaks korda enam talvedel kui novembri esimesel dekaadil. Novembrikuu viimastel päevadel kattis maapinda lumi üle-eestiliselt, vaadeldava perioodi jooksul, juba enam kui pooltel talvedel ning kõige sagedamini (65 % talvedest) esines lund Jõhvi marsruudil. Detsembri esimesel dekaadil, võrreldes novembri lõpuga, kaetuses suuri muutusi ei ilmne, teiseks dekaadiks on aga keskmiselt lumikatte esinenud 67 % talvedest. Kõige suurem kaetuse vahe detsembri esimesel ja teisel dekaadil ilmneb Valga marsruudil, kui detsembri esimesel vaatlusel esines seal lund keskmiselt 57 % talvedest, siis 20. detsembril oli lumikatte maapinda katmas juba 78 % talvedest (Joonis 3). Detsembri viimaseks päevaks enamasti suuri muutusi kaetuses ei ole.

Kuigi lume paksused jaanuari esimesel ja teisel dekaadil vähenesid, on marsruutide üldine lumega kaetus jaanuari alguseks märgatavalt tõusnud. Üle-eestiliselt esines jaanuari esimesel mõõtmisel lund 81 % talvedest ning teisel mõõtmisel juba 89 % talvedest. Kõige harvem esines lund jaanuari alguses (65 % talvedest) Nigula marsruudil. Jaanuari teisel dekaadil olid 23-st talvest Jõgeva, Jõhvi ja Väike-Maarja marsruudid kaetud lumega 22 mõõtmisel ehk 96 % talvedest. Võrreldes uurimistöös käsitletud talvede lume kaetust, tuleb välja, et kõige enam esines lund jaanuari viimasel dekaadil. Üle-eestiliselt on viimase 23 aasta jooksul jaanuari lõpus lumikatte esinenud 95 % juhtudest. Ligi 30 % suurune kaetuse vahe on aga detsembri lõpus esinenud lumikattega ning 20 % suurune vahe kuu aega hiljem ehk veebruari viimastel päevadel esinenud lume kaetusega. Väike-Maarja marsruut oli aga jaanuari viimasel päeval lumikattega kõigil vaadeldavatel talvedel. Kuigi lumikatte paksuse maksimumid olid suurimad veebruaris ning mõningatel marsruutidel ka märtsis, siis üle-eestiliselt on lumega kaetus jaanuari lõpust peamiselt juba langevas trendis. Veebruari esimesel dekaadil on esinenud lumikatte keskmiselt 81 % talvedest ning teisel dekaadil 86 % talvedest. Kõige enam esines veebruari teisel dekaadil lund Jõhvi marsruudil (96 % talvedest). Veebruari viimastel päevadel on maapind lumega kaetud erinevatel marsruutidel küllaltki võrdselt (70-78 % talvedest), väljaarvatud Väike-Maarja, kus esines lumikatte 87 % mõõtmistest. Märtsi esimese dekaadi maapinna lumega kaetus on küllaltki sarnane veebruari viimaste päevadega, kuid suuremad muutused on

toimunud 20ndaks märtsiks Viljandi ja Tartu marsruutidel, kus esines lund vastavalt 57 % ja 52 % talvedest. Enam kui 80 % talvedest oli veel püsiv lumikate märtsikuu teisel mõõtmisel Jõhvi, Tiirikoja ja Väike-Maarja marsruutidel. Vaadeldava ajavahemiku viimasel mõõtmisel esines lumikatet keskmiselt 44 % talvedest. Kõige suurem oli muutus võrreldes eelmisel dekaadil toimunud mõõtmisega ning kõige harvem esines lumikatet märtsi viimasel päeval Võru marsruudil. Kui 20ndal märtsil oli maapind lumikatte all 65 % talvedest siis kõigest 11 päeva hiljem vaid 26 % talvedest. Ka Tartu Ülenurme/Tõravere marsruudil esines lund märtsi viimasel päeval vähem kui kolmandikul kordadel mõõtmistest (30 % talvedest). Need tulemused annavad kinnitust sellele seaduspärasusele, et Kagu-Eestis sulab lumi kiiremini ära ning varakevad saabub varem kui Põhja-Eestis. See ei kehti ainult muidugi Kagu-Eesti kõrgustike kohta, kus lumiakte püsib kauem. Kõige pikem on lumikatte kestuse periood Jõhvi, Tiirikoja ja Väike-Maarja marsruutidel, kus esines lumikatet 31. märtsil enam kui 60 % talvedest.

Tabel 3. Marsruutide keskmised lume kaetuste väärtused protsentides.

Kuu	11 November			12 Detsember			1 Jaanuar			2 Veebruar			3 Märts		
	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
Jõgeva	35%	43%	61%	61%	70%	70%	87%	96%	96%	87%	91%	78%	78%	70%	35%
Jõhvi	30%	52%	48%	65%	78%	70%	87%	96%	96%	87%	96%	78%	83%	87%	61%
Kuusiku	17%	52%	52%	52%	57%	70%	83%	87%	96%	83%	87%	78%	78%	74%	48%
Nigula	13%	43%	48%	52%	65%	57%	65%	83%	91%	78%	78%	74%	70%	61%	43%
Tartu	22%	39%	43%	48%	61%	70%	74%	78%	91%	74%	78%	74%	65%	52%	30%
Tiirikoja	26%	43%	57%	52%	74%	65%	83%	91%	96%	83%	91%	78%	78%	83%	61%
Türi	26%	39%	57%	52%	57%	70%	87%	91%	96%	87%	87%	74%	78%	65%	39%
Valga	17%	39%	57%	57%	78%	70%	74%	87%	96%	74%	83%	70%	65%	61%	35%
Viljandi	17%	39%	52%	57%	65%	65%	83%	87%	96%	83%	87%	70%	78%	57%	43%
Võru	30%	39%	52%	52%	70%	65%	78%	83%	91%	74%	78%	70%	65%	65%	26%
Väike-Maarja	26%	52%	61%	65%	65%	61%	87%	96%	100%	87%	91%	87%	83%	83%	65%
Keskmine	24%	44%	53%	56%	67%	66%	81%	89%	95%	81%	86%	75%	75%	69%	44%



Joonis 3. Marsruutide keskmised lume kaetuste muutused

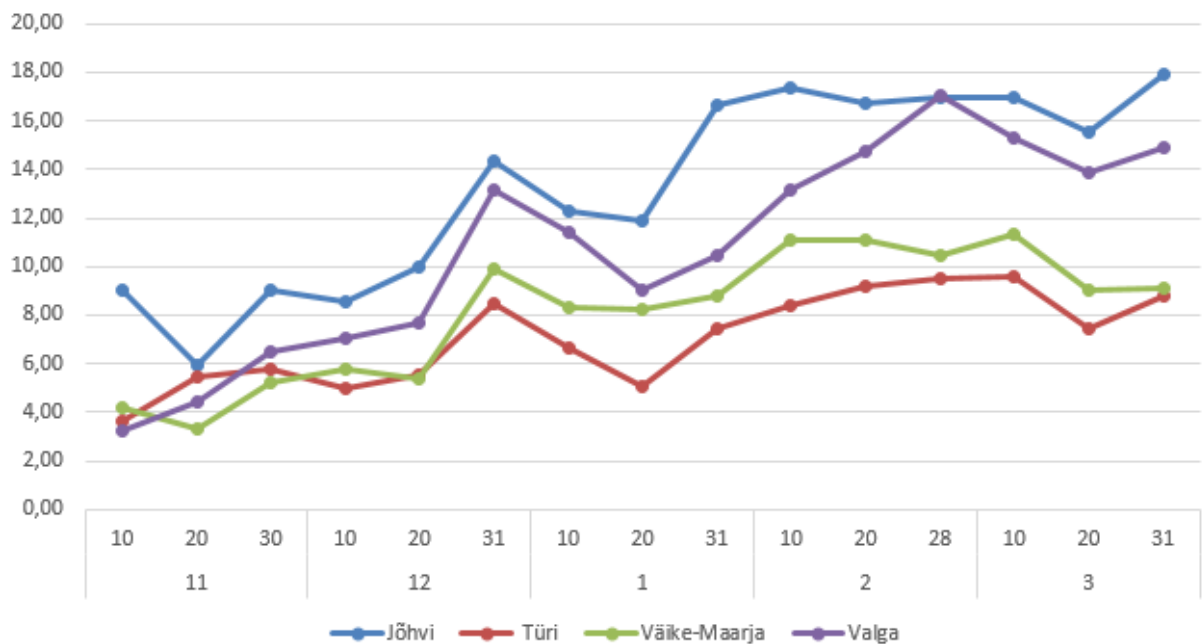
4.4 Lumikatte paksuse amplituudide varieeruvus

Lumikatte paksuse amplituud (maksimaalse ning minimaalse lume paksuse vahe ühe marsruudi jooksul) näitab marsruudi lumega kaetuse varieeruvust ning iseloomustab mõningal määral marsruudi iseärasusi. Kuna Tiirikoja marsruudil tehti lumikatte marsruutvaatlusi talve esimesel poolel iga kuu teisel dekaadil, siis sellest tulenevalt on Tiirikoja lumipaksuse amplituudi näitajad natukene lünklikud (Tabel 4.). Novembri esimesel kahel dekaadil, kui lumikatet marsruutidel esineb vähestel talvedel ning see pole väga paks, siis on amplituudid kõige väiksemad. Üle Eesti on keskmiselt minimaalse ja maksimaalse lume paksuse vahe novembrikuu esimestel mõõtmistel natuke üle 4 cm. Erandlikud on novembri esimesel dekaadil Nigula ja Jõhvi marsruudid. Nigulas on vaadeldava perioodi 10nda novembri keskmine amplituud kõigest 1,25 cm ning Jõhvis ulatub maksimaalse ja minimaalse lume paksuse vaheks keskmiselt 9 cm. Novembri kolmandaks dekaadiks on enamikel marsruutidest amplituud kasvanud ning mõningates jaamades kaks ja Nigula marsruudil isegi ligi kolm korda. Amplituudide suuremat kasvu saab seostada marsruudi keskmise lume paksuse kasvuga, mis samuti tõusis üle-eestiliselt novembri kolmandaks dekaadiks kaks korda (Joonis 1.). Detsembri esimeseks dekaadiks enamasti amplituudis suuri muutusi pole, ainukesena vähenes järsult Nigula marsruudi maksimaalsete ja minimaalsete lumipaksuste vahe. Detsembri teiseks mõõtmiseks on amplituudid kõikjal peale Väike-Maarja kasvanud ning üleüldine keskmine on tõusnud 7,91 cm-ni. Detsembrikuu viimane päev on amplituudi väärtuse poolest talve esimese poole maksimum (Joonis 4.). Lumikatte paksus marsruutidel on tõusnud ning sellest tulenevalt

on ka lume paksuse amplituud tõusnud üle-eestiliselt 11,34-ni. Kõige suurem maksimaalse ning minimaalse lumipaksuse vahe (15,19 cm) on tekkinud Jõgeval ning kõige väiksem on amplituud (8,47 cm) Türil. Jaanuari esimesel ja edasi ka teisel dekaadil on võrreldavate talvede jooksul lumipaksuse amplituud paralleelselt lume paksusega langenud ning seejärel taas tõusnud kuu viimaseks päevaks. Kogu veebruari vältel on enamasti üle-eestiline keskmine amplituud tõusnud. Mõnel marsruudil on veebruaris küll dekaadide vahel ka väikene amplituudi langus olnud, kuid üldine trend on siiski selline, et veebruari lõpuks tekib kõige paksem lumikatte ning ka keskmised amplituudid jõuavad talve maksimumini. Märtsi esimese dekaadi lõpuks suuri muutusi veel pole, kuid teiseks dekaadiks on mõningate vaatlusjaamade marsruutidel maksimaalse ja minimaalse lumikatte paksuse vahe vähenenud kuni kolmandiku võrra. Kuu viimaseks päevaks pole üldine keskmine palju muutunud, kuid marsruudid jagunevad kaheks. Pooltelt marsruutidel on amplituud märtsikuu viimase mõõtmise ajaks tavaliselt tõusnud ja pooltel langenud. Selline olukord on tingitud marsruutide lumikatte erinevast sulamisest. Mõnel marsruudil sulab lumi ühtlasemalt ning teistel jällegi ebahühtlasemalt.

Tabel 4. Lumikatte paksuse keskmised amplituudid (cm).

Kuu	11 November			12 Detsember			1 Jaanuar			2 Veebruar			3 Märts		
	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
Jõgeva	6,6	5,5	8,4	9,1	11,2	15,2	10,3	9,3	11,5	11,0	12,5	12,6	14,6	11,3	15,9
Jõhvi	9,0	5,9	9,0	8,5	9,9	14,3	12,3	11,9	16,6	17,3	16,7	16,9	16,9	15,6	17,9
Kuusiku	2,8	3,4	4,7	7,5	10,3	13,4	9,9	9,4	13,0	12,7	13,0	14,1	14,0	10,1	9,5
Nigula	1,3	3,0	8,2	5,3	6,1	8,5	11,3	6,8	10,1	12,4	15,7	15,8	14,5	14,8	12,8
Tartu	4,8	3,8	7,6	5,4	6,6	9,7	9,4	8,2	10,4	10,5	12,3	13,3	12,2	13,3	9,3
Tiirikoja		5,0			7,2			8,3	9,4	11,3	10,7	10,4	9,7	9,3	10,6
Türi	3,7	5,4	5,8	5,0	5,5	8,5	6,7	5,1	7,4	8,4	9,2	9,5	9,6	7,5	8,8
Valga	3,3	4,4	6,5	7,1	7,7	13,1	11,4	9,0	10,5	13,2	14,7	17,1	15,3	13,8	14,9
Viljandi	3,3	3,8	7,9	6,6	8,9	12,1	8,2	8,6	11,0	10,9	10,9	12,1	11,8	11,4	9,3
Võru	3,3	4,4	4,2	5,8	7,4	8,7	8,1	8,2	8,8	9,3	11,0	10,9	9,9	11,8	9,8
Väike- Maarja	4,2	3,3	5,2	5,8	5,4	9,9	8,3	8,3	8,8	11,1	11,1	10,5	11,3	9,0	9,1
Keskmine	4,2	4,3	6,7	6,6	7,9	11,3	9,6	8,5	10,8	11,7	12,7	13,3	13,0	11,8	11,7



Joonis 4. Lumikatte paksuse keskmised amplituudid.

Lumipaksuste amplituudide erinevused pole eriti seostatavad marsruudi avatusega. Näiteks kogu talve suurimad maksimaalse ja minimaalse lume paksuse vahed olid avatud Jõhvi marsruudil, kus on ka võrreldes ülejäänud vaatlusjaamadega tavaliselt paksem lumikate. Samas üks väiksemaid amplituudide vahesid (talvede keskmiselt ligi 40 % väiksem amplituud võrreldes Jõhviga) oli samuti avatud marsruudil, nimelt Väike-Maarjas, kus ka on tavaliselt lumikatte paksus teistest piirkondadest suurem. Kõige väiksemad maksimaalse ja minimaalse lume paksuse vahed ning kõige ühtlasem amplituudi kõikumine talvede vältel oli Türi poolavatud marsruudil. Siiski tuli välja väike erinevus, et poolavatud marsruutide keskmine amplituud 23 talve jooksul oli 9,0 cm ning avatud marsruutide keskmine 10,3 cm. Niisugust tulemust võib seostada sellega, et avatud marsruutidel avaldab tuul suuremat mõju kui poolavatud marsruutidel, põhjustades suuremaid lumevalle ning lumelohke ja sealt tulevadki natukene suuremad lumikatte paksuse kõikumised.

4.5 Lumikatte kestuse muutused 23 talve jooksul

Bakalaureusetöös võrreldud perioodi talved on olnud kõik üsnagi erinevad. Võrdlemaks viimast 23 talve, on koostatud tabel (Tabel 5), kus toodi välja kõikide vaatlusjaamade marsruutide talvised keskmised lume kaetused, iga talve kaupa. Talved on rühmitatud keskmise kaetuse järgi kolmeks: 0-50 % - lumevaesed, 51-75 % - keskmised ja 76-100 % -lumerohked talved (Joonis 5).



Joonis 5. Talvede jaotus lume kaetuse järgi.

Vaadeldaval ajaperioodil esines neli lumevaest talve, mis moodustasid 17 % kõigist talvedest. Kõik neli talve, mil lumikate esines vähem kui 50 % mõõtmistest, esinesid viimase 10 aasta jooksul (aastatel 2006/2007, 2007/2008, 2013/2014 ja 2014/2015). Kõige lumevaesem talv oli viimane uurimistöös vaadeldud 2014/2015 aasta talv, mil lumikate esines üle-eestiliselt keskmiselt 25 % vaatlustest. Eriliseks võib pidada seda talve ka sellepolest, et Kuusiku marsruudil lumikate vaatluspäevadel puudus. Nigula, Tartu, Valga ja Võru marsruutidel esines lumikate 15-st vaatluspäevast ainult kahel. Kõige enam oli lund 2014/2015 talvel Jõgeva ja Türi marsruutidel, kus lumikate esines peaaegu pooltel (47 %) vaatluspäevadest.

Teise rühma talvi ehk keskmiseid talvi oli kõige rohkem. Uuritud 23-st talvest kümnel (43 % talvedest) esines lumikate 51-75 % mõõtmistest. Keskmiste talvede hulgas oli kõige väiksema lumekaetusega 1999/2000 aastate talv, mil esines lumikate 54 % mõõtmistest ning kõige enama kaetusega oli 2001/2002 aastate talv, kui maapind oli kaetud lumega 73 % mõõtmistest

Tabel 5. Talvede lume kaetus protsentides vaatlusjaamade kaupa.

	Jõgeva	Jõhvi	Kuusiku	Nigula	Tartu	Tiirik- oja	Türi	Valga	Viljandi	Võru	Väike- Maarja	Eesti
1992/93	73%	80%	73%	33%	53%	60%	60%	67%	67%	60%	73%	64%
1993/94	87%	93%	87%	87%	73%	93%	87%	87%	73%	80%	87%	85%
1994/95	73%	73%	67%	67%	40%	80%	53%	53%	47%	53%	73%	62%
1995/96	100%	100%	87%	93%	93%	100%	100%	93%	93%	100%	100%	96%
1996/97	60%	67%	53%	60%	47%	73%	60%	60%	53%	53%	73%	60%
1997/98	67%	73%	73%	53%	40%	73%	67%	60%	67%	53%	80%	64%
1998/99	87%	93%	80%	73%	73%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	84%
1999/00	60%	73%	60%	40%	47%	53%	53%	40%	53%	40%	73%	54%
2000/01	67%	67%	60%	40%	53%	73%	60%	47%	67%	53%	73%	60%
2001/02	73%	80%	67%	73%	67%	73%	73%	73%	73%	73%	80%	73%
2002/03	73%	93%	80%	87%	73%	87%	80%	80%	80%	80%	87%	82%
2003/04	53%	60%	67%	53%	60%	60%	67%	47%	60%	53%	53%	58%
2004/05	93%	93%	87%	73%	73%	80%	80%	80%	80%	73%	93%	82%
2005/06	93%	87%	93%	80%	80%	87%	87%	93%	93%	93%	93%	89%
2006/07	53%	53%	53%	40%	53%	53%	40%	40%	47%	47%	53%	48%
2007/08	47%	53%	53%	33%	40%	33%	20%	40%	27%	33%	53%	39%
2008/09	87%	87%	87%	73%	87%	87%	87%	87%	80%	87%	93%	85%
2009/10	67%	73%	67%	60%	60%	73%	67%	67%	73%	60%	67%	67%
2010/11	87%	87%	87%	93%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
2011/12	53%	60%	53%	53%	53%	53%	60%	60%	53%	47%	67%	56%
2012/13	87%	80%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	86%
2013/14	33%	33%	33%	47%	27%	40%	33%	27%	33%	27%	33%	33%
2014/15	47%	40%	0%	13%	13%	33%	47%	13%	20%	13%	33%	25%

Lumerohkeid talvi, mil lumikate esines enam kui 75 % mõõtmiskordadest, oli kokku üheksa (39 % kõigist talvedest). Kõige pikem oli lumikatte kestus ning kõige enam kordadel esines lumikate marsruutvaatlustel 1995/1996 aasta talvel. Sel talvel esines lumikate kõikide mõõtmiste ajal (100 %) enam kui pooltel marsruutidel üle Eesti ning marsruutide keskmine kaetus oli 96 %. Lisaks võib eralisteks pidada ka 2010/2011 ja 2012/2013 aastate talvesid. Mõlemal talvel oli 11-st vaatlusjaama marsruudist kümne keskmine kaetus 87 % ehk lumikatte kestuse päevade arv oli vaadeldava viiekuulise perioodi jooksul üle Eesti väga võrdne.

5. Arutelu

Käesolevas bakalaureusetöös analüüsiti 23 talve lumikatte muutusi Eestis marsruutvaatluste mõõtmistulemuste põhjal. Töö sisu keskendus viiele lumikatet iseloomustavale aspektile: lumikatte paksuse sesoonne muutumine, keskmiste lume paksuste maksimaalsete väärtuste muutused, marsruutide hinnangulise lume kaetuse erinevused, lumikatte paksuse amplituudide varieeruvus ja lumikatte kestuse muutused 23 talve jooksul.

Keskmise lumikatte paksuse mediaani järgi ilmnes töö tulemusena, et püsiv lumikate tekib Eestis novembrikuu jooksul harva. Kõige varem jääb lumi maha Pandivere kõrgustikul Väike-Maarjas ning Ida-Virumaal Jõhvis. Nigula ning Kuusiku marsruutidel tekib püsiv lumikate tavaliselt kõige hiljem ning on talve esimesel poolel ka õhem kui mujal. Andmeanalüüsi käigus selgus, et peaaegu kõikidel marsruutidel langeb keskmise lume paksuse mediaan jaanuari esimesel poolel ning tõuseb järsult taas kuu lõpuks. Enamikel marsruutidel sulab lumi märkimisväärselt märtsi teiseks dekaadiks, kuid Jõhvi ning Väike-Maarja marsruudil toimub suurem sulamine alles märtsi viimasel dekaadil.

Maksimaalsed lume paksused on suuresti sõltuvuses marsruudi paiknemisest ning ilmastikuoludest. Bakalaureusetöös vaadeldava perioodi jooksul mõõdeti 10ndal märtsil 2011. aastal Jõhvi marsruudi maksimaalseks keskmiseks lume paksuseks 70 cm. Uurimise käigus selgus, et kõige paksem on tavaliselt lumikate Eestis aga veebruari teisel dekaadil. Eriliseks võib pidada 2010/2011 aasta talve, mil mõõdeti juba 10ndal detsembril kolmel marsruudil keskmiseks lume paksuseks üle 50 cm.

Lumikatte kaetuse analüüsimisel ilmnes, et novembri esimesel dekaadil esines lumikate vähem kui neljandikul talvedel. Ka kaetuse uurimise käigus selgus, et lumikate tekib kõige hiljem Lääne-Eestis Nigula marsruudil, sest soojad merehoovused mõjutavad seal maapinna temperatuuri kõige enam. Kõige sagedamini esines vaadeldaval perioodil lumikate jaanuari viimasel päeval (üle-eestiliselt 95 % mõõtmistest). Väike-Maarja marsruut oli lumega kaetud 31. jaanuaril kõigil 23-l talvel. Kõige kiiremini kadus lumikate kevadel Võru ja Tartu Ülenurme/Tõravere marsruutidel. See aga kinnitab fakti, et lumi sulab Kagu-Eestis kiiremini kui Põhja-Eestis.

Talve alguse lume paksuse amplituude võrreldes tulid esile erilisemate marsruutidena taas Nigula ja Jõhvi. Nigula marsruudil on novembri alguses lume paksuse amplituud teistest märgatavalt väiksem ning Jõhvis ülejäänutest jällegi suurem. Maksimaalse ja minimaalse lume paksuse vahe on suurim veebruari viimastel päevadel, mil mõõdeti ka maksimaalsed lumikatte

paksused. Kevadise sulaperioodi ajal jagunevad marsruudid kaheks: marsruudid, kus lumi sulab ühtlaselt ja marsruudid, kus lumi sulab ebahühtlaselt. Sellest tingitult märtsi lõpus keskmised lume paksuse amplituudid osades vaatlusjaamades tõusevad ja teistes langevad. Suuri erinevusi avatud ja poolavatud marsruutide lume paksuse amplituudides ei esinenud.

Bakalaureusetöös võrreldud talved on olnud erinevad – on esinenud nii lumevaeseid kui ka lumerohkeid talvi. Talvede rühmitamisel selgus, et lumevaeseid talvi oli 17 %, keskmiseid talvi 44 % ning lumerohkeid talvi 39 %. Võrreldava ajavahemiku kõige lumevaesem oli 2014/2015 aasta talv, kui lumikate esines keskmiselt 25 % vaatlustest. Eriliseks muutis selle talve ka see, et Kuusikus vaatluspäeval lumikate marsruudil puudus. Kõige enam esines lumikate 1995/1996 aasta talvel, mil lume olemasolu üle Eesti erinevatel marsruutidel märgiti keskmiselt 96 %-l mõõtmistest.

Kokkuvõte

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli kirjeldada ning ning välja tuua viimase 23 talve lumikatte muutusi marsruutvaatluste mõõtmistulemuste põhjal, sest selliseid uurimisi on senini tehtud väga vähe. Töö uurimisülesanneteks olid:

- 1) Lumikatte näitajate varieeruvus marsruutmõõtmistel
- 2) Talvede lume kaetuse ja kestuse võrdlus

Lumikatte marsruutvaatluste mõõtmistulemuste võrdlemiseks küsisin andmeid Keskkonnaagentuurilt (KAUR), kust sain mõõtmistulemused digitaalsel kujul alates 1992/1993 aasta talvest kuni 2014/2015 aasta talveni. Algandmetega töö jagunes kolmeks osaks: sobivate marsruutide valimine, andmete jaamade kaupa sorteerimine ning puuduvate andmete täiendamine.

Töö teoreetilises osas tehti ülevaade lumest ja lumikatte tekkimisest. Lisaks kirjeldati kliimamuutuste mõju lumikatte paksusele ja kestusele üle kogu Maa. Täpsemalt iseloomustati ka kliimamuutuste mõju Euroopas ning lisaks eraldi ka Läänemere regioonis.

Bakalaureusetöö tulemustena selgus, et Eestis tekib püsiv lumikate novembri esimesel ja teisel dekaadil harva. Kõige hiljem tekib lumikate Lääne-Eesti marsruutidel. Töö tulemusi analüüsides ilmnes, et vaadeldaval ajaperioodil vähenes lume paksus jaanuari esimesel ja teisel dekaadil enamikel marsruutidel. Lume paksus tõuseb märgatavalt jaanuari lõpuks. Lumikate esines kõige sagedamini jaanuari kuu viimasel mõõtmispäeval, mil 23 talve keskmisena lume kaetus üle-eestiliselt oli 95 %. Lume maksimaalsed paksused mõõdeti enamikel marsruutidel aga veebruari teisel dekaadil. Lume maksimaalse ning minimaalse paksuse vahe ehk amplituud oli suurim veebruari viimasel mõõtmispäeval. Uurimise käigus selgus, et lumikate sulab kõige kiiremini Kagu-Eesti marsruutidel ning kõige aeglasemalt Lääne- ja Ida-Virumaal. Talvede rühmitamisel ilmnes, et võrreldaval ajaperioodil oli 4 lumevaest ning 9 lumerohket talve.

Valminud bakalaureusetöö põhjal tehti ülevaade lumikatte muutustest Eestis 23 talve jooksul. Edasistes uurimustes on võimalik laiendada võrreldavat perioodi ajani, mil alustati meteoroloogia aastaraamatute täitmist.

Analyzing snow cover duration in Estonia with route observations

Andres Hillep

Summary

This bachelor's thesis describes the changes in Estonia's snow cover during the last 23 winters with route observation. This subject has not been researched before in Estonia. The aim of this thesis was to record the differences of snow cover between route observation and to compare the winters based on snow coverage and duration.

Thesis is based on Estonian Environment Agency's (EEIC) data collected from 1992 to 2015. Data analysis was divided into three parts: selecting suitable routes, sorting the data according to stations and filling in missing data.

In the theoretic part of the thesis, an overview of snow and the process of snow coverage formulation is given. In addition, the effects of climate change on snow coverage are described. The effects of climate change in Europe and in the Baltic Sea region are also more thoroughly described.

Analysis revealed that in Estonia, persistent snow cover forms rarely in the first 20 days of November. Snow coverage formation is the latest on the western routes of Estonia. On most routes snow depth decreased in the first 20 days of January and the depth of snow increases significantly in the end of January. Based on the average of 23 winter observations, snow coverage of Estonia was 95% on the last observation day of January. On most routes, the maximum depths of snow were measured from the 10th to 20th of February. The difference between minimum and maximum snow depths was greatest on the last observation day of February. Research showed, that snow coverage melts the fastest in the South-East of Estonia and the slowest in West- and East-Virumaa. During the observed period, there were 4 winters of low snowfall and 9 of high snowfall.

Further research can be conducted by expanding the observable period, starting from the first years when this data was gathered in the meteorology yearbooks.

Tänuavaldused

Soovin tänada enda juhendajat Jaak Jaagust asjakohaste ning kasulike nõuannete eest. Tänuõnad saadan ka Keskkonnaagentuurile, kes oli nõus jagama töös kasutatud marsruutvaatluste andmeid. Lisaks tänan Ingrid Niklust Tartu-Tõravere vaatlusjaamast, kes oli nõus minuga koos ühte marsruutvaatlust läbi viima.

Kasutatud kirjanduse loetelu

Amelung, B., Moreno, A., 2009. Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA-Tourism study. International Centre for Integrated assessment & Sustainable development (ICIS). Univesiteit Maastricht.

Aruksaar, H., Liidemaa, H., Martin, I., Mürk, H., Nei, I., Põiklik, H., 1964. Üld- ja argometeoroloogia. Eesti Raamat, Tallinn, 766 lk.

CLIMA.C.3/ETU/2013/0013 – Assessing the implications of climate change adaptation on employment in the EU.

Doesken, N. J., Judson, A., 1996. A guide to the science, climatology, and measurement of snow in the United States. Colorado Climate Center, Department of Atmospheric Sciences Colorado State University, 85p.

Eesti meteoroloogiajaamade vaatlusvõrk.

[URL: <http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/>]. 20.05.2016.

EMHI Ilmavaatlusosakond, 2005. Lumikatte vaatlused: Juhend meteoroloogiajaamadele.

European Commission, 2013. Adapting infrastructure to climate change. An EU Strategy on adaptation to climate change.

Frey, T., 1998. Lumikeskkond. EV Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tartu, 6–28.

HELCOM, 2007. Climate Change in the Baltic sea Area - HELCOM Thematic Assessment. Baltic Sea Environment Proceedings, No 111.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jaagus, J., 1997. The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia. Climate Change, No 36, 65-77.

Jaagus, J., 2003. Kliimamuutuste tendentsid Eestis 20. sajandi teisel poolel seostatuna muutustega atmosfääri tsirkulatsioonis. Uurimusi Eesti kliimast (toim. J. Jaagus). Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis, No 93, 62-78.

Kopanev, I. D., 1978. Snezhnyi pokrov territorii CCCP. Gidrometeoizdat, Leningrad, 181 s.

Martinec, J., Sevruc, B., 1992. Snow cover. Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture. (ed. B. Sevruc), WMO No. 749, Operational hydrology report No 35, 117-181.

Tammemets, T., 2008. Eesti ilma riskid. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Tallinn. 88–94.

Tooming, H., Kadaja, J., 1995. Changes in snow cover and surface albedo in Estonia during the last 100 years. Meteorol, Zeitschrift, N.F. 4, 67–71.

Tooming, H., Kadaja, J., 1999. Climate changes indicated by trends on snow cover duration and surface albedo in Estonia. Meteorol, Zeitschrift, N.F. 8, 16–21.

Tooming, H., 2002. Dependence of global radiation on cloudiness and surface albedo in Tartu, Estonia. Theor. Appl. Climatol., No 72, 165–172.

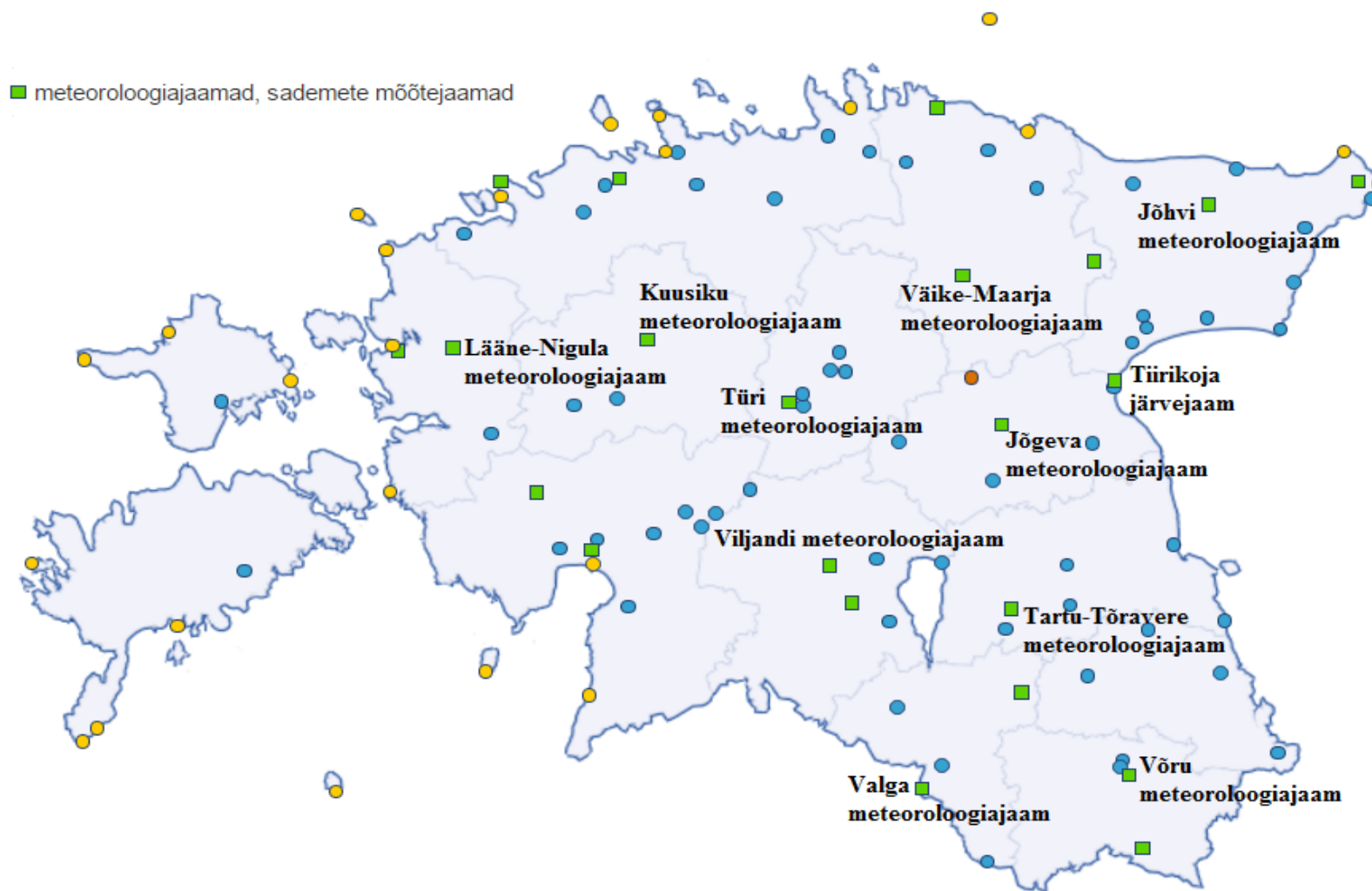
Tooming, H., Kadaja, J., 2006. Eesti lumikatte teatmik. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Eesti Maaviljeluse Instituut, Tallinn, 18–76.

Ševkunova, A., Meštšerskaja, A., Jaani, A., 1999. Baltikum kui kliimamuutuste eriline piirkond. Uurimusi Eesti kliimast (toim. J. Jaagus). Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis, No 85, 156-164.

2007. Impacts of climate Change on European Forests and Options for Adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development.

Lisad

Lisa 1 Meteoroloogiajaamad, kus marsruutvaatluseid läbi viidi (lisaks on kaardil ka ranniku-, hüdrometri- ja soojajaamad).



Lisa 2. Näidis ühest marsruutvaatluse keskmise lumikatte paksuse tabelist (cm).

Jõgeva	Kuu	11			12			1			2			3		
		10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
Avatud	Kuupäev															
Põld	1992/1993	2	9	9	0	0	0	1	0	3	0	13	17	17	0	0
Keskmine	1993/1994	0	6	7	4	1	5	9	5	12	13	14	16	7	3	0
	1994/1995	0	3	0	1	3	0	5	3	21	14	0	0	0	0	0
	1995/1996	1	2	2	3	9	18	20	19	21	21	31	32	34	32	39
	1996/1997	0	0	0	0	12	24	29	20	22	29	26	0	0	1	0
	1997/1998	0	0	13	17	14	11	8	0	20	15	8	0	4	0	0
	1998/1999	3	3	2	12	0	0	15	1	10	18	29	39	24	21	13
	1999/2000	0	1	0	0	13	15	0	5	11	0	1	0	1	16	0
	2000/2001	0	0	0	0	1	7	7	6	7	2	6	17	18	1	0
	2001/2002	4	1	4	9	13	21	20	5	5	0	8	6	0	0	0
	2002/2003	12	0	0	3	4	12	24	4	5	13	13	13	10	0	0
	2003/2004	0	0	0	0	0	1	3	11	16	5	14	15	17	0	0
	2004/2005	0	1	15	0	12	8	2	3	12	13	14	16	18	20	4
	2005/2006	0	2	2	3	12	15	18	10	10	14	22	25	29	27	8
	2006/2007	6	0	0	0	8	0	0	1	16	16	19	24	6	0	0
	2007/2008	3	0	10	0	0	0	8	0	0	0	1	0	8	1	0
	2008/2009	0	7	0	18	17	13	15	4	11	9	15	18	20	22	19
	2009/2010	0	0	0	0	0	26	35	33	41	45	51	50	47	47	22
	2010/2011	0	0	13	35	39	53	49	55	53	52	53	53	55	54	50
	2011/2012	0	0	0	0	0	0	13	26	26	26	31	41	36	18	0
	2012/2013	0	0	17	18	16	14	15	14	16	25	37	28	29	27	30
	2013/2014	0	0	0	5	0	0	0	3	5	1	0	0	0	8	0
	2014/2015	0	0	7	0	0	22	9	9	10	14	7	0	0	0	0

Lisa 3 Näidis ühest marsruutvaatluse maksimaalse lumikatte paksuse tabelist (cm).

Maksimaalne	Kuu	11			12			1			2			3		
		10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
	Kuupäev															
	1992/1993	10	21	16	0	0		3	0	8		23	27	30		
	1993/1994		10	15	7	5	14	15	4	15	17	19	10	14	6	
	1994/1995	0	5	0	2	6		8	6	24	25		0		1	
	1995/1996	2	5	5	4	15	32	28	32	28	30	42	55	51	42	48
	1996/1997			2		20	38	35	37	33	44	32			4	
	1997/1998			20	30	25	20	12	3	28	23	19		6		
	1998/1999	10	8	5	18			20	4	15	24	38	45	36	30	20
	1999/2000		4			18	22		9	16	2	9		4	27	
	2000/2001					1	11	10	10	13	4	6	21	21	3	
	2001/2002	6	4	13	15	21	32	32	16	6		20	15			
	2002/2003	18			9	11	22	32	14	14	18	21	22	17		
	2003/2004		1				6	5	17	21	11	26	29	28		
	2004/2005		1	26	0	18	25	5	5	30	22	28	28	28	35	18
	2005/2006		5	4	7	16	21	21	14	15	23	27	34	39	38	18
	2006/2007	12				12			2	20	21	23	30	10		
	2007/2008	6		16				15				3	2	15	3	
	2008/2009		10		22	26	20	21	6	16	11	21	25	27	29	27
	2009/2010						30	39	37	54	51	55	54	52	53	30
	2010/2011			16	48	50	59	63	61	62	57	57	61	70	59	58
	2011/2012							15	30	24	30	34	45	43	22	
	2012/2013			24	30	28	18	20	21	21	28	42	32	36	34	33
	2013/2014									7					10	
	2014/2015			9			26	12	14	13	17	9				
	Maksimaalne	18	21	26	48	50	59	63	61	62	57	57	61	70	59	58

Lisa 4 Näidis ühest marsruutvaatluse minimaalse lumikatte paksuse tabelist (cm).

Minimaalne	Kuu	11			12			1			2			3		
		10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
	Kuupäev															
	1992/1993	0	5	3	0	0		0	0	0		6	8	8		
	1993/1994		3	3	1	0	0	2	1	2	7	8	10	2	0	
	1994/1995	0	2	0	0	1		2	0	14	5		0		0	
	1995/1996	0	0	0	1	5	10	14	14	16	17	20	25	27	25	31
	1996/1997			0		5	15	20	10	15	20	20			0	
	1997/1998			10	13	10	6	3	0	15	10	0		2		
	1998/1999	1	1	0	6			10	0	4	10	20	32	18	12	0
	1999/2000		0			8	10		2	6	0	0		0	8	
	2000/2001					0	2	3	2	2	0	2	10	14	0	
	2001/2002	1	0	0	2	5	10	10	0	0		0	0			
	2002/2003	8			1	1	3	18	0	1	9	9	7	1		
	2003/2004		0				1	2	3	10	3	3	6	8		
	2004/2005		0	3	0	5	0	0	1	1	3	3	5	5	8	0
	2005/2006		0	0	1	5	8	14	7	7	11	18	21	21	22	0
	2006/2007	0				2			0	10	11	15	18	2		
	2007/2008	1		5				3				0	0	0	0	
	2008/2009		2		12	7	5	8	1	8	6	9	13	15	16	12
	2009/2010						18	30	25	32	40	45	45	37	40	15
	2010/2011			10	26	30	40	38	48	43	45	50	48	50	43	40
	2011/2012							10	20	23	20	27	35	30	13	
	2012/2013			14	11	9	10	11	8	11	22	31	25	24	23	27
	2013/2014									5					6	
	2014/2015			5			15	8	5	6	10	5				

Lisa 5 Näidis ühest marsruutvaatluse hinnangulise lume kaetuse tabelist (10-palli süsteemis).

Kaetus	Kuu	11			12			1			2			3			
		10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31	
	Kuupäev	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31	
	1992/1993	8	10	10	10	7	0	10	10	10	0	10	10	10	10	0	0
	1993/1994	0	10	10	10	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
	1994/1995	10	10	10	10	10	0	10	9	10	10	0	10	0	10	0	0
	1995/1996	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1996/1997	0	0	10	0	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0
	1997/1998	0	0	10	10	10	10	10	9	10	10	10	0	10	0	0	0
	1998/1999	10	10	10	10	0	0	10	7	10	10	10	10	10	10	10	9
	1999/2000	0	10	0	0	10	10	0	10	10	10	10	0	10	10	0	0
	2000/2001	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	0	0
	2001/2002	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	0	0	0	0
	2002/2003	10	0	0	10	10	10	10	7	10	10	10	10	10	0	0	0
	2003/2004	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	0
	2004/2005	0	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6
	2005/2006	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8
	2006/2007	7	0	0	0	10	0	0	10	10	10	10	10	9	0	0	0
	2007/2008	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	10	10	10	10	0
	2008/2009	0	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2009/2010	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2010/2011	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2011/2012	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
	2012/2013	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2013/2014	0	0	0	10	0	0	0	10	10	10	0	0	0	10	0	0
	2014/2015	0	0	10	0	0	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
Kaetus	protsentuaalselt	35%	43%	61%	61%	70%	70%	87%	96%	96%	87%	91%	78%	78%	70%	35%	

Lisa 6 Näidis ühest marsruutvaatluse lumikatte amplituudide tabelist (cm).

Amplituud	Kuu	11			12			1			2			3		
		10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
	Kuupäev	10	16	13	0	0		3	0	8		17	19	22		
	1992/1993	10	16	13	0	0		3	0	8		17	19	22		
	1993/1994		7	12	6	5	14	13	3	13	10	11	0	12	6	
	1994/1995	0	3	0	2	5		6	6	10	20		0		1	
	1995/1996	2	5	5	3	10	22	14	18	12	13	22	30	24	17	17
	1996/1997			2		15	23	15	27	18	24	12			4	
	1997/1998			10	17	15	14	9	3	13	13	19		4		
	1998/1999	9	7	5	12			10	4	11	14	18	13	18	18	20
	1999/2000		4			10	12		7	10	2	9		4	19	
	2000/2001					1	9	7	8	11	4	4	11	7	3	
	2001/2002	5	4	13	13	16	22	22	16	6		20	15			
	2002/2003	10			8	10	19	14	14	13	9	12	15	16		
	2003/2004		1				5	3	14	11	8	23	23	20		
	2004/2005		1	23	0	13	25	5	4	29	19	25	23	23	27	18
	2005/2006		5	4	6	11	13	7	7	8	12	9	13	18	16	18
	2006/2007	12				10			2	10	10	8	12	8		
	2007/2008	5		11				12				3	2	15	3	
	2008/2009		8		10	19	15	13	5	8	5	12	12	12	13	15
	2009/2010						12	9	12	22	11	10	9	15	13	15
	2010/2011			6	22	20	19	25	13	19	12	7	13	20	16	18
	2011/2012							5	10	1	10	7	10	13	9	
	2012/2013			10	19	19	8	9	13	10	6	11	7	12	11	6
	2013/2014									2					4	
	2014/2015			4			11	4	9	7	7	4				
	Keskmine	6,6	5,5	8,4	9,1	11,2	15,2	10,3	9,3	11,5	11,0	12,5	12,6	14,6	11,3	15,9

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andres Hillep,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud teose, „Lumikatte kestuse uurimine Eestis marsruutvaatluste põhjal“,

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 lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **23.05.2016**