

TARTU ÜLIKOOL  
LOODUS – JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND  
FÜÜSIKA INSTITUUT

Maanus Kullamaa

MAAPINNA JA VEE OPTILISEKS KAUGSEIREKS SOBIVATE AASTAAEGADE  
ANALÜÜS EESTI ALAL METEOSAT SATELLIITPILVISUSE ANDMETE PÕHJAL

Magistritöö keskkonnatehnoloogias

Juhendajad: Kaupo Voormansik PhD

Piia Post PhD

Tartu 2015

# Sisukord

1. Sissejuhatus .....	4
1.1 Pilvisusest ning selle muutlikkusest üldiselt .....	5
1.2 Satelliitpilvisuse võrdlus maapealsete vaatlustega .....	6
1.3 Eesti pilvisuse klimatoloogia .....	8
2. Ülevaade Meteosat teise põlvkonna satelliitidist .....	9
2.3 Meteosat teise põlvkonna satelliit .....	9
2.3.1 SEVIRI instrument .....	10
2.3.2 SEVIRI instrumendi tööpõhimõte .....	11
2.3.3 Ülevaade pildiproduktidest .....	12
2.3.4 Ülevaade pilveproduktidest .....	12
2.3.5 Pilvemaski arvutamine .....	13
2.3.6 Ülevaade kasutatud andmevormingutest .....	16
3. Andmed ja meetodid .....	17
3.1 Andmed Meteosatilt .....	17
3.2 Pilvisuse andmed Eesti meteojaamadest .....	18
3.3 Kasutatud tarkvara .....	18
3.4 Eesti ala jagamine huvipakkuvate regioonide järgi .....	18
3.5 Pilveproduktide töötlemise tsükli kirjeldus .....	19
3.6 Kaugseireks sobivate päevade defineerimine .....	20
4. Tulemused ja arutelu .....	21
4.1 Ülevaade satelliitpilvisusest .....	21
4.2 Satelliitpilvisuse võrdlus vaatlusjaamades registreeritud pilvisusega .....	24
4.3. Keskmise pilvisuse ja keskpäevase pilvisuse võrdlus .....	27
Kokkuvõte .....	31
Summary .....	33
Kasutatud kirjandus .....	34
Lisad .....	37

Olen koostanud magistritöö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Maanus Kullamaa

Kaitsmisele lubatud „..... „ ..... 2015. a.

# 1. Sissejuhatus

Kosmosetehnoloogia esimestest aastatest alates 1960ndatel on satelliidid olnud hindamatuks abimeheks info kogumisel suurte alade kohta väga lühikese aja jooksul. Copernicus programmi käivitumise ja SENTINEL satelliitide ehitamisega saab tasuta kättesaadavaks suures koguses tasuta satelliitseire andmeid, mis muudab operatiivselt tasuvaks seni mitmed ainult teoreetiliselt tõestatud rakendused. Üheks peamiseks Copernicus programmi andmeallikaks saab kõrglahutusega optiliste kaugseire-satelliitide paar SENTINEL-2. Andmeid SENTINEL-2 missioonilt kasutatakse maapinna seireks, hädasignaalide haldamiseks, turvalisuse tagamiseks ja kliimamuutuste uurimiseks. Seade on disainitud kirjeldama põhilisi maakattetüüpe nagu kunstlikud pinnad (teed), metsad, põllukultuurid, märgalad, väiksemad veesilmad. SENTINEL-2 produkte hakatakse kasutama planeerimisel, metsamajandamisel, veeringe analüüsil ning põllumajanduses [1].

Suur osa neist rakendustest vajab pilvituid tingimusi. Sobivate päevade arvude hinnangud on võimalik saada kasutades pilvisuse andmeid.

Pilvede parameetrite uurimine on olnud huviorbiidis juba viimased 100 aastat. Inimese poolt läbiviidud vaatlus oli esimeseks meetodiks pilvisuse määramiseks. Vaatlejad klassifitseerivad pilvi ning määravad pilvisuse subjektiivse kujuhinnangu ning väljanägemise järgi [2]. Viimastel aastatel on hakatud vaatlusjaamades inimesi asendada automatiseeritud instrumentidega, et tõsta veelgi pilvisuse detekteerimise ühest hinnangut [3].

Pilvisus ja pilvetüüp on olulisteks komponentideks erinevate kiirgusparameetrite arvutamisel. Päikese otsese ja hajusa (D) kiirguse summat nimetatakse summaarseks kiirguseks ja tähistatakse tavaliselt tähega Q. Summaarse kiirguse väärtus oleneb samadest teguritest kui ta komponendidki, s.o pilvisusest (lauspilves ilma korral enamasti  $Q = D$ ), Päikese kõrgusest, atmosfääri läbipaistvusest, aluspinna optilistest omadustest. Summaarse kiirguse iseärasused olenevad suurel määral sellest, milline osakaal on temas otsesel ja hajusal kiirgusel. Pilvitu taeva, atmosfääri hea läbipaistvuse ja Päikese suurte kõrguste korral võib otsese kiirguse osa summaarses olla suurusjärg suurem kui hajusal kiirgusel, täispilvisuse puhul puudub aga enamasti otsene kiirgus üldse. [4]

Pilvisuse statistika olemasolul on võimalik planeerida (kaug)seire alaseid töid, mille info saadakse peamiselt nähtava spektri piirkonnast ning mida võib segada pilvisus. Erinevate kaugseire liikide puhul teostatakse lisaks satelliitmõõtmistele ka *in situ* mõõtmisi. Töid

planeerides ning pilvede esinemise tõenäosust läviväärtuse kohaselt silmas pidades oskame hinnata valitud tööks sobivaid päevi.

Magistritöö eesmärgiks oli analüüsida maapinna - ja vee kaugseireks sobivaid aastaaegu Meteosati andmete põhjal. Kõrvaleesmärkideks oli analüüsida Eesti pilvisust regiooniti ning võrrelda Meteosati andmeid valitud regioonides paiknevate vaatlusjaamade andmetega.

## 1.1 Pilvisusest ning selle muutlikkusest üldiselt

Pilvedel on oluline roll Maa energiabilansis ning globaalse kliima määramisel. Vähenenud muutus pilve parameetrites võib oluliselt muuta temperatuuride variatsiooni [5]. Pilvisus on oluline kliimaatiline faktor, modelleerimaks maapinna kiirgust [6]. Kõrged pilved soojendavad Maad ning madalad jahutavad, peegeldades kiirguse kosmosesse tagasi [7]. Kuna pilvisuse andmed on kõige suurema määramatusega kliimauuringutes ning ilmaennustustes [8], siis on vajalik uurida ja arendada nii maapealsete vaatluste meetodeid kui ka satelliitmõõtmisi. Maapealsed vaatlused ning mõõtmised ei ole sageli piisava ruumilise katvusega, samas pakuvad nad pikki aegridasid [9]. Eelmise sajandi lõpuni määrati pilvisust regulaarsete vaatluste alusel. Järjest suurem vajadus täpsemate ja ülemaailmsete andmete järgi on viinud selleni, et töötatakse välja algoritme, mis eraldavad pilves oleva ala selgest taevast ning tuletavad informatsiooni pilvede klassi ja füüsikaliste omaduste kohta [10] [11] [12]. Ainult satelliitmõõtmised saavad pakkuda globaalseid pilvisuse andmeid piisava kvaliteediga. Andmed satelliidilt on tihti ainus info ookeanide ning ligipääsmatute regioonide pilvisuse kohta [9].

Pilvede detekteerimine, klassifitseerimine ja kõrguse hindamine on aluseks numbrilistele ilmaennustusmudelitele, tuulte kiiruste arvutamisele [13] [14] [15] ning sademete hindamisele [16] [17].

Maapealseid vaatlusi on kahte liiki: manuaalsed, mis nõuab väljaõpetatud vaatleja kohalolu ning automaatsed, mis tüüpiliselt on lahendatud suure vaateväljaga kaamera automatiseerimisega. Traditsiooniliste sünoptiliste vaatluste (i k *surface synoptic observations* – SYNOP) koodide järgi kuuluvad madalate pilvede hulka järgmised pilvetüübid: *cumulus*, *cumulonimbus*, *stratus*, *stratocumulus*, *nimbostratus* ja *fractonimbus*. Pilvisust määratakse nii kaheksa- kui kümnepallisüsteemis [18].

Kümnepallisüsteemis jaotab vaatleja pilvisuse järgnevalt [19]:

- pilvitu 0-2 palli
- vähene pilvisus 3-5 palli
- poolpilves 3-7 palli
- pilves 8-10 palli

Kaheksapalli süsteemi korral jaotatakse pilvisuse hulk sarnaselt. Suurus 1 okta rakendatakse pilvisusele kui vaatleja märkab taevas pilve, olgugi, et kaheksandik taeva laotusest ei pruugi olla pilvedega kaetud. Sarnaselt hinnatakse pilvisust 7 oktaga, kui vaatleja märkab selge taevaga ala. Koodi 9 korral pole võimalik pilvisust hinnata. [20]

Üldiselt nõustatakse, et viimastel dekaadidel on aset leidnud olulised süstemaatilised muutused kliimaatilistes tegurites. [21] Mõned muutused on kõrge usaldusnivooga nagu globaalne pinnatemperatuur, mis on tõusnud 0,3-0,6° C alates 19. sajandist, stratosfääri temperatuur, mis on vähenenud 0,6° C aastatel 1979-1994, põhjapoolkera kevadine lumekatte paksus, mis on vähenenud 10% aastatel 1973-1994 ja liustikud, mis on eelmisel sajandil nähtavalt vähenenud.

Viimasel sajandil on märgatud kogupilvisuse kasvu keskmistel ja kõrgetel geograafilistel laiuskraadidel. Madalate ja keskmise kõrgusega pilvede, mille andmed on kõige suurema usaldusnivooga saadud vaatluste teel, klimatoloogiline efekt on globaalsele soojenemisele vastupidine [6].

## 1.2 Satelliitpilvisuse võrdlus maapealsete vaatlustega

Alates meteoroloogiliste satelliidite kasutuselevõtust on võrreldud pilvisuse hinnanguid satelliitidelt maapealsete vaatlusandmetega. Näiteks võrdles Malberg pilvisust satelliidifotodel maapealsete vaatluste andmetega ning ilmnes, et aasta keskmine erinevus Põhja-Euroopas on umbes 9% ning Lõuna-Euroopas 15%. Ta seletas tekkinud erinevusi geomeetriliste, sünoptiliste ning orograafiliste faktoritega. Geomeetriliste faktorite alla võib lugeda näiteks vaatlejale nähtava taevakaare ala horisondini, sünoptiliseks faktoriks nähtavus ning orograafiliseks faktoriks pinnavorm – mäed, orud. Vaatleja pilvisuse hinnangut segab ka päikesevalguse vähesus või puudumine. Märkamata võivad jääda kõrged ning õhukesed pilved. [22]

MSG SEVIRI satelliitpilvisuse väärtusi on valideeritud vaatlusandmetega ning aluseks on võetud viie kuu (aprill 2004–detsember 2004) iga päeva pilvisuse keskvväärtused SEVIRI-lt ja maapealsetest jaamadest. Valideerimiseks on kasutatud ka meteojaamu laevadel ning poidel. [23]. Kokkuvõtvad tulemused on toodud Tabelis 1.

Tabel 1. Kõrvalekalle päevase - ja kuu keskmise pilvisuse kohta maa kohal MSG ja vaatlusandmete põhjal [24]

	Aprill 2004	Mai 2004	Juuli 2004	Oktoober 2004	Detsember 2004
Päeva keskmine oktades	0,2	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Päeva keskmine protsentides	2,5	5,0	< 0,1	< 0,1	-1,3
Kuu keskmine oktades	0,2	0,3	< 0,1	< 0,1	-0,1
Kuu keskmine protsentides	2,5	3,8	< 0,1	< 0,1	-1,3

Karlssoni valideerimisraportist ilmneb, et päeva- ja kuukeskmistena kipub SEVIRI vaatlusandmetega võrreldes pilvisust ülehindama. Kõige suurem ülehindamine esineb mais päevakeskmisena 5% ning kuu keskmisena 3,8%.

Lisaks vaatlusandmetele võrdleb Werkmeister satelliitpilvisusi ka maapealsete instrumentide pilvisuse mõõtmiste tulemusega. Werkmeister [22] väidab, et ainult 36% juhtudest nõustub HSI (*i k Hemispherical Sky Imager*) SEVIRI mõõdetud pilvisusega 0 oktase täpsusega. HSI näol on tegemist kalasilm-lainurk objektiiviga kaameraga vaateväljaga 183°. Tosing [24] on kasutatud kaamera ja optika projektsiooni uurinud ning kiitnud heaks selle sobivuse pilvede detekteerimiseks. Analüüsitava pilt on minimaalselt moonutatud ning pilvisuse andmeid saab seadme piltidelt kuni 80° seniitnurgani. Antud juhul on tegemist maksimaalselt 12,4% suuruse veaga, kuna tulemusi hinnatakse oktades. Ülejäänud mõõtmistest 50% juhtudest ülehindas SEVIRI pilvisuse väärtust. Juhtudel, kus SEVIRI hindas pilvisuseks 0 oktat, erines HSI tulemus 93% juhtudest vähemalt 1 okta võrra [22]. Pole teada, kas nimetatud minimaalsed moonutused siiski ka saadud tulemusi on mõjutanud ning kirjeldatud ei ole ka kaamera sensorit ega sellele tehtud kvaliteedikontrolli. Kuna kasutuses on kompaktkamera ning kasutatud kõiki RGB (*i k red, green, blue*) ehk punase, roheline, sinise värviruumi kanaleid, on väga oluline teada sensori parameetreid ja vastupidavust temperatuurile. Autor võib kaameratehnilise kogemuse baasilt väita, et esineb oht piksliväärtuste muutusteks nii R, G kui ka B kanalis, kui sensor on pidevalt töös ja/või saavutab teatud temperatuuriläve.

Werkmeisteri kohaselt alahinnati SYNOP-vaatluste kohaselt pilvisust Hannoveri lennuvälja kohal Saksamaal 296 korral 996-st 1 okta võrra. Väikese pilvisuse korral kipuvad vaatlusandmed ülehindama SEVIRI mõõdetud pilvisust 1-2 okta võrra ning seda 117 korral. Kogutulemustest 70% kordadest alahindasid vaatlused võrreldes SEVIRI-ga pilvisust

vähemalt 1 okta võrra. Ülehinnati pilvisust 17% kordadest. Vaatlusandmetel on võrreldes SEVIRI andmetega 15% kalduvus pilvisust alahinnata ning seda 26% standardhälbe juures. SEVIRI ja SYNOP vaatlusi võrreldes hindab SEVIRI taeva pilviseks POD (*i k probability of detection*) = 67% kordadest, valehäire protsendiga FAR (*i k false alarm rate*) = 4%.

Pilvituks hindab SEVIRI 69% juhtudel, FAR = 35%. Vahelduvat pilvisust hindab SEVIRI õigesti 44% kordadest, FAR = 89%. [22]

### 1.3 Eesti pilvisuse klimatoloogia

Eesti pilvisus on mõjutatud geograafilisest asukohast ning sellest, kuidas tsüklonid Atlandi ookeanilt ida suunas liiguvad. Mõningal juhul määrab kohaliku pilvisuse maapind. Need erinevused ilmnevad peamiselt rannikualasid ja sisemaad võrreldes. Tsüklonite hulk, mis Eesti ilma mõjutavad, kasvab järsult septembris, jõudes maksimumini novembris-detsembris ning vähenedes kevadel. Pilvisus järgib sellist aastast käiku, olles maksimaalne novembris ja detsembris [18].

Kokku on Eestis 23 meteoroloogiajaama. Regulaarne pilvevaatlus algas 1955. aastal 15 jaamas. Nendes jaamade andmetega on konstrueeritud pilvisuse aegrida 1955-1995 aastatel. Vaatlusajad muudeti 1964. aastal kõikides mõõtejaamades, välja arvatud Tõraveres, kus muudatus viidi sisse 1997. Varasemalt registreeriti vaatlusandmed 4 korda päevas: kell 02:00, 08:00, 14:00 ja 20:00 kohaliku aja järgi. Nüüdseks registreeritakse vaatlusandmeid aga kaheksal korral päevas: kell 02:00, 05:00, 08:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00 ja 23:00 kohaliku aja järgi. Mõlemad süsteemid katavad nii öise kui päevase aja ning ka pärastlõunase aja, kui pilvisus kipub olema kõige kõrgem. Aastatel 1997-1999 analüüsiti Tõraveres kas nelja lugemiga andmestik päevas on erinev kaheksa lugemiga andmestikust. Analüüsist selgus, et erinevused olid juhuslikud ning ei oma mõju kuu keskmistele väärtustele. Pilvisust hinnati kümne palli süsteemis. [18]

Üldise pilvisuse klimatoloogia on toodud Eesti kiirguskliima teatmikus [4]. Keevallik ja Russak [18] väidavad, et pilvisuse miinimum on juunis. Üldise pilvisuse käik on sarnane madalate pilvede aastase käiguga. Samuti väheneb pilvisus idast läände. See on Eesti kliima eripära, mis on mandriline sisemaal ja mereline rannikualadel. Regionaalseid erinevusi tähendatakse madalate pilvede hulgas, mille muutust seostatakse maapinna erinevustega. Õhutemperatuuri ja lumekatte kestvuse analüüs Eestis näitab varasemat kevade saabumist [25] [26]. Kiirguse – ja pilveandmed Tõravere (58°16'N, 26°28'E, 70 m merepinnast) aktinomeetria jaamast indikeerivad madalate pilvede hulga kasvu 11% võrra aastatel 1964-1986 [18].

## 2. Ülevaade Meteosat teise põlvkonna satelliidist

### 2.3 Meteosat teise põlvkonna satelliit

Meteosati teise põlvkonna esimene satelliit (*i k Meteosat Second Generation -MSG-1*) saadeti orbiidile 28. augustil 2002. Alates 29. jaanuarist 2004. aastal on satelliit olnud operatiivne meteoroloogiliste andmete edastaja. Sellest ajast kannab MSG-1 nimetust Meteosat-8. Aastal 2005 saadeti orbiidile teine MSG satelliit, Meteosat-9. Mõlemad satelliidid on kosmosesse saadetud Prantsuse Guajaanast kanderaketiga Ariane 5.

MSG satelliitide (Joonis 1) peamine eesmärk on teenida meteorologe, pakkudes pilte Euroopast, Põhja-Atlandilt ja Aafrikast iga 15 minuti järel. Meteosati satelliidid asuvad geostatsionaarsel orbiidil, st. 36 000 km kõrgusel ekvaatori kohal. Teise põlvkonna satelliidid on silindri kujuga, diameetriga 3,2 m ja kõrgusega 2,4 m. Satelliit kaalub 1 200 kg, millest 260 kg moodustab käesolevas töös kasutatav SEVIRI instrument. MSG kasutab keskmiselt 600W elektrit ning pakub sealjuures kanalites 1-11 pilti ruumilise lahutusega 3 km piksli kohta.



Joonis 1. MSG satelliit foto:www.arianespace.com

Euroopa Kosmoseagentuur (*i k European Space Agency - ESA*) on ehitanud meteoroloogilisi satelliite juba üle 30 aasta. Esimene ESA ehitatud kosmoselaev jõudis orbiidile 1977. aastal. Õnnestunud meteoroloogiliste satelliitide ehitus viis EUMETSAT-i loomiseni 1986. aastal. EUMETSAT on Euroopa organisatsioon, mis käitleb meteoroloogilisi satelliite. [27]

Kaasaegsed Meteosati satelliidid varustavad meid vajaliku informatsiooniga ilmaennustuste, põllumajandus- ja keskkonnanuuringute ning riskianalüüside koostamiseks [28]. MSG satelliidid kannavad pardal vastuvõtjat, mis suudab tuvastada hädasignaale laevadelt ja lennukitelt. Saadud info edastatakse Cospas-Sarsat võrgustikku. Rahvusvaheline Cospas-Sarsat programm on satelliitidel põhinev hädakutsungite tuvastamise ja informatsiooni jagamise programm, mis on võimeline vastu võtma signaale seitse päeva nädalas, 365 päeva aastas. [29]

### 2.3.1 SEVIRI instrument

MSG satelliitide peamiseks sensoriks on optiline radiomeeter SEVIRI (*i k Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*). Instrumendil on 12 spektraalkanalit, mis kombineeritult pakuvad võimalusi pilvede ja udu detekteerimiseks ja atmosfääriliikumiste jälgimiseks. Muuhulgas on instrument võimeline mõõtma maapinna temperatuuri, pilvede tipu temperatuuri ning osoonimustrite liikumist. SEVIRI instrument (Joonis 2) on valmistatud Prantsusmaal ettevõtte Matra Marconi Space France poolt.

SEVIRI ava läbimõõt on 50 cm ning tema skaneeriv radiomeeter kogub informatsiooni neljas nähtavas (VIS - *i k VISible*) – ja lähis infrapuna (NIR – *i k Near InfraRed*) kanalis. Kaheksa kanalit töötavad infrapunases (IR) spektris. Täpsem info kanalite kohta on toodud Tabelis 2. Antud instrumendi põhiline funktsioon ja eelis on järjepidev informatsioon Maa kohta 12 spektraalkanalis iga 15 minuti järel. Instrument teeb 100 pööret minutis.

Instrumendi nominaalne tööaeg on 7 aastat. Selle ajaga toodab SEVIRI 245 000 pilti. SEVIRI instrument koosneb teleskoobi ja skanneerimisüksusest (*i k Telescope and Scan Assembly - TSA*), fokaalpinna ja jahutusüksusest (*i k Focal Plane and Cooler Assembly - FPCA*) ja elektroonikaüksusest (*i k Electronic Unit Assembly - EUA*). [30] SEVIRI täisresolutsiooniga pildis on 3712 \* 3712 pikslit [22].



Joonis 2. SEVIRI instrument  
foto: [www.eumetsat.com](http://www.eumetsat.com)

SEVIRI spektraalne ulatus on:

- 0,4 – 1,6  $\mu\text{m}$  (4 nähtavat ja lähis-infrapuna kanalit)
- 3,9 – 13,4  $\mu\text{m}$  (8 infrapuna kanalit) [30]

Tabel 2. Kõrvalekalle päevase - ja kuu keskmise pilvisuse kohta maa kohal MSG ja vaatlusandmete põhjal [24]

Kanali number	Spektraalkanali lühend	Spektraalkanalite karakteristikud ( $\mu\text{m}$ )			Peamine rakendusvaldkond
		$\lambda_{\text{cen}}$ – kesk. lainepikkus	$\lambda_{\text{min}}$ - min. lainepikkus	$\lambda_{\text{max}}$ - maks. lainepikkus	
1	VIS0.6	0.635	0.56	0.71	Maapind, pilved, tuuleväljad
2	VIS0.8	0.81	0.74	0.88	Maapind, pilved, tuuleväljad
3	NIR1.6	1.64	1.50	1.78	Maapind, pilvefaas
4	IR3.9	3.90	3.48	4.36	Maapind, pilved, tuuleväljad
5	WV6.2	6.25	5.35	7.15	Veeaur, kõrged pilved, atmosfääri ebastabiilsus
6	WV7.3	7.35	6.85	7.85	Veeaur, atmosfääri ebastabiilsus
7	IR8.7	8.70	8.30	9.1	Maapind, pilved, atmosfääri ebastabiilsus
8	IR9.7	9.66	9.38	9.94	Osoon
9	IR10.8	10.80	9.80	11.80	Maapind, pilved, tuuleväljad, atmosfääri ebastabiilsus
10	IR12.0	12.00	11.00	13.00	Maapind, pilved, atmosfääri ebastabiilsus
11	IR13.4	13.40	12.40	14.40	<i>Cirrus</i> pilve kõrgus, atmosfääri ebastabiilsus
	HRV	Lairiba (umbes 0.4 – 1.1 $\mu\text{m}$ )			Maapind, pilved

### 2.3.2 SEVIRI instrumendi tööpõhimõte

Instrumendi vaatevälja põhja-lõuna suunal muudetakse skaneeriva peegli abil. Kiirgus on suunatud läbi teleskoobi ning fokuseeritud vastuvõtjatesse. Kanalite eristus toimub fokaaltasapinnal. Pildi informatsioon saadetakse seejärel pardal asuvasse andmeedastussüsteemi. Pildi saamiseks kulub instrumendil umbes 12 minutit, mille järel taastatakse algne positsioon. Seejärel kalibreeritakse instrument sisseehitatud musta kehaga ning algab uus tsükkel. Kogu protsess moodustubki kokku ligikaudu 15 minutit, mis on MSG SEVIRI produktide edastamise sagedus. [30]

Satelliit edastab toore andmestiku SEVIRI instrumendilt EUMETSATi juhtimis- ja andmetöötlus-keskusesse Darmstadt'i Saksamaal. Andmed formuleeritakse väljatöötatud algoritmide abil produktideks, mida saavad kasutada meteoroloogid ja klimatoloogid. Nendeks produktideks on näiteks tuulediagrammid, troposfääri niiskus ning käesolevas magistritöös kasutatud pilveprodukt.

### 2.3.3 Ülevaade pildiproduktidest

SEVIRI instrumendi produktid on jagatud huvipakkuva ala järgi kategooriatesse, milleks on atmosfäär, ookean, maismaa ja kliima.

Atmosfääri kategooriasse kuuluvad SEVIRI poolt mõõdetud aerosooli-, analüüsi-, pilve-, ilmaennustuste -, niiskuse-, mudelite -, vaatlus -, sademete -, õhurõhu -, kiirguse -, temperatuuri -, kasvuhoonegaaside – ja tuule produktid.

Ookeani kategoorias toodab kõnealune instrument andmeid üksnes pinna temperatuuri produktidele.

Maapinna kategoorias toodetakse infot põlengu-, maapinna temperatuuri -, lume ja jää- ning vegetatsiooni produktide jaoks.

Kliima kategoorias saadab SEVIRI infot kliima pideva jälgimise huvides.

### 2.3.4 Ülevaade pilveproduktidest

Pilveprodukte on kokku kaheksa, millest sünteesitakse omakorda uut informatsiooni, millega ilmastiku nähtusi seletada. Nendeks on pilve optiline tihedus (i k *cloud optical thickness* - COT), pilvefaas (i k *cloud phase* - CPH), pilve tipu kõrgus (i k *cloud top height* - CTH), pilve tipu rõhk (i k *cloud top pressure* - CTP), pilve tipu temperatuur (i k *cloud top temperature* - CTT), pilvetüüp (i k *cloud type* - CTY), pilvevee kihi paksus (i k *cloud water path* - CWP) ja pilvede osakatvus (i k *fractional cloud cover* - CFC).

COT produkt annab pilve optilise tiheduse väärtuse pikslite kohta, mis on eelnevalt klassifitseeritud pilvepikslina. Produkti algoritm põhineb 0,6 ja 1,6  $\mu\text{m}$  kanalite väärtustel.

CPH produkt näitab pilve termodünaamilise faasi pilve ülemistes kihtides, määratledes ära kolm lõppkategooriat: vesi, jää ja nende segu. Väärtus esitatakse protsentides vastavalt kategooriate osakaalule.

CTH produkt annab informatsiooni pilve tipu kõrguse kohta maapinnast. Väärtused esitatakse meetrites.

CTP produkt kannab informatsiooni rõhu kohta pilve tipu nivool. Arvulised väärtused esitatakse hektopaskalites (hPa).

CTT produkt esitab pilve tiputemperatuuri kelvinites.

CTY ehk pilvetüübi produkt põhineb pilvetüübi määramise algoritmidel nii geostatsionaarse (Meteosat) kui polaarorbitaalse satelliidi (MetOp) andmete põhjal. Pilved jaotatakse viite klassi: madalad pilved, keskmised pilved, läbipaistvad kõrged pilved, õhukesed kõrged pilved ja osalised pilved. Arvväärtused väljastatakse protsendides, omistades iga klassi kohta sobiva osakaalu.

CWP ehk vee sisaldus pilves arvutatakse funktsioonina pilve optilisest tihedusest ja piisa raadiusest. Ühikuks on  $\text{kg/m}^2$ .

CFC ehk pilvede osakatvus on otsene tulemus pilvemaski produktist. Pilve mask sisaldab endas viite klassi: 0 – töötlemata, 1 – pilvevaba, 2 – osalised pilved, 3 – pilvedega täidetud, 4 – lumi/jää ning 5 – klassifitseerimata. Pilvede osakaal on defineeritud kui pilvepikslite (klassid 2 ja 3) suhe kõikidesse pikslitesse antud regioonis. Regiooniks on võetud  $15 * 15$  km ala. Kuna instrumendi lahutusvõime on 3 km, tähendab antud produkt seda, et alusklastriks on võetud  $5 * 5$  piksli suurune ruut.

### **2.3.5 Pilvemaski arvutamine**

Pilvemaski produkt teenib nii lühiajaliste meteoroloogiliste ennustuste kui maismaa- ja veekaugseirega seotud huve. Pilvemaskiga on võimalik identifitseerida pilvevabu alasid, millel saab läbi viia teisi arvutusi. Näiteks maa – või vee pinnatemperatuurid või täpne jää- lume jaotus konkreetsel alal. Pilvedega kaetud aladel arvutatakse peamiselt pilvetüüpe ja sajualasid. Pilvemaski peamine eesmärk on eristada pilvevabad pikslid võimalikult suure täpsusega. [31]

Pilvemaski arvutatakse multispektraalsete kanalite läviväärtuste meetodil: pilti võrreldakse kindlate heledustemperatuuri või peegelduslävidega. See tähendab, et rakendatavate algoritmide testid indikeerivad kas piksli piires on tegemist pilvede, lume või jääga. Neid teste rakendatakse vee – või maismaaladele olenevalt ala valgustatusele (öö, päev, hämarik või päikeseläige). Valgustatuse jaotuse defineerimine on leitav Tablist 3, testide järjekord maismaa kohal Tabelist 4 ning testide järjekord vee kohal Tabelist 5. Täpsem ja ammendav arvutuslik käik pilvemaski arvutamiseks on toodud SEVIRI pilveproduktide arvutamise käsiraamatus [31]. [22]

Testide läbiviimise tingimused ja järjekord on toodud järgnevates tabelites:

Tabel 3. Valgustatuse olekud testide määramiseks

Öö	Hämarik	Päev	Päikeseläige
Päikese kõrgus < -3°	-3° < Päikese kõrgus < 10°	10° < Päikese kõrgus	Cox & Munck > 10% Päikese kõrgus > 15°

Cox & Munck väärtus peegeldusteguri jaoks arvutatakse kasutades Cox ja Munck (1954) [32] teooriat. Päikese kõrgus horisondist väljendatakse kraadides.

Tabel 4. Testide järjekord maismaa kohal

Päev	Hämarik	Öö
Lumikatte detekteerimine	Lumikatte detekteerimine	T10.8µm
T10.8µm	T10.8µm	T10.8µm-T12.0µm
R0.6µm	R0.6µm	T8.7µm-T10.8µm
T10.8µm-T12.0µm	T10.8µm-T12.0µm	T10.8µm-T8.7µm
T8.7µm-T10.8µm	T8.7µm-T10.8µm	T3.9µm-T10.8µm
T3.9µm-T10.8µm	T10.8µm-T8.7µm	Kohalik ruumiline analüüs
Kohalik ruumiline analüüs	T3.9µm-T10.8µm	T8.7µm-T3.9µm
	Kohalik ruumiline analüüs	
	T8.7µm-T3.9µm	

Tabel 4. Testide järjekord vee kohal

Päev	Päikeseläige	Hämarik	Öö
Jääkatte detekteerimine	Jääkatte detekteerimine	Jääkatte detekteerimine	Mere pinnatemperatuur – SST ( <i>i k sea surface temperature</i> )
Mere pinnatemperatuur – SST	Mere pinnatemperatuur – SST	Mere pinnatemperatuur – SST	T10.8µm-T12.0µm
R0.8µm (R0.6µm)	T10.8µm-T12.0µm	R0.8µm (R0.6µm)	T8.7µm-T10.8µm
R1.6µm	T8.7µm-T10.8µm	R1.6µm	T10.8µm-T3.9µm
T10.8µm-T12.0µm	Local Spatial Texture	T10.8µm-T12.0µm	T12.0µm-T3.9µm
T8.7µm-T10.8µm	R0.8µm (R0.6µm)	T8.7µm-T10.8µm	T3.9µm-T10.8µm
T10.8µm-T3.9µm	T10.8µm-T3.9µm	T10.8µm-T3.9µm	Kohalik ruumiline analüüs
T3.9µm-T10.8µm	Madalate pilvede test	T12.0µm-T3.9µm	
Kohalik ruumiline analüüs		T3.9µm-T10.8µm	
		Kohalik ruumiline analüüs	

Päikeseläike juhtumiga on tegu siis, kui ookeanipind peegeldab päikesevalguse satelliidi sensorini ja seeläbi pildile. Kuna maailmamere pind ei ole kunagi täiesti sile, murdub ja hajub valgus lainetes suuremale alale, mida nimetatakse päikeseläike regiooniks (*i k sunlint region*). [33]

Võrreldavad läviväärtused, millega valitud kanalite tulemusi võrreldakse, on leitavad andmetabelites. Lumikatte tuvastamine toimub R1.6µm, R0.6µm, T3.9µm, T10.8µm kanalite andmete abil. Jääkatte detekteerimine algab juhul, kui kliimaatiline merepinna temperatuur on alla 277,15 K. Test toimub R1.6µm, R0.6µm, T3.9µm, T10.8µm, T12.0µm kanalite tegurite alusel. Lumi ja jää eraldatakse pilvedest nende madala peegelduse abil 1.6 µm või 3.9 µm juures, pilvevabast merelistest või kontinentaalsetest pindadest R0.6µm nähtava peegelduse ja veidike jahedama kiirgustemperatuuriga kanali T10.8µm abil. Kanalid T10.8µm – T12.0µm aitavad eristada *cirrus*-tüüpi pilvi jää- või lumekattest. Kanal R0.8µm on kasulik eraldamaks varjusid lume – ja jääkattega pindadelt. Kohaliku ruumilise analüüsi (*i k local spatial filtering*) korral lubatakse algoritmil pikslit uuesti klassifitseerida kaheksa naaberpikslil alusel. Kirjeldatud vahesammu kasutatakse pilvisuse valesäirete vähendamiseks rannikualadel ning piirkondade piiril kus võib esineda lumikate. Madalate pilvede testis kasutatakse päikeseläike korral kanaleid 0.6µm ja 3.9µm. Läike korral on maailmamere peegeldusväärtused mõlemas kanalis kõrged. Madalate pilvede puhul 3.9µm kanalis see nii ei ole. [31]

Käesolevas töös on kasutatud päeva keskmist pilvisust mis arvutatakse järgnevalt:

$$DM = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k CFC(n),$$

kus DM tähendab päeva keskmist (*i k daily mean*), *k* on CFC väärtuste arv ühes päevas ning *n* vastavalt mõõdetud CFC väärtus. [31]

### 2.3.6 Ülevaade kasutatud andmevormingutest

Andmete salvestamiseks, edastamiseks ja töötlemiseks kasutati kahte vormingut:

#### **NETCDF**

*Network Common Data Form* on platvormist ning masinast olenematu vorming teaduslike andmete vahetamiseks. Formaat on avatud ning isekirjelduv. See tähendab seda, et faili päis määrab ära failis andmeridade paiknevuse ja andmetele lisanduvad *meta*-andmed ja atribuudid.

#### **XML**

*The Extensible Markup Language* ehk XML-i kasutatakse info jagamiseks erinevate süsteemide ja programmide vahel.

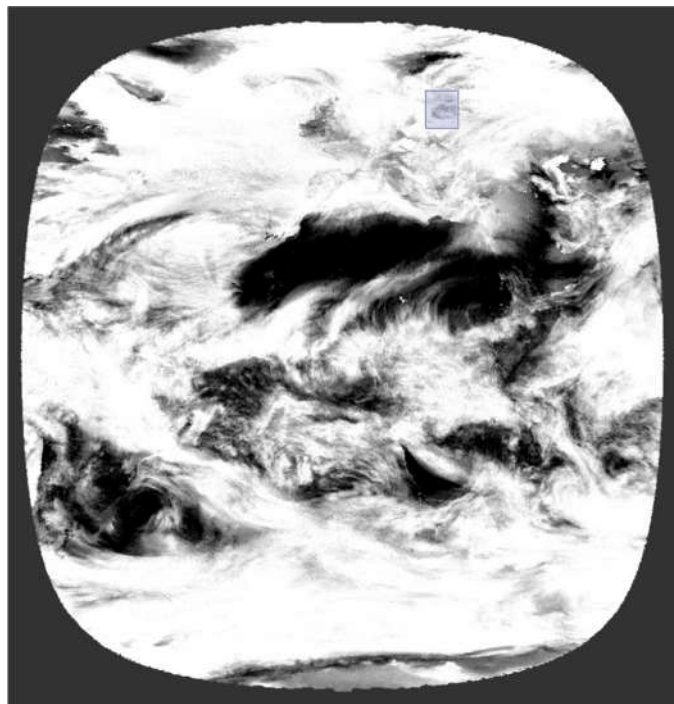
### 3. Andmed ja meetodid

Järgnevas peatükis kirjeldame töös kasutatud andmeid ja meetodeid. Satelliitandmetena kasutasime 2004-2011 pilvisuse andmeid MSG SEVIRI-ilt ning võrdlesime neid erinevates Eesti jaamades aastatel 2004-2011 teostatud vaatluste tulemustega.

#### 3.1 Andmed Meteosatilt

Käesolevas töös kasutatud lähteandmeteks on MSG SEVIRI produkt CFC. EUMETSATI andmebaasides on pilvede osakatvus arvatud päeva keskmisena. Päeva keskmine tähendab, et arvatud on ööpäeva keskmine pilvisus. Andmete formaadiks on NETCDF, mis lubab avada neid mitmes rakenduses erinevatel operatsioonisüsteemidel. Andmebaasist saab tellida andmeid produkti põhjal sorteerides ning ajavahemikku määratledes. Pärast kohustuslikku registreeringut veebilehel <http://www.cmsaf.eu> on kasutajal võimalus soovitud pildid tellimusse lisada. Olenevalt andmete mahust vormistatakse need ja laetakse üles CM-SAF failiedastusprokolliga serverisse, kust kasutajal on neid mugav arvutisse laadida. Käesoleva magistritöö andmetöötluseks kasutati CFC produkti ajavahemikus 19.01.2004 – 31.12.2011. Visuaalne näide produktist on näha Joonisel 3. Analüüsi kokku 2922 pilti, iga päeva kohta üks produkt. Kasutatud produkti päisenäidis on „CFCdm2004012000000012301600MA“. Faili päist lugedes saame aimu, et tegemist on 20. jaanuari 2004. aasta pilveprodukti andmekoguga, mis kätkeb endas päeva keskmisi väärtusi.

Koostatud failid salvestasin ESRI *shapefile* formaati L-EST97 koordinaatsüsteemi järgi. Kasutatud vektorala vastab koordinaatsüsteemi järgi kehtivale riigipiirile. Eesti alale mahub 4372 CFC produkti pikslit.



Joonis 3. SEVIRI täisresolutsiooni pilt võrreldes vajamineva alaga (märgistatud ruuduga)

## 3.2 Pilvisuse andmed Eesti meteojaamadest

Käesolevas töös on võrdlusandmetena kasutatud vaatlusandmeid Harku, Pärnu-Sauga, Tõravere ja Võru vaatlusjaamadest. Andmed päriti Keskkonnaagentuurist 13. aprillil 2015 a. Andmed on tabelarvutusvormingus, seega on võrdlemine satelliidiandmetega pärast nende töötlemist võrdlemisi hõlbus. Ülalpool nimetatud andmed on lahterdatud vastavalt aasta, kuu, päeva, aja (*i k Greenwich Mean Time*), pilvede alumise piiri kõrguse, alumiste pilvede hulga ja üldise pilvede hulga järgi pallides. Olulisemat rolli mängib käesolevat tööd silmas pidades pilvede üldine hulk päeva keskmisena. Päevas on teostatud kaheksa mõõtmist, vastavalt GMT aja järgi 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00.

## 3.3 Kasutatud tarkvara

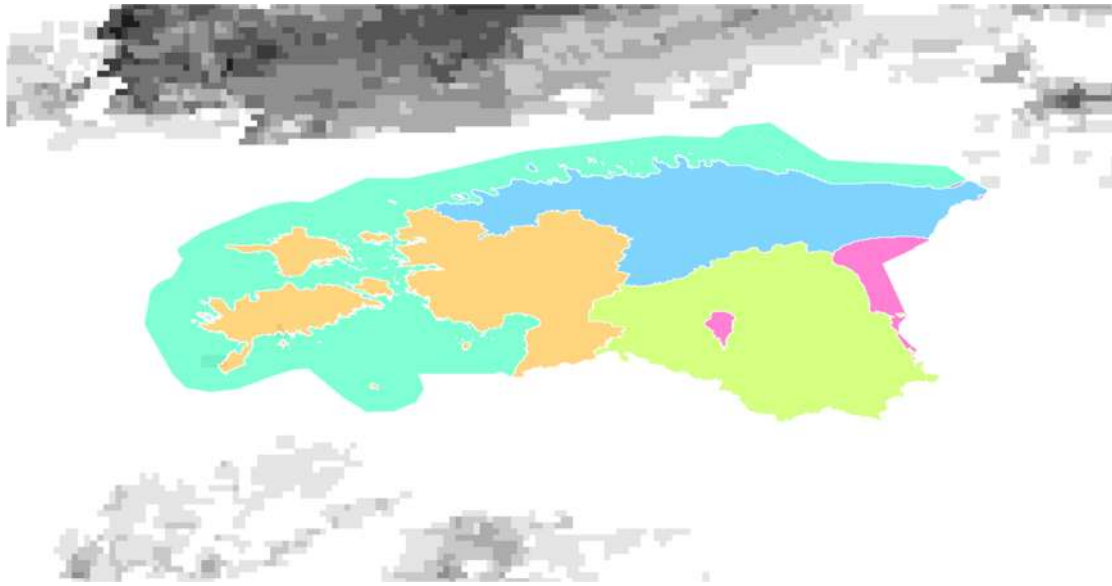
NETCDF failiformaadi visuaalseks kuvamiseks kasutasin programmi BEAM Visat 5.0 (<http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>), mis on tasuta allalaetav. Tegemist on Euroopa Kosmoseagentuuri arendatud tarkvaraga, mis võimaldab kuvada erinevaid produkte ning viia läbi analüüse. Piltide analüüsil on maskina kasutatud regioone kujutavaid vektorkujutisi Eesti Vabariigi alalt. Eesti ala vektorfailide töötamiseks kasutasin vabavaralist tarkvara QGIS (<http://www.qgis.org>), XML failide muutmiseks tuntud tekstiredaktorit Notepad++ (<https://notepad-plus-plus.org>) ning skripti valmistamiseks Python 2.7 versiooni (<https://www.python.org>).

Valmisandmete statistiline töötlus toimus tabelarvutusprogrammiga Microsoft Excel, kasutades lisapaketti Andmeanalüüs (*i k Data Analysis Toolpack*).

## 3.4 Eesti ala jagamine huvipakkuvate regioonide järgi

Kokkuleppeliselt on analüüsitud alad jagatud kahte suuremasse kategooriasse: vee- ja maismaa ala. Vee ala alla kuuluvad jaotused, milleks on Võrtsjärv ja Peipsi järv ühel kihil ning mereala teisel kihil. Maismaa on kehtiva haldusjaotuse alusel maakonniti jaotatud kolmeks: Lääne-Eesti, Põhja-Eesti ja Lõuna-Eesti. Lääne-Eesti regiooni alla kuuluvad Saaremaa, Vormsi, Hiiumaa, Lääne maakond, Rapla maakond ja Pärnu maakond. Põhja-Eesti regiooni Harju maakond, Lääne-Viru maakond, Järva maakond ja Ida-Viru maakond. Lõuna-

Eesti regioon koosneb Viljandi -, Jõgeva -, Tartu -, Põlva -, Võru – ja Valga maakonnast.



Joonis 4. Eesti ala vektorjaotis CFC produktil (sinine – Põhja-Eesti regioon, oranž – Lääne-Eesti regioon, roheline – Lõuna-Eesti regioon, roosa – Peipsi - ja Võrtsjärv, helerohteline – Eesti mereala)

Regioonide jaotus on toodud Joonisel 4. Regioonide siseselt valiti kasutatavateks jaamadeks need, kus leidsid sobivad andmed kattuva perioodiga. Nendeks oli Harku jaam, mida võrreldi Põhja-Eesti regiooniga; Pärnu-Sauga jaam, mida võrreldi Lääne-Eesti regiooniga; Tõravere ja Võru jaamad, mida võrreldi Lõuna-Eesti regiooniga. Võru jaam on töö raames toodud võrdlusjaamaks ühe regiooni siseste erinevuste uurimiseks.

### 3.5 Pilveproduktide töötlemise tsükli kirjeldus

Kuna kõik produktid ei ole alla laadides aastate kaupa eraldi kaustadesse paigutatud, tuleb seda teha käsitsi või suurte andmemahtude korral kasutada automatiseeritud viise.

Töö käigus valminud skripti (LISA 1) eesmärk oli statistiline analüüs iga päeva pildi kohta eraldi kirjena väljastatavasse faili. BEAM-i graafiliste andmete tötlusvahend GPT (*i k Graph Processing Tool*) võtab statistilise analüüsi valimisse kõik failid korraga, mitte päeva kaupa nagu käesolev töö seda nõuab. Seetõttu oli tarvis anda statistilise analüüsi protsessorile korraga ette üks produktifail ning salvestada tulemid uue kirjena eraldi faili. Skript lisab tsükli lõppedes kõik üksikud kirjed ühte tekstifaili. Kuna produktid on eelnevalt jaotatud ära aastate lõikes, on ka lõppkirje failis analüüs terve aasta andmete kohta.

XML fail on antud juhul käskude kogum BEAM GPT tööriistade juurde. Algne kood on allalaetav BEAMi ametlikult kodulehelt [brockmann-consult.de/cms/web/beam](http://brockmann-consult.de/cms/web/beam). Ettenähtud tarkvaralised tööriistad on mõeldud töötama ka *Microsoft Windows*'is käsurealt käivitatusena.

XML-failis (LISA 2) on kirjeldatud kogu analüüsi tsükkel ühe pildiprodukti kohta. Kasutatud on StatisticsOp operaatorit BEAM GPT tööriistade hulgas. Programmile on ette antud toores produkt ning soovitud maski asukoht arvutis. Ära on märgitud ka soovitud produkti lühike koodnimi „cfc“. Lõpetuseks on märgitud väljastatava andmefaili sihtkoht arvutis.

### **3.6 Kaugseireks sobivate päevade defineerimine**

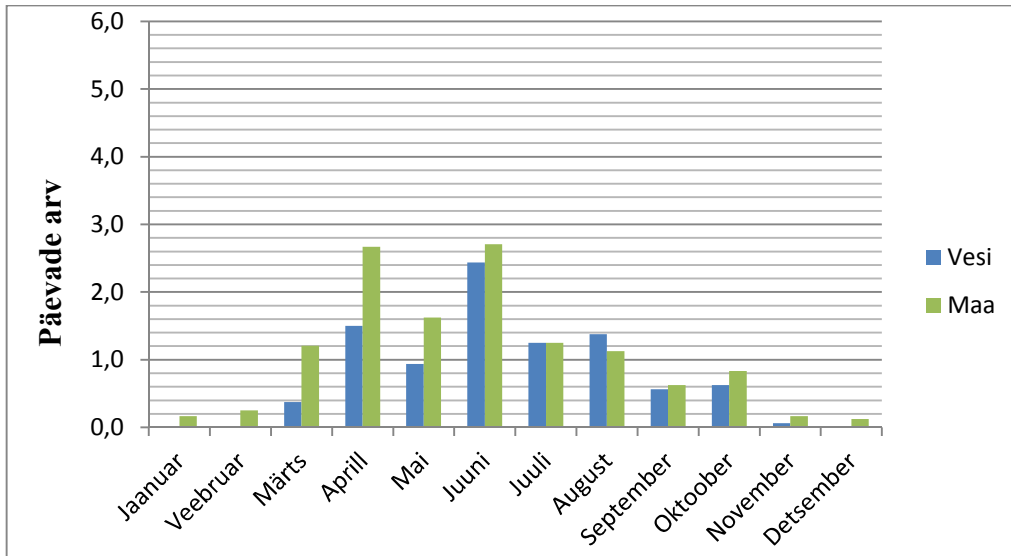
Optiliseks kaugseireks sobivad pilvevabad või vähese pilvisusega päevad. Kümne- ja kaheksapallisüsteemid on defineeritud pilvevabaks kui taevast on kaetud  $\leq 1$  palli. See tähendab kümnepallisüsteemis 10% ja kaheksapalli süsteemis 12,5% taeva kaetust. Käesolevas töös võrreldakse MSG pilvisuse andmeid kümnepallisüsteemiga kuna andmed vaatlusete kohta Eesti alal on toodud just selles süsteemis ning satelliitpilvisuse andmemassiivide ümberarvutamine ei ole antud kontekstis mõttekas.

Kokkuleppeliselt otsustasin töös kasutada läviväärtuseid üks ja kaks palli ehk 10% ja 20% pilvisust pilvevaba päeva kohta. Seda selletõttu, et suurem osa optilistest satelliidiandmetest on siiski suurema osa ala jaoks kasutatavad ka 20% pilvisuse korral. Ka Eerme (2004) [34] on kasutanud mõlemaid läviväärtusi selgete taevaosade defineerimiseks *Cirrus* tüüpi pilvede detekteerimiseks ning viinud läbi vastava võrdluse.

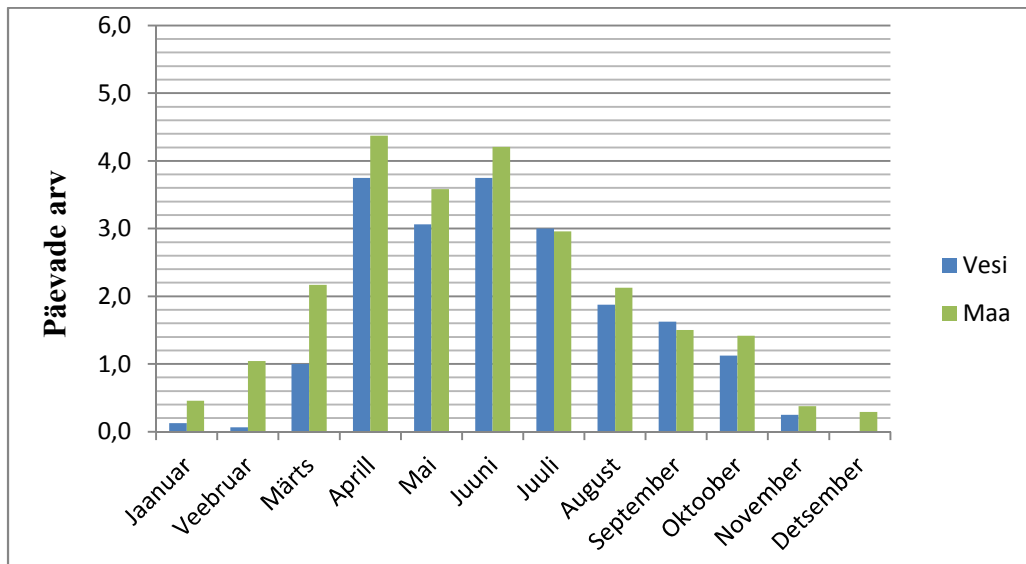
## 4. Tulemused ja arutelu

### 4.1 Ülevaade satelliitpilvisusest

Maismaa alaks on kogu Eesti piiridesse jääv maa-ala. Vee ala koondab enda alla Eesti riigipiiri sisse jäävat mereala, osa Peipsi järvest ning Võrtsjärve.



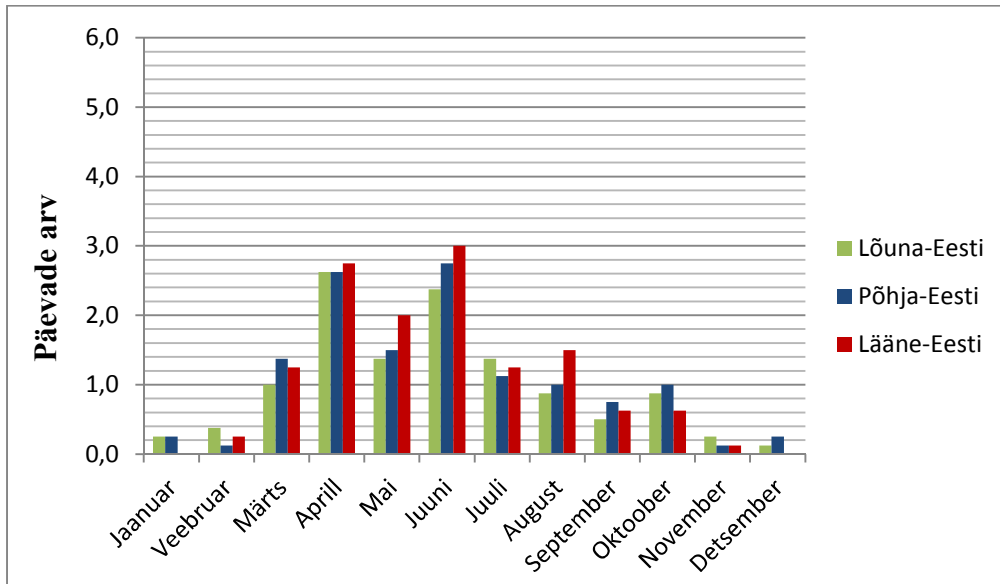
Joonis 5. Keskmise kaugseireks sobivate päevade arv aastas maismaa ja vee kohal 10% läve korral



Joonis 6. Keskmise kaugseireks sobivate päevade arv aastas maismaa ja vee kohal 20% läve korral

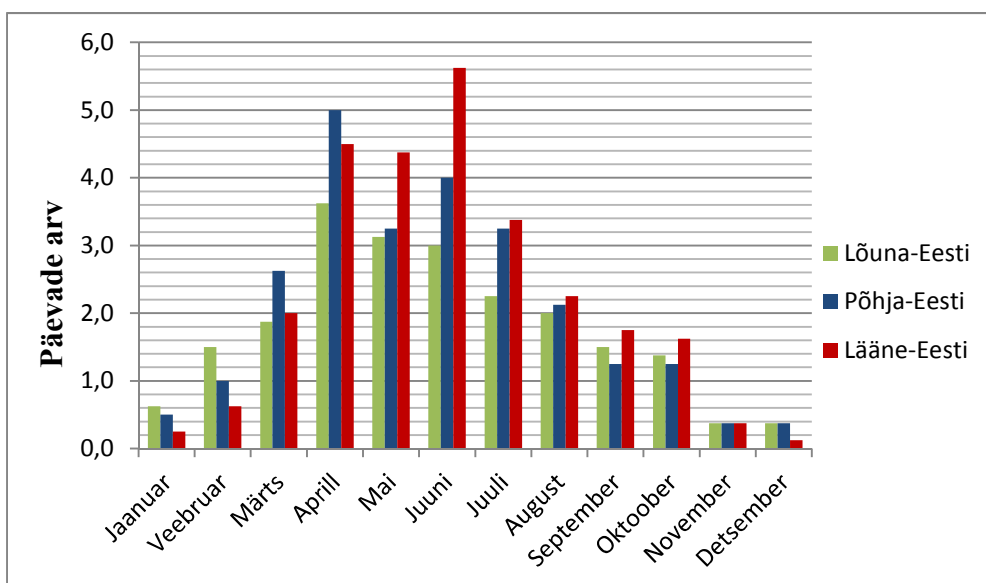
Joonisel 5 on 10% läve korral on kaugseireks sobivamate päevade arv kõige kõrgem aprillis ja juunis, mil kaheksa aasta keskmise pilvevabade päevade arv küündib üle 2,5 maismaa alade ning vastavalt 1,5 ja 2,5 merealade kohal.

Joonisel 6 on 20% läve korral on sobivamate päevade arv suurem, kõige rohkemate sobivamate päevadega on taas aprill ja juuni, mil on vastavalt üle 4 sobiva päeva maismaa kohal ning üle 3,5 merealade kohal. Võime lähendatult öelda, et aprillist juulini on võimalik iga nädal saada üks peaaegu pilvevaba nähtava spektri pilt.



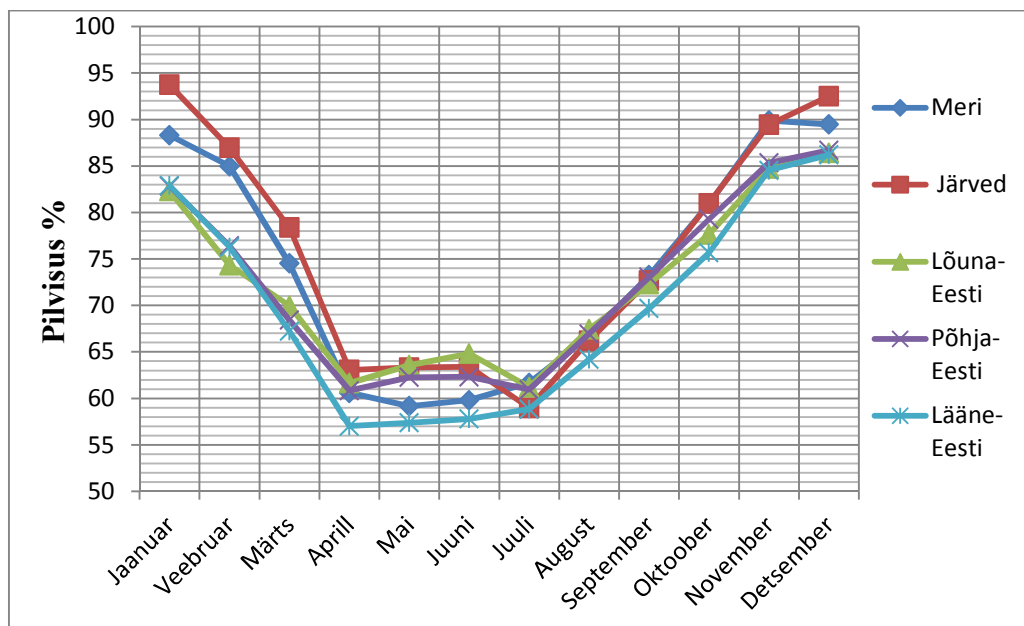
Joonis 7. Keskmise kaugseireks sobivate päevade arv regiooniti 10% läve korral

Jooniselt 7 ilmneb, et ka erinevates Eesti maismaaregioonides domineerivad selgelt aprill ja juuni kui kõige rohkemate kaugseireks sobivate päevade arvuga kuud. On näha, et kõige rohkem sobivaid päevi ilmneb suvekuudel Lääne-Eestis (ligikaudu 3). Samas on talvekuudel lootus Lääne-Eestis pilvituid päevi kohata kaduvväike.



Joonis 8. Keskmise kaugseireks sobivate päevade arv regiooniti 20% läve korral

Joonis 8 sobivate päevade kohta 20% läve korral näitab sarnast üldpilti aastasest käigust. Sobivamate päevade arvu poolest juhivad aprill ja juuni, järgnevad mai ja juuli. Regioonide lõikes on Lõuna-Eestis eelis kohata sobivat päeva ainult aasta esimesel kahel kuul. Märtsis juhib tõenäoliselt sobivamate päevade arvu poolest Põhja-Eesti. Lääne-Eesti domineerib kasutatavate andmete lõikes sobivate päevade poolest maist oktoobrini. Kõige suuremad regioonidevahelised erinevused esinevad mais, juunis ja juulis. Kahekordne sobivate päevade arvu vahe esineb mais Lõuna-Eesti ja Lääne-Eesti vahel.

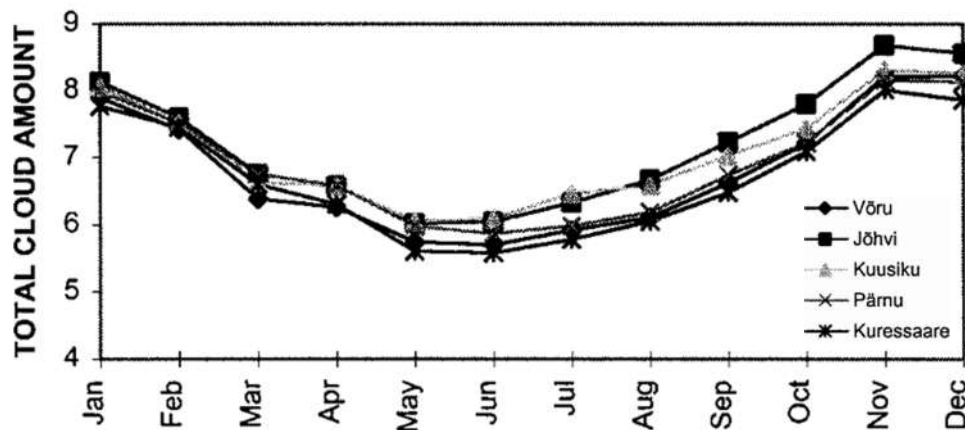


Joonis 9. Üldine satelliitpilvisus aastatel 2004-2011

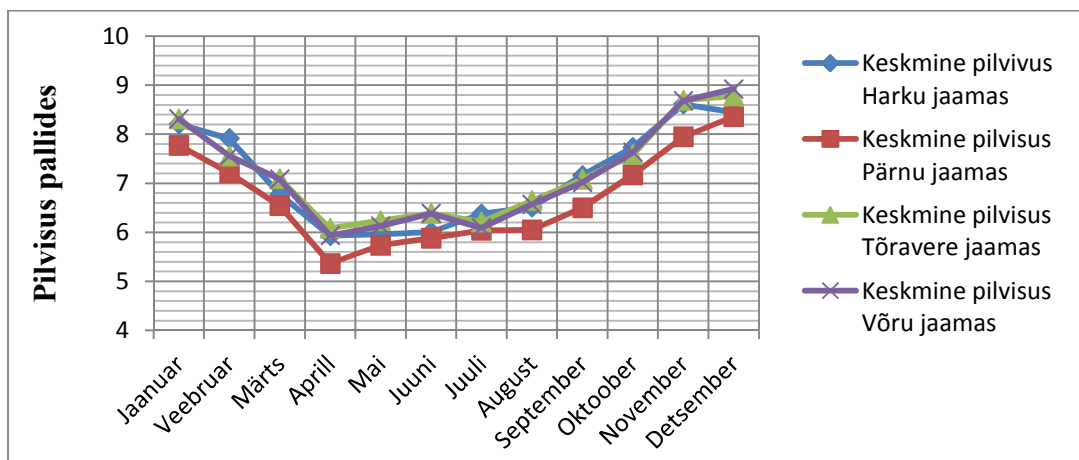
Joonisel 9 on näha kaheksa aasta keskmistatud pilvisuse käik Eesti kohal, erinevates jaotatud regioonides Meteosat teise generatsiooni satelliidiandmete põhjal. Joonist aluseks võttes saab järeldada, et talvel ja varakevadel on Eesti mereala ja suuremad järved suurema pilvisusega kui mistahes mandriosa. Kõige vähesema pilvisusega regioonid varasuvel on Lääne-Eesti ja Eesti mereala küündides aprillis vastavalt 56-protsendini ja 61-protsendini. Mais on sama näitaja vastavalt 57% ja 59%. Toetudes andmetele aastatest 2004-2011, näeme me, et pilvisuse miinimum on klimatoloogilise juuni asemel nihkunud aprilli. Seda nii vaatlusandmete kui MSG SEVIRI mõõtmiste kohaselt. Loomulikult ei oma 8-aastane tsükkel 41-aastase tsükliga sarnast usaldusnivood, kuid teatav muutus pilvisuses Eesti ala kohal uuritud ajavahemikus on täheldatud.

## 4.2 Satelliitpilvisuse võrdlus vaatlusjaamades registreeritud pilvisusega

Satelliitpilvisus omab teadagi head ruumilist katvust ning võimaldab andmeid saada sealt, kus igapäevaselt pilvisuse hinnanguid vaatluse teel ei ole võimalik teha. Satelliitpilvisuse hinnang on ka tunduvalt täpsem, pakkudes andmeid täpsusega neli kohta pärast koma. Töös esitamiseks on kõik arvud siiski ümardatud täisarvudeks, hõlbustamaks võrdlust vaatlusandmetega. Küll aga omavad vaatlusandmed paremaid aegridu ning hästikoolitatud ja püsiva personaliga on kokkuleppelises 10-palli süsteemis hinnangud nii täpsed, kui kaasajal võimalik. Järgnevalt on võrreldud satelliitpilvisust Meteosat teise generatsiooni satelliidilt ning maapealseid vaatlusandmeid sama aja jooksul. Võrreldud on regionide ning nende vastavaid meteoroloogiajaamade andmeid. Kirjandusest kasutatavate ning autori valmistatud jooniste visuaalset võrreldatavust on parandatud skaalade ühtlustamisega.

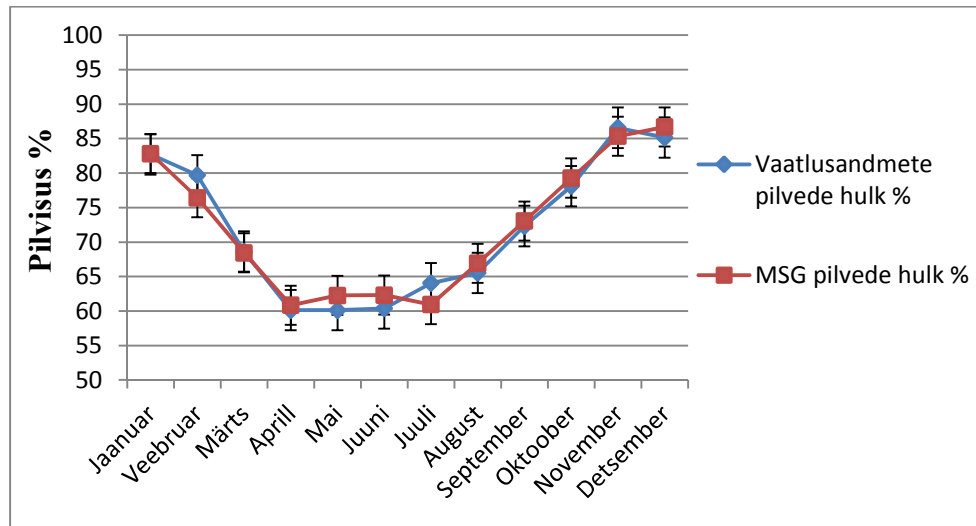


Joonis 10. Klimatoloogiline pilvisuse käik vaatlusandmete põhjal [18]

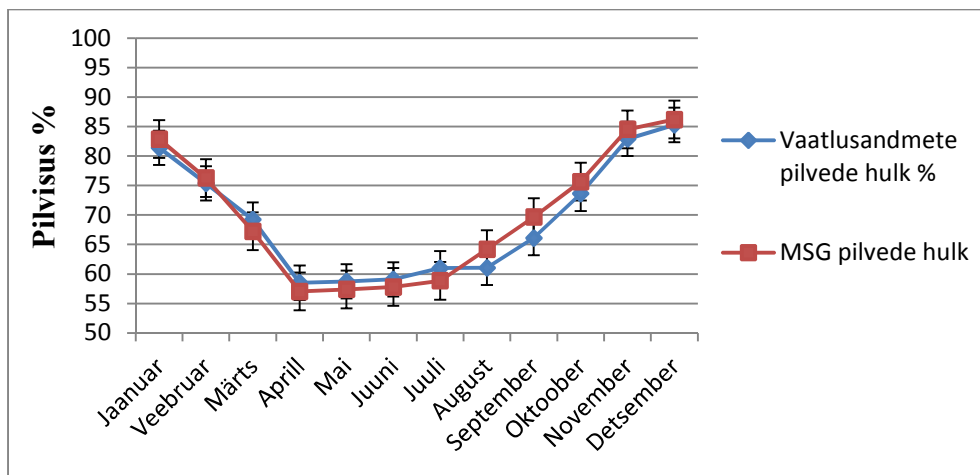


Joonis 11. Kaheksa aasta kuu keskmine pilvisuse käik vaatlusandmete põhjal

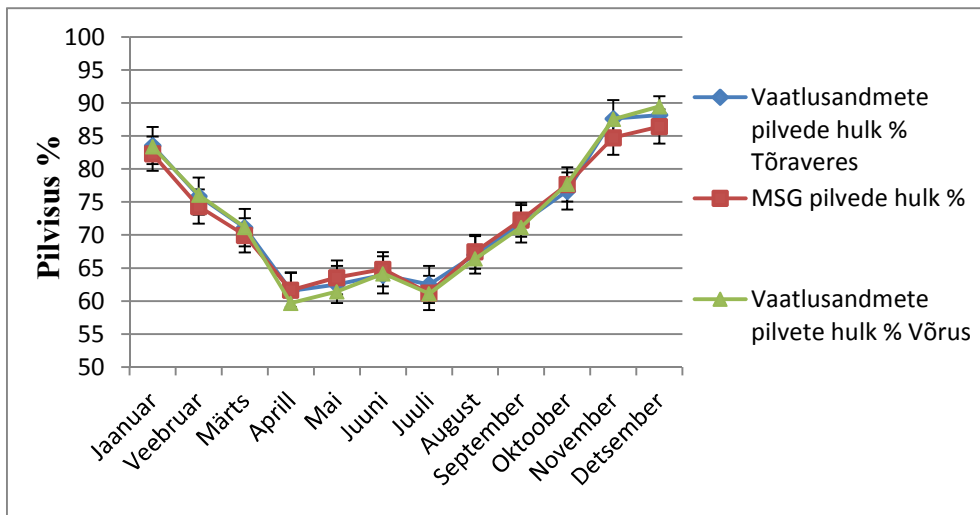
Võrreldes pilvisuse klimatoloogiaga, mis on toodud Joonisel 10, näitavad 2004-2011 aastatel vaatlusandmed pilvisuse märgatavat vähenemist aprillis ning mõnigast suurenemist detsembris. Nimetatud kaheksa aasta käik on toodud Joonisel 11.



Joonis 12. Harku jaama ning MSG Põhja-Eesti andmete võrdlus



Joonis 13. Pärnu-Sauga jaama ning MSG Lääne-Eesti andmete võrdlus

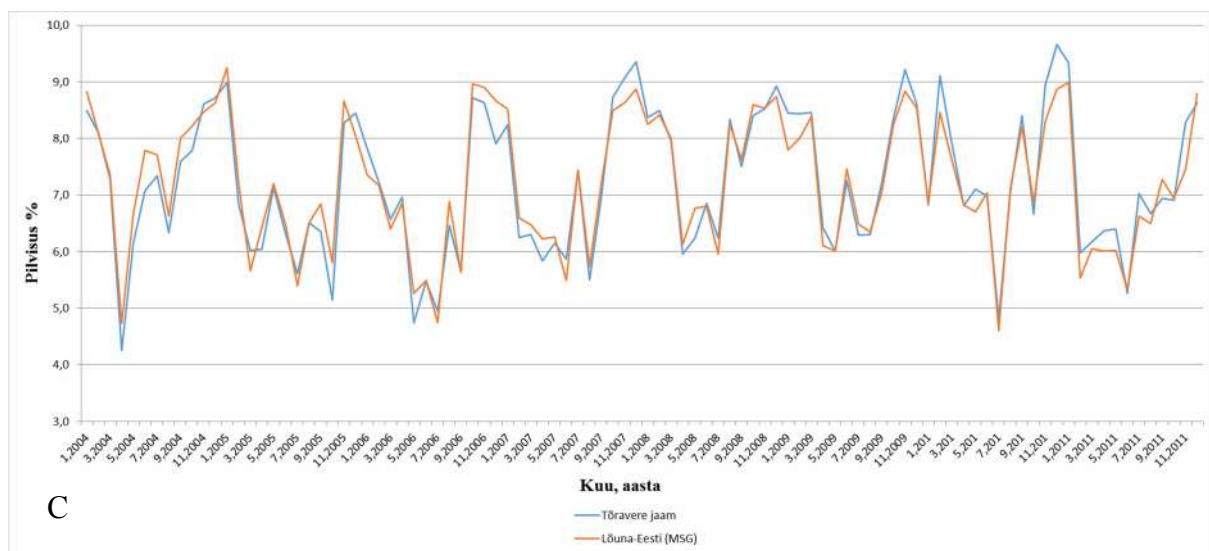
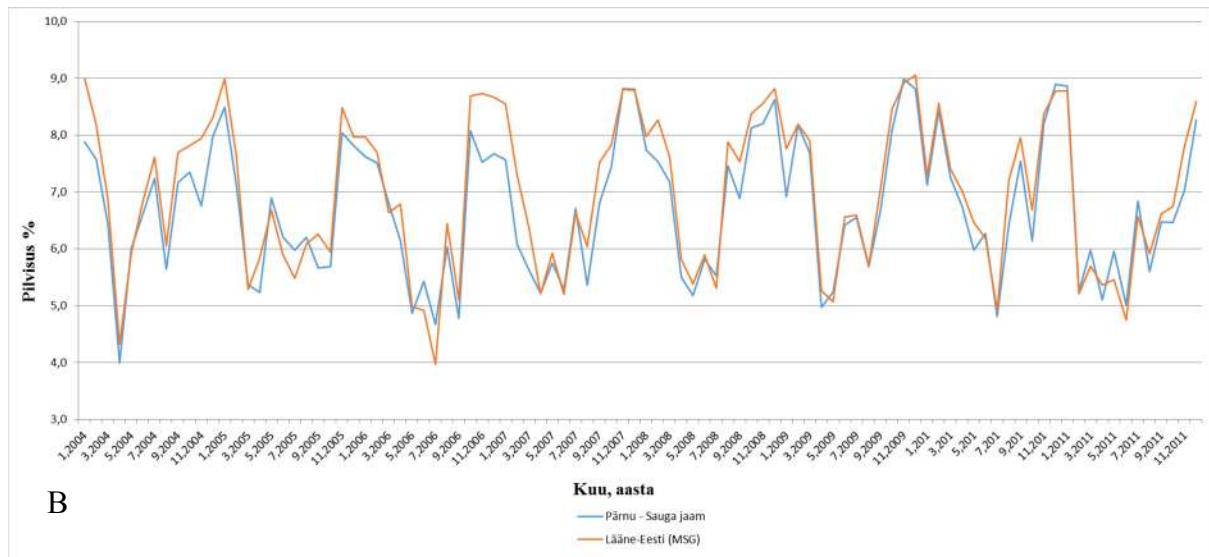
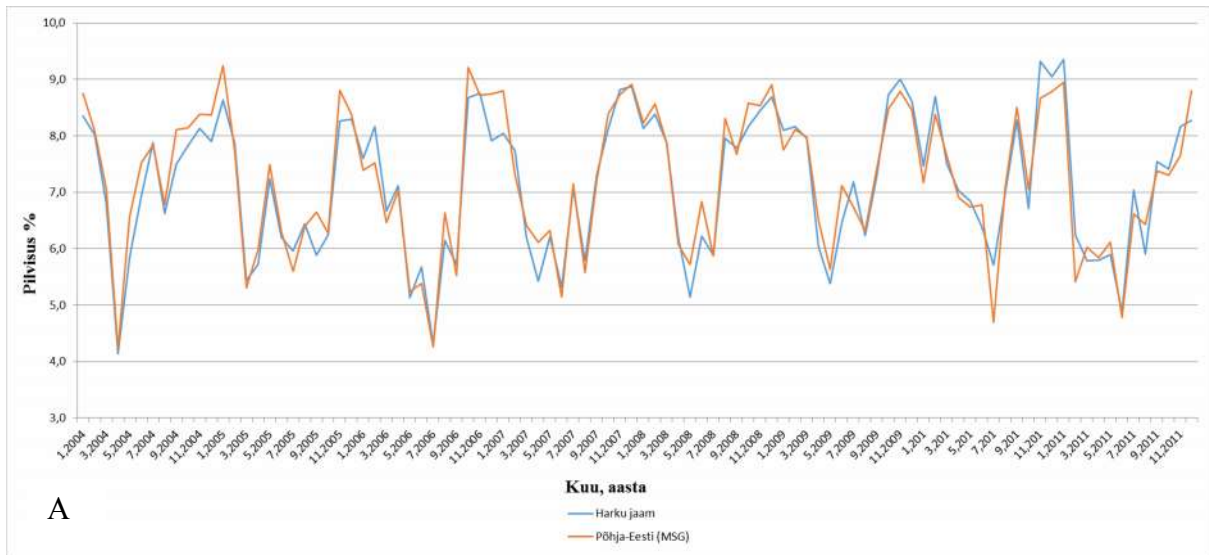


Joonis 14. Tõravere ja Võru jaama ning MSG Lõuna-Eesti andmete võrdlus

Vaatlusandmed ning Meteosati mõõtmised langevad kokku standardhälbe piirides. Päevakeskmisel tasemel satelliit - ja vaatlusandmed ei korreleeru. Korrelatsiooninäitaja on päevakeskmiste andmete võrdlusel vaid 0,19. Kuukeskmised väärtused näitavad tugevat korreleerumist ning korrelatsiooninäitaja on 0,96. Väikesed erinevused talvel Põhja-Eestis (Joonis 12) ja Lõuna-Eestis (Joonis 14) võivad olla tingitud satelliidi instrumendi suutmatusest eraldada lumi- ja jääkatet pilvkattest teatud tingimustel. Muul ajal võib olla tegu vaatlusandmete lokaalsuse või nähtavusest tingitud erisustega. Kui arvestada, et satelliidi andmed on keskmistatud ühe kindla regiooni piires, ei saa me alati lokaalsete vaatlusandmete põhjal järeldada, et ka need on täielikus vastavuses kogu valitud regiooni piires toimuvaga. Vaatlust ning ka pilvede teket võivad ka ühe regiooni siseselt mõjutada erinevad pinnavormid. Pinnavormide erisuse tõttu võib regioonisiselt erineda näiteks lumikatte olemasolu veel hiliskevadel ning temperatuuride jaotumine erinevates piirkondades. Võrdlus vaatlusandmetega on vajalik veel kui ristkontroll satelliidiandmetele, millega arvutusi teha soovitakse.

Joonisel 14 on toodud Meteosati andmete võrdlus kahe Lõuna-Eestis asetseva vaatlusjaama andmetega (Tõravere ja Võru). Regiooni valik oli antud võrdluses juhuslik. Koostatud võrdluse eesmärk oli välja selgitada, kas asukoht ühe regiooni piires mõjutab tulemusi märgatavalt. Erisus asukohta tõttu tuli mõningal juhul välja aprillis ja mais, mis võib olla tingitud aluspinna erinevatest temperatuuridest.

Joonisel 15 on väljendatud pilvisuse aegriidade võrdlust kolme maismaaregiooni ning satelliitpilvisuse ja vaatlustulemuste vahel.



Joonis 15. Piltvisuse aegridade võrdlus a) Põhja-Eesti ja Harku b) Pärnu-Sauga ja Lääne-Eesti c) Tõravere ja Lõuna-Eesti

### 4.3. Keskmise pilvisuse ja keskpäevase pilvisuse võrdlus

Keskmise pilvisuse arvtamiseks keskmistati kõik kaheksa vaatlust päevas. Andmetes oli eraldi välja toodud madalate pilvede ja kogu-pilvisus. Antud kontekstis kasutati kogupilvisust. Keskkonnaagentuurist saadud andmetest ilmnesid erijuhud, milleks olid:

- Kood 11 – pilvisus 0 palli mõnede jälgedega
- Kood 12 – pilvisus 10 palli mõnede aukudega
- Kood 13 – pilvisust ei ole võimalik määrata

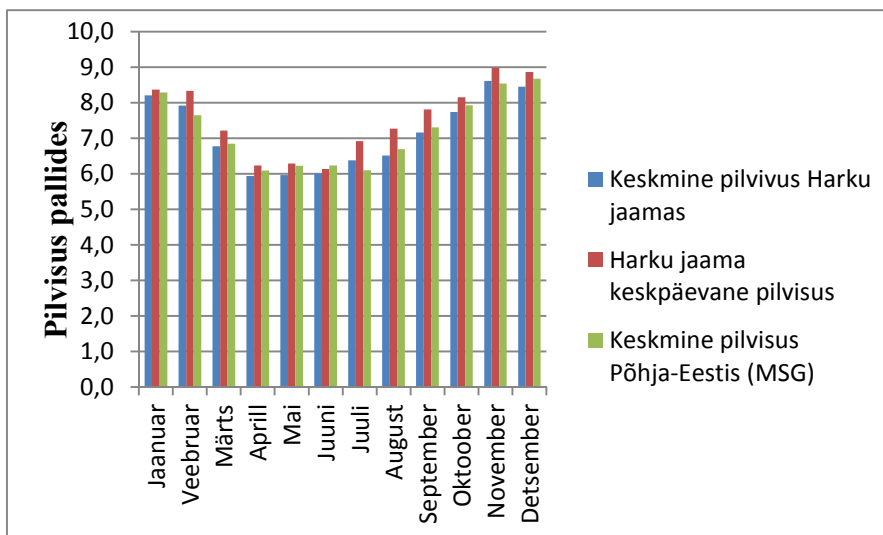
Autor asendas arvutamise hõlbustamist silmas pidades ülalpool loetletud koodid esimeses lähenduses 0-10 pallisesse skaalasse järgnevalt:

- Kood 11 – pilvisus 0 palli
- Kood 12 – pilvisus 10 palli
- Kood 13– keskmise arvutamisel selliseid väärtusi omavaid mõõtmisi arvesse ei võetud

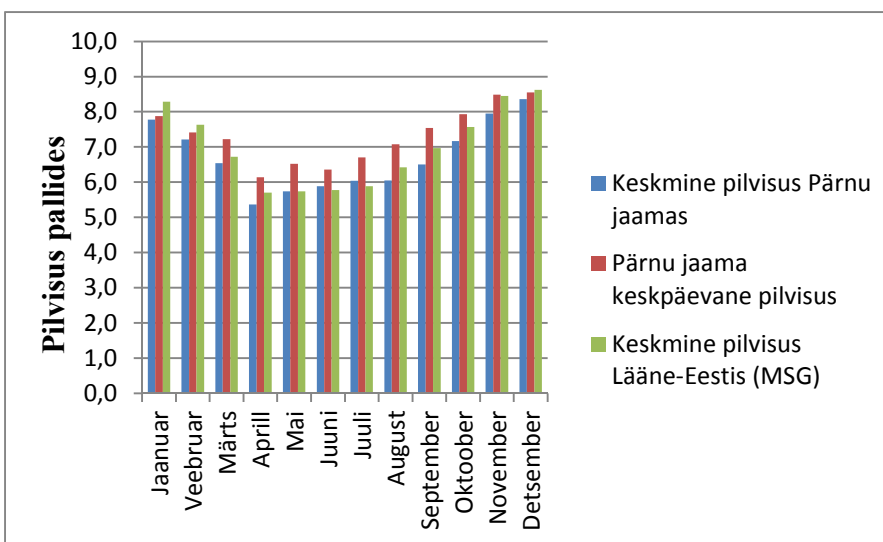
Lisaks uuriti päevade arvu, mil polnud pilvisust võimalik määrata võimalikust kaheksast vaatlusest neljal või enamal korral. Aluseks on võetud Russaku ja Keevalliku [18] järeldus, et pilvisuse aastakeskmise päevaste mõõtmiste arvust ei olene. Töös võrreldi nelja ja kaheksat mõõtmist päeva kohta. Uuritud päevi oli uuritud ajaperioodi peale:

- Harku jaamas 6, neist kõige enam – 4, aastal 2010
- Pärnu-Sauga jaamas 13, neist kõige enam – 4, aastal 2011
- Tõravere jaamas 1, aastal 2011
- Võru jaamas 3, aastatel 2006, 2009 ja 2010

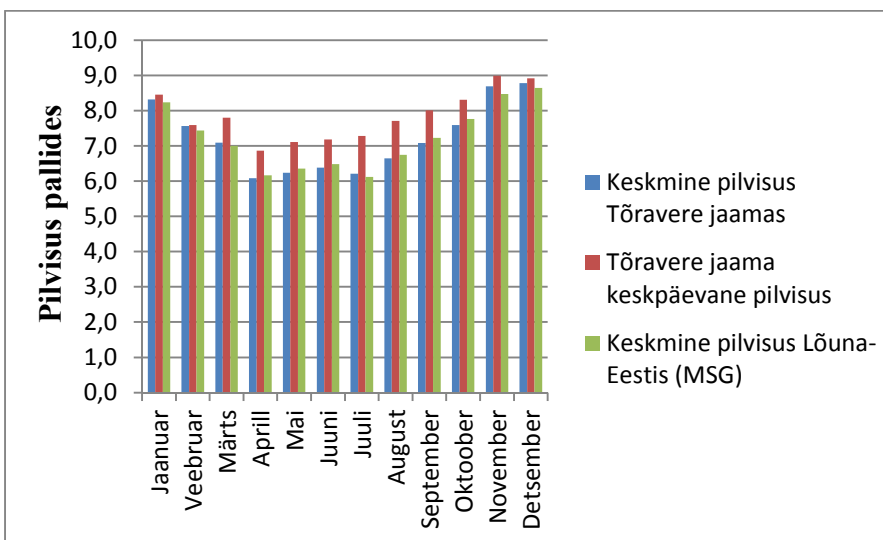
Keskpäevane pilvisus on määratud kell 12:00 GMT (*i k Greenwich Mean Time*) aja järgi ehk ligikaudu ajal, mil päikesesünkroonsed satelliidid Eesti ala vaatlavad s.h. ka Sentinel-seeria satelliidid. Keskpäevane pilvisus on meteoroloogiliselt kõige õigem aeg maksimaalse pilvisuse hindamiseks ühes päevas. Keskpäevaks jõuavad aluspinna soojenemisest tingitud pilved tekkida. Keskpäevase pilvisuse kuukeskmiste arvutamiseks sorteeriti andmehulgast valitud aeg ning määramata juhtudel väärtust arvutusse ei kaasatud. Kõikidel keskmise arvutamisel kasutatud andmetel on arvutustes võrdne kaal.



Joonis 16. Meteosati andmete ja Harku jaama keskmise ja keskpäevase pilvitususe võrdlus



Joonis 17. Meteosati andmete ja Pärnu-Sauga jaama keskmise ja keskpäevase pilvitususe võrdlus



Joonis 18. Meteosati andmete ja Tõravere jaama keskmise ja keskpäevase pilvitususe võrdlus

Keskmiisi ja keskpäevaseid vaatlusandmeid analüüsidest ilmnes, et kõige väiksem erinevus on Põhja-Eesti regioonis Harkus (Joonis 16), kus keskmine erinevus vaatlusandmete aasta lõikes on 0,4 palli. Võrreldes satelliitpilvisuse andmeid kogu regiooni kohta on arvutuslik erinevus 0,3 palli. Pärnu-Sauga jaamas ning Tõravere jaamas on vaatlusandmete erinevus keskmiselt 0,6 palli. Satelliitpilvisuse kohaselt on kogu Lääne-Eesti regiooni pilvisus keskpäevasest Pärnu-Sauga jaama pilvisusest erinev 0,3 palli. Tõravere jaamas on erinevus satelliitpilvisuse ja keskpäevase pilvisusega vahel 0,6 palli. Erinevus Pärnu-Sauga jaama ja satelliitpilvisuse vahel kogu regiooni kohta tuleneb ilmselt faktist, et Pärnu-Sauga jaam üksi ei loo üldist pilti Lääne-Eesti ranniku ning saarte pilvisusest. Väiksem erinevus keskpäevase väärtusega võrreldes Põhja-Eesti ja Lääne-Eesti regioonidega on seletatav merelise kliima mõjutustega, millele on iseloomulikud väikesed õhutemperatuuride amplituudid, mis otseselt keskpäevaste pilvede teket mõjutavad. Kõige suurem erinevus päeva keskmise väärtusega leidis aset juuli keskmisena Tõraveres ja Lõuna-Eesti regioonis. Juulis on kõige kõrgem aastane keskmine temperatuur ning temperatuurimaksimum ning Lõuna-Eesti näol on tegemist üsna reljeefse regiooniga. Lõuna-Eesti päevakeskmise satelliitpilvisuse erinevus keskpäevasest pilvisusest võib olla tingitud rünkpilvede (*cumulus*) tekkega maismaa kohal eelnevalt mainitud tegurite tõttu.

## Kokkuvõte

Mitmed kaugseire rakendused sõltuvad otseselt pilvisusest uuritava ala kohal kuna kasutatakse suures mahus optilisi instrumente. Kasutatavate ja arendatavate rakenduste sihipäraseks funktsioneerimiseks on vaja soovitud ala kohta pilvevabu satelliidipilte. Teadmine, mil on pilvevabu andmekogusid tõenäolisem saada, hoiab kokku ressursse ja võimaldab hinnata rakenduste tasuvust antud geograafilisel alal enne kuluka arendustööga alustamist. Pilvisuse täpsemaid ja hea katvusega andmeid on vaja ka erinevate kiirgusparameetrite arvutamiseks.

Käesolev töö on autorile teadaolevalt ainuke töö seni, mil Eesti ala kohta 15 km ruumilise lahutusega satelliitpilvisuse on uuritud. Töö annab ülevaate Eesti pilvisusest regiooniti ning võrdleb satelliitseire tulemusi maapealsete vaatlustega samal ajaperioodil. Tulemused on eraldi välja toodud nii vee- kui ka maismaa-alade kohta.

Loodi skript spetsiaalselt nimetatud analüüsi tarbeks, mis vajalikke andmehulki töötles, piirkonniti eraldas ning tabelarvutuslikuks töötluks sobivasse vormi teisendas.

Töö käigus läbi viidud analüüsist selgus, et kasutatud kaheksa aasta andmetele tuginedes võib väita, et parimad kuud optiliseks kaugseireks ka satelliitpilvisuse andmetel on aprill ja juuni, mil leidis kõige enam sobivaid päevi. Seda nii 10% (1-palli) kui ka 20% (2 palli) läve rakendamise korral. Saime teada, kuidas suhestub veealade kohal olev pilvisus maismaa kohal olevasse aasta lõikes ning mis võiksid olla erinevuse põhjused. Selgus ka, et keskmise satelliitpilvisuse väärtused kõikusid väiksema amplituudiga keskpäevasest pilvisuse väärtusest võrreldes päeva keskmistega vaatlusandmete põhjal. Teame nüüd, et kahe erineva vaatlusjaama andmed ühe regiooni sees annavad üsna sarnase aastase käigu, kuid kui huvipakkuv ajaline lahutus on lühem kui aasta, tasuks kindlasti kaasata ka teisi vaatlusjaamu samast regioonist. Eriti tähtis on seda teha vahelduvate pinnavormidega ning rannikuäärsetel aladel.

Saadud tulemuste põhjal saab kinnitada satelliitpilvisuse usaldusväärsust Eesti ala kohal uurimaks pilvevabade päevade arvu ning pilvisust regiooniti. Tulevikus võib sarnast töövoogu rakendada MODISE (*i k Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) produktide uurimiseks, kui peaks tekkima vajadus suurema ruumilise või spektraalset elahutusvõime järele. Praeguse töö raames oli SEVIRI ruumiline ja spektraalne lahutus piisav, et anda ülevaade soovitud aladest ja nende aastastest käikudest.

Pilvisuse kui ilma ja kliima mõjutaja andmeid on vajalik võimalikult täpselt teada meteoroloogidel ja klimatoloogidel. Pilvisus mõjutab kaudselt kõiki elualasid, mis sõltuvad ilmaennustustest ning klimatoloogilistest käikudest.

# **Analysis of suitable seasons for optical remote sensing in Estonia according to Meteosat cloud cover data.**

Summary

Maanus Kullamaa

A significant part of remote sensing applications are dependant on cloud coverage in areas of interest because optical instruments are widely used. For most of the cases to create a fully functional application, cloud-free dataset is needed. Knowledge about probability of cloud-free datasets to occur, will help to save time and manage resources more efficiently. Accurate cloud data with great coverage is also useful in calculating different parameters of radiance.

This thesis is the only known satellite cloud data analysis for Estonia that author is aware of. The thesis gives an overview of regional cloud coverage in Estonia and compares cloud data from satellite measurements and observations.

In order to automate the analysis of 2 922 images, a script was written. This script used batching principal that analysed the regional data and made it easier to calculate within Microsoft Excel.

It appeared, based on data of eight years, that the best months for optical remote sensing applications in Estonia are April and June. In those months, most occurances of suitable days were met with both tresholds of 10% and 20% of cloud coverage. It was shown regionally how cloud coverage in mainland and sea differed from each other annually. It was noticed that Meteosat daily mean cloud data had the smallest difference with mid-day observations. We now know that two observation stations within same region provide the similar annual mean. More stations should be taken into account if data in smaller timescale is necessary. It is very important in regions that have large variabilities in landform or in coastal regions.

It can be said that satellite data of cloud coverage is valid to analyse regional cloud coverage and mean cloud free days in monthly timescale. In the future, MODIS instrument could be taken into account if better spectral and spatial resolution is needed. For this thesis, data from SEVIRI was enough to get the needed results.

Cloud coverage is one of the most influential parameters in meteorology and climatology. Clouds affect circumstantially every walk of life that depend on weather predictions or climatology.

## Kasutatud kirjandus

- [1] SUHET, *SENTINEL-2 User Handbook*.: European Space Agency, 2014.
- [2] S. Robaa, "Evaluation of sunshine duration from cloud data in Egypt," *Energy*, vol. 33, pp. 785-795, 2008.
- [3] A. Orsini et al., "Cloud cover classification through simultaneous ground-based measurements of solar and infrared radiation," *Atmospheric Research*, vol. 61, pp. 251-275, 2002.
- [4] V. Russak and A. Kallis, *Eesti Kiirguskliima Teatmik*. Tallinn, Eesti: Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, 2003.
- [5] J. Seinfeld and S. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. USA: Wiley & Sons, 1998.
- [6] A. Henderson-Sellers, "Cloud Changes in a warmer Europe," vol. 8, 1986.
- [7] K. Liou, "Atmospheric radiation: Causes and Effects," in *Encyclopedia of Earth System Science*, Second Edition ed.: Academic Press, 1991, pp. 261-272.
- [8] S. Solomon et al., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [9] G. Ohring, B. Wielicki, R. Spencer, B. Emery, and R. Datla, "Satellite Instrument Calibration for Measuring Global Climate Change," *American Meteorological Society*, vol. 86, pp. 1303-1313, 2005.
- [10] A. Henderson-Sellers and A. H. Goodman, "Cloud detection and analysis: a review of ] recent progress," vol. 21, pp. 203-228, 1988.
- [11] J. R. Key, J. A. Maslanik, and R. G. Barry, "Cloud classification from satellite using a ] fuzzy sets algorithm: a polar example.," vol. 10, pp. 1823-1842, 1989.
- [12] E. Ruprecht, "Statistical approaches to Cloud Classification," vol. 5, pp. 151-164, 1985. ]
- [13] W. P. Menzel et al., "MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: algorithm ] description and results.," vol. 47, pp. 1175-1198, 2008.
- [14] A. B. Orun, K. Natarajan, and Z. Aslan, "A Comparative study of meteorosats, ECMWF, ] and radiosonde wind vectors at Istanbul," vol. 72, pp. 309-316, 2000.

- [15 A. Szantai, F. Desalmand, and M. Desbois, "A Method for the construction of cloud ] trajectories from series of satellite images.," vol. 23, pp. 1699-1732, 2002.
- [16 Y. Hong, K. L. Hsu, S. Sorooshian, and X. Gao, "Precipitation estimation from remotely ] sensed imagery using and artificial neural network cloud classification system.," vol. 43, pp. 1834-1852, 2004.
- [17 S. O. Manoj, V. Kavitha, and J. S. Arul, "Recognizing the cloud type and estimation of ] rainfall.," in *Proceedings of the International Conference on Communication and Computational Intelligence*, India, 2010, pp. 178-183.
- [18 S. Keevallik and V. Russak, "Changes in the Amount of Low Clouds in Estonia," vol. 21, ] no. International Journal of Climatology, 2001.
- [19 M. Merilain, *Ilmaprognooside osakonna hüdrometeoroloogilise teenindamise juhend*, ] Meitern H. Paljak T., Ed. Tallinn: KAUR ILMATEENISTUS, 2013.
- [20 F. Fontana, D. Lugrin, G. Seiz, M. Meier, and N. Foppa, "Intercomparison of satellite- ] and ground-based cloud fraction over Switzerland (2000-2012)," *Atmospheric Research*, vol. 128, pp. 1-12, January 2013.
- [21 N. Nicholls et al., *Observed climate variability and change*. Cambridge: Cambridge ] University Press, 1996.
- [22 A. Werkmeister et al., "Comparing satellite- to ground-based automated and manual ] cloud coverage observations - a case study," vol. 8, 2015.
- [23 G. K. Karlsson et al., "Validation of CM SAF Cloud Products Using MSG/SEVIRI," ] Technical 2005.
- [24 K. Tohsing, M. Schrempf, S. Riechelmann, H. Schilke, and G. Seckmeyer, "Measuring ] High-Resolution Sky Luminance Distributions with a CCD camera," *Applied Optics*, vol. 52, pp. 1564-1573, 2013.
- [25 R. Kivi, "Air and surface temperature," in *Climate of Tartu and its Changes during the ] Recent Decades*. Tartu: Estonian Academy of Sciences, 1990.
- [26 H. Tooming, "Changes in surface albedo and air temperature at Tartu, Estonia," *Tellus*, ] no. 48A, 1996.
- [27 Eumetsat. EUMETSAT Monitoring and Climate from Space. [Online]. ] <http://www.eumetsat.int/website/home/AboutUs/WhoWeAre/index.html>
- [28 European Space Agency. [Online]. ] [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Meteosat\\_Second\\_Generation/M](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Meteosat_Second_Generation/M)

[SG\\_overview2](#)

- [29 European Space Agency. [Online].  
] [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Meteosat\\_Second\\_Generation/How\\_MSG\\_works](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Meteosat_Second_Generation/How_MSG_works)
- [30 D.M.A Aminou. European Space Agency. [Online].  
] [http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet111/chapter4\\_bul111.pdf](http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet111/chapter4_bul111.pdf)
- [31 M. Derrien and H. Leglau, "Algorithm Theoretical Basis Document for Cloud Products,"  
] NWCSAF, Technical 2013.
- [32 C. Cox and W. Munk, "Measurement of the Roughness of the Sea Surface from  
] Photographs of the Sun's Glitter," *Journal of The Optical Society of America*, vol. 44, no. 11, pp. 838-850, April 1954.
- [33 NASA. (2015, Mai) Earth Observatory. [Online].  
] <http://earthobservatory.nasa.gov/Glossary/?xref=sunglint>
- [34 K. Eerme, "Changes in Spring-Summer Cirrus cloud amount over Estonia," *International  
] Journal of Climatology*, vol. 24, April 2004.
- [35 J. Schmetz et al. A Short Introduction to METEOSAT Second Generation (MSG).  
]

# Lisad

## Lisa 1

Python script

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import os, subprocess
import lxml.etree as et

baseGraphPath = r'C:\test\stat_base.xml'
inPath = r'I:\2011'
outPath = r'C:\Users\Maanus\Desktop\statistikatxt\2011\export'
gptPath = r'C:\Program Files\beam-5.0\bin\gpt.bat'
graphPath = r'C:\test\stat.xml'

if not os.path.exists(outPath):
    os.makedirs(outPath)

for root, dirs, files in os.walk(inPath):
    for f in files:
        if f.endswith('.nc'):
            tree = et.parse(baseGraphPath)
            r = tree.getroot()
            for e in r.iter('sourceProductPaths'):
                srcPath = os.path.join(root,f)
                e.text = srcPath
            for e in r.iter('outputAsciiFile'):
                txtPath = os.path.join(outPath,f[:-2]+'txt')
                e.text = txtPath
            tree.write(graphPath)

            subprocess.call(gptPath+' '+graphPath)

outStatsFilePath = os.path.join(outPath,'stats_together.txt')
if os.path.exists(outStatsFilePath):
    os.remove(outStatsFilePath)

outStatsFile = open(outStatsFilePath,'w')
```

```

outStatsFile.write('filename\t#
Region\tBand\taverage\tmax_error\tmaximum\tmedian\tminimum\tp25_threshold\tp50_threshold\tp75_threshold
\tsigma\ttotal\n')

for root, dirs, files in os.walk(outPath):
    for f in files:
        if not 'metadata' in f:
            statFilePath = os.path.join(root,f)
            ncFileName = f[:-4]
            statFile = open(statFilePath,'r')
            lines = statFile.readlines()
            statFile.close()
            lines = lines[1:]
            lines = [ncFileName+'\t'+line for line in lines]
            for line in lines:
                outStatsFile.write(line)

outStatsFile.close()

```

## LISA 2

```
<graph id="someGraphId">
  <version>1.0</version>
  <node id="someNodeId">
    <operator>StatisticsOp</operator>
    <sources>
      <sourceProducts>${sourceProducts}</sourceProducts>
    </sources>
    <parameters>
      <sourceProductPaths>I:\2011\CFCdm201112310000001230023201MA.nc</sourceProductPaths>
      <shapefile>C:\Users\Maanus\Desktop\vektorid\meri.shp</shapefile>
      <startDate/>
      <endDate/>
      <bandConfigurations>
        <bandConfiguration>
          <sourceBandName>cfc</sourceBandName>
        </bandConfiguration>
      </bandConfigurations>
    </parameters>
    <outputAsciiFile>C:\Users\Maanus\Desktop\statistikatxt\2011\export\CFCdm201112310000001230023201MA.
txt</outputAsciiFile>
    <percentiles>25,50,75</percentiles>
    <accuracy>3</accuracy>
  </node>
</graph>
```

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Maanus Kullamaa (sünnikuupäev: 10.08.1991)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

### **MAAPINNA JA VEE OPTILISEKS KAUGSEIREKS SOBIVATE AASTAAEGADE ANALÜÜS EESTI ALAL METEOSAT SATELLIITPILVISUSE ANDMETE PÕHJAL**

mille juhendajateks on TO teadur Kaupo Voormansik PhD ja TÜ dotsent Piia Post PhD,

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 19.05.2015