

Palydovinės informacijos apie sniego dangą trūkių užpildymo metodų vertinimas

Silvija Pipiraitė-Januškienė,

Justinas Kilpys,

Egidijus Rimkus

Vilniaus universitetas,
M. K. Čiurlionio g. 21, 03101 Vilnius
El. paštas: silvija.pipiraitė@gf.vu.lt;
justinas.kilpys@gf.vu.lt;
egidijus.rimkus@gf.vu.lt

Pipiraitė-Januškienė S., Kilpys J., Rimkus E. Palydovinės informacijos apie sniego dangą trūkių užpildymo metodų vertinimas. *Geografija*. 2018. T. 4(3). ISSN 2351-7549.

Straipsnyje vertinami palydovinės informacijos apie teritorijos padengtumą sniegu trūkių užpildymo metodai. Buvo naudojami dviejų NASA palydovų *Terra* ir *Aqua* bei Lietuvos meteorologijos stočių tinklui priklausančių stočių sniego dangos duomenys 2013–2016 m. spalio–balandžio mėnesiais. Naudojant du skirtingus būdus (*pirmyn* ir *atgal*) buvo užpildyti palydovinių sniego dangos duomenų sekų trūkiai, atsirandantys dėl ištisinio debesuotumo. Gauti dydžiai palyginti su Lietuvos meteorologijos stotyse nustatytu dienų su sniego danga skaičiumi. Analizuojamu 2013–2016 m. laikotarpiu šaltojo sezono mėnesiais palydovinių duomenų trūkiai sudarė 60 % nuo bendro dienų skaičiaus. 2013–2016 m. žiemomis vidutinis dienų su sniego danga skaičius Lietuvos meteorologijos stotyse buvo 47. Remiantis *Terra* palydovo duomenis, šis dydis buvo 44 dienos, o pagal *Aqua* perduotą informaciją – 55 dienos. Kiek didesnis dienų su sniego danga skaičius nustatytas trūkius užpildžius *pirmyn* metodu, tačiau skirtumas yra nedidelis ir abiejų palydovų duomenys neviršija vienos dienos. Vidutiniškai sezoninis dienų su sniego danga skaičius, nustatytas remiantis palydovų duomenimis, nuo išmatuoto atskirose meteorologijos stotyse skiriasi 9 dienomis pagal *Terra* ir 13 dienų pagal *Aqua* palydovo duomenis. Dažni atodreškiai, sniego dangos fragmentacija ir didelis debesuotumas lėmė nemažus skirtumus tarp palydovinės bei meteorologijos stočių informacijos.

Raktažodžiai: sniegas, dienų su sniego danga skaičius, *Terra*, *Aqua*, MODIS, debesuotumas, duomenų trūkiai

ĮVADAS

Reguliarūs antžeminiai sniego dangos stebėjimai pradėti XIX a. viduryje, o Lietuvoje tokie matavimai vykdomi nuo 1891 metų. Sniego dangos storis, vandens atsargos sniege bei teritorijos padengimas sniegu yra svarbiausi sniego dangos rodikliai, matuojami antžeminėse meteorologijos stotyse. Iš išmatuotų dydžių yra skaičiuojamos kli-

matinės charakteristikos (dienų su sniego danga skaičius, maksimalus sniego storis, sniego dangos susiformavimo bei nutirpimo datos ir kt.), kurių ilgą laikotarpį apimančios sekos suteikia daug naudingos informacijos apie vietovės klimatą ir jo kaitą (Beniston, 1997; Laternser, Schneebeil, 2003; Scherrer ir kt., 2004; Scherrer, Appenzeller, 2006; Hantel, Hidrtl-Wielke, 2007; Marty, 2008; Marty, Meister, 2012).

Pastaraisiais dešimtmečiais sniego dangos rodikliams vertinti vis plačiau naudojama palydovinė informacija. Lyginant su antžeminiams matavimais, kurių tinklas – daugelyje pasaulio vietų palyginti retas (ypač tose srityse, kur sniego danga išsilaiko didžiąją metų dalį), palydovai suteikia išsamią erdvinę informaciją apie Žemės paklotinio paviršiaus būklę (Foppa, Seiz, 2012). Tačiau palydovų teikiamoje informacijoje yra nemažai trūkumų. Viena svarbiausių trūkumų priežasčių atliekant matavimus regimojo bei artimojo infraraudonojo spektro bangų diapazone yra debesys, kurie užstoja žemės paviršių.

Tyrėjai, norėdami išvengti netikslumų ir spragų, atsirandančių dėl debesų dangos, kuria įvairius metodus duomenų trūkumams užpildyti (Husler ir kt., 2014). Tam dažniausiai naudojami erdviniai ir laiko filtrų metodai (Voigt, 2000; Gafurov, Bardossy, 2009; Parajka ir kt., 2010). J. Parajka ir G. Bloschlas (2008) analizavo tris būdus, mažinančius debesų poveikį standartiniuose sniego dangos produktuose: 1) skirtingų palydovų teikiamos informacijos apjungimą; 2) erdvinį filtravimą, kai apsiniaukusios paviršiaus gardelės reikšmės pakeičiamos gretimomis giedromis gardelėmis; 3) filtravimą bėgant laikui, kai trūkiai užpildomi remiantis ankstesnių arba vėlesnių giedrų dienų informacija.

D. K. Hallo ir kt. (2010) tyrime teigiama, kad naudojant laiko filtrą sniego dangos žemėlapių trūkumams užpildyti geriausi rezultatai gauti esant mažam debesuotumui ar dažnai mainantis giedroms ir apsiniaukusiomis dienoms. F. Huslero ir kt. (2014) tyrime buvo taikomas debesų trūkumų užpildymo metodas, pagrįstas erdvinės ir laiko kompozicijos kombinacija. Gautus duomenis palyginus su antžeminių meteorologijos stočių duomenimis, skirtumai buvo nedideli.

Lietuvoje sniego dangos rodikliai iki šiol nebuvo analizuojami remiantis palydovine informacija. Taigi nebuvo ir tirama, kurie metodai naudojami duomenų trūkumų užpildymui yra tinkamiausi mūsų šaliai. Šio tyrimo tikslas yra nustatyti palydovinės informacijos apie sniego dangą debesų sukeltų trūkumų užpildymo metodų tinkamumą Lietuvos sąlygomis. Šiam tikslui buvo naudojami NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) palydovų *Terra* ir *Aqua* bei Lietuvos meteorologijos stočių tinklui priklausančių stočių duomenys 2013–2016 metais. Darbe, naudojant skirtingus metodus, buvo užpildyti palydovinių

sniego dangos duomenų sekų trūkiai, o gauti dydžiai palyginti su Lietuvos meteorologijos stotyse nustatytu dienų su sniego danga skaičiumi.

PRADINIAI DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Tyrimui atlikti buvo naudojama *Terra* ir *Aqua* palydovų teikiama informacija bei Lietuvos meteorologijos stočių (MS) duomenys apie teritorijos padengtumą sniegu 2013–2016 metais. Tyrimui naudoti šaltojo laikotarpio (spalio–balandžio mėn.) sniego dangos duomenys. *Terra* ir *Aqua* pateikiamų sniego dangos duomenų (MOD10C1 collection 5, MYD1C1 Collection 5) tinklelio gardelės kraštinės dydis yra 0,05° (MODIS, 2018). *Terra* ir *Aqua* palydovai skrieja orbita, artima poliarinei, trijų valandų skirtumu vienas nuo kito (National..., 2018). *Terra* ir *Aqua* palydovuose yra įrengtas vidutinės raiškos spektrometras MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*), kuris matuoja Saulės spinduliuotės atspindį (vieneto dalimis) nuo paklotinio paviršiaus 36 spektriniuose kanaluose (MODIS, 2018).

Sniegas labai stipriai atspindi Saulės spinduliuotę regimajame spektre, o artimojo infraraudonojo spektro diapazone atspindėjimo geba labai susilpnėja. Tai leidžia identifikuoti sniego dangą pagal regimųjų ir artimųjų infraraudonųjų bangų atspindžio stiprumo santykį. MODIS prietaisas, skriejantis *Terra* ir *Aqua* palydovuose, yra tinkamas distanciniams sniego dangos stebėjimams, nes jis matuoja atspindžio stiprumą matomųjų ir artimųjų infraraudonųjų bangų spektruose (Riggs, Hall, 2004).

Sniego dangos duomenys palydoviniuose MODIS prietaisuose nustatomi remiantis normalizuotu sniego indeksu NDSI (*Normalized Difference Snow Index*). NDSI indeksas dažniausiai skaičiuojamas pagal formulę:

$$NDSI = (VIS_{0,5} - NIR_{1,6}) / (VIS_{0,5} + NIR_{1,6}); \quad (1)$$

VIS – regimoji spinduliuotė, o NIR – artimojo infraraudonojo spektro spinduliuotė. Skaičiai prie bangų tipo nurodo spektrinio kanalo vidurinių bangų ilgį (μm).

Gardelė laikoma padengta sniegu, jei NDSI (*Normalized Difference Snow Index*) ir NDVI

(*Normalized Difference Vegetation Index*) reikšmės patenka į sniegui priskiriamą intervalą (Riggs, Hall, 2004). Sniego danga identifikuojama tuo atveju, kai NDSI (1 formulė) reikšmė yra didesnė nei 0,4. Papildomi kriterijai sniego dangos identifikavimui yra: 1) artimojo infraraudonojo spektro bangų (0,86 μm) atspindėjimas didesnis nei 0,11; 2) 0,56 μm bangos ilgio atspindėjimas didesnis nei 0,10 (Riggs ir kt., 2006). Dėl šių papildomų kriterijų atsiranda didesnis patikimumas, kad fiksuojama sniego danga, o ne kitas paviršius.

Miškingose teritorijose daugelio sniegu padengtų gardelių NDSI yra mažesnis nei 0,4, o kartais siekia vos 0,1. Tada sąlyga sniegui nustatyti yra tokia: jei NDSI indekso reikšmė miško gardelėse yra tarp 0,1 ir 0,4, sniegui teisingai identifikuoti papildomai skaičiuojamas NDVI indeksas (2 formulė), kurio reikšmė turėtų būti mažesnė, palyginti su besniegėmis sąlygomis toje pačioje gardelėje (Klein ir kt., 1998; Riggs ir kt., 2006):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}_{1,2} - \text{VIS}_{0,6}) / (\text{NIR}_{1,2} + \text{VIS}_{0,6}). \quad (2)$$

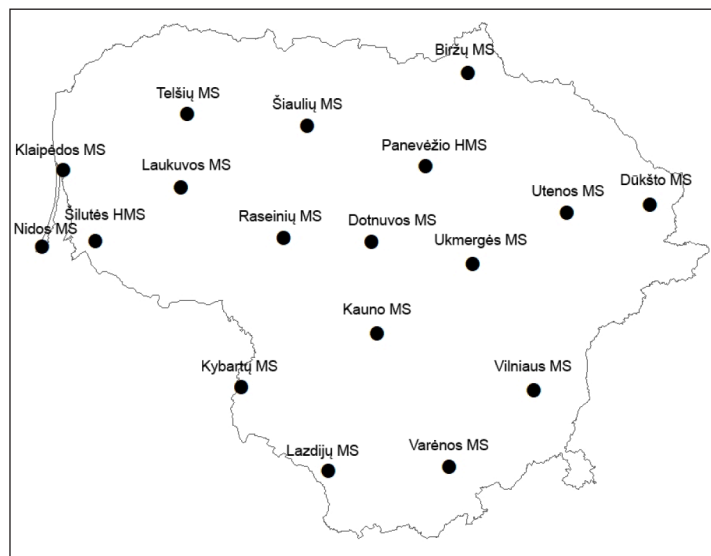
Sniego dangos nustatymo algoritmai *Aqua* ir *Terra* palydoviniams duomenimis nėra identiški. Dėl *Aqua* palydove esančio MODIS 1,64 μm bangos detektoriaus 70 % neveiknumo, įvykusio po palydovo paleidimo, naudojamos 2,13 μm bangos atspindžio reikšmės. Tuo tarpu *Terra* pa-

lydoviniams duomenims taikomame algoritme naudojamos artimojo infraraudonojo spektro 1,64 μm bangos atspindžio reikšmės (Riggs ir kt., 2006).

Palydovinių duomenų verifikacijai buvo naudojami 18 Lietuvos meteorologijos stotčių (1 pav.) duomenys. Stotyse stebėtojai supančios teritorijos padengtumą sniegu vertina dešimties balų sistema. Diena su sniego danga laikoma, kai meteorologijos stotyje fiksuotas padengimo sniegu balas didesnis už 5 (t. y. sniegu dengiama daugiau nei 50 % aplinkinės teritorijos).

Palydoviniai sniego dangos duomenys buvo nuskaityti 18-oje gardelių, kuriose yra pasirinktos Lietuvos meteorologijos stotys. Gardelės pateikiamos 0,05° tinklelyje, jos pasirinktos pagal tiriamų taškų koordinatas. MODIS sniego dangos produkte reikšmės pateikiamos procentais ir parodo, kokia dalis gardelės yra padengta sniegu ir kokia debesimis. Jei debesys sudaro 95 % ir daugiau gardelės, buvo laikoma, kad ji yra visiškai padengta debesimis. Jei sniego dengiama dalis sudarė mažiau nei 4 %, o debesys – mažiau nei 95 %, buvo laikoma, kad gardelė yra be sniego. Likusiais atvejais buvo skaičiuojamas normalizuotas dydis N (%):

$$N = \frac{S}{100 - C} * 100; \quad (3)$$



1 pav. Lietuvos meteorologijos stotys, kurių duomenys tyrime naudoti palydovinei informacijai tikrinti

Fig. 1. Location of meteorological stations in Lithuania, the data of which were used for satellite data verification in this study

S – sniego dengiama gardelės dalis, %; C – debesų dengiama gardelės dalis, %. Jei N reikšmė viršijo 50 %, buvo laikoma, kad gardelė padengta sniegu. Remiantis šia metodika, sudaryta dvejetainė seka, kurioje 0 reiškė paviršių be sniego, o 1 – visiškai padengta sniegu. Ši metodika parengta remiantis N. Foppa ir G. Seizo tyrimu (Foppa ir Seiz, 2012).

Tiriamu 2013–2016 m. spalio–balandžio mėn. laikotarpiu MODIS duomenys atskleidė, kad virš pasirinktų meteorologijos stočių daugiau nei pusę dienų (vidutiniškai 60 %) fiksuoti trūkiai, atsiradę dėl debesuotumo (1 lentelė). Dviejuose trečdaliuose Lietuvos meteorologijos stočių tokių dienų buvo daugiau nei 60 %. Daugiausia trūkių buvo Rytų ir Pietų Lietuvoje – Vilniaus MS, Lazdijų MS, Utenos MS, Varėnos MS, o mažiausia – pajūryje (Nidos MS ir Klaipėdos MS).

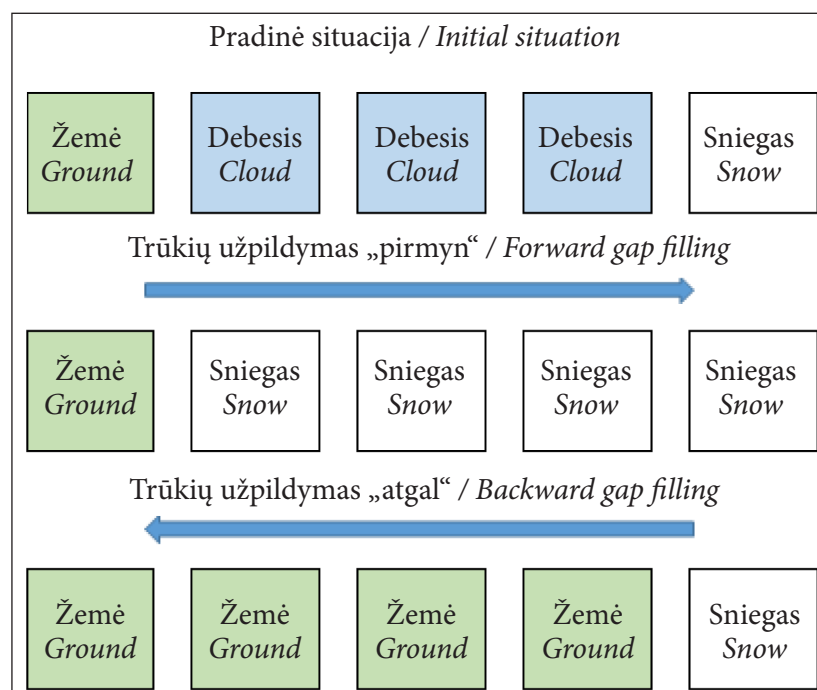
Daugiausia palydovo *Terra* informacijos trūkių dėl didelio debesuotumo fiksuojama lapkritį ir vasarį. Lapkritį 15-oje iš 18-os meteorologijos stočių duomenų trūkiai vidutiniškai apėmė ilgesnį nei 20 dienų laikotarpį. Daugiausia palydovo *Aqua* duomenų trūkių fiksuota lapkritį ir sausį. Šiais mėnesiais visose meteorologijos stotyse trūkiai vidutiniškai apėmė ilgesnį nei 20 dienų laikotarpį.

Matavimų trūkiai dėl debesų dangos buvo užpildyti taikant vieną iš dviejų metodų. Pirmuoju atveju apsiniakusi gardelė pakeičiama pagal tos pačios gardelės reikšmę paskutinę neapsiniakusią dieną (trūkių užpildymas *pirmyn*). Antruoju atveju remiamasi pirmos po duomenų trūkio dienos reikšme (trūkių užpildymas *atgal*) (2 pav.). Naudojant abu metodus susidaro paklaidos (nustatomas per didelis arba per mažas dienų su sniegu dangą skaičius), tačiau laikoma, kad šie metodai sukuria

1 lentelė. *Aqua* ir *Terra* palydovų duomenų trūkių skaičius (%) spalio–balandžio mėn. 18-oje Lietuvos meteorologijos stočių, 2013–2016 m.

Table 1. Number of *Aqua* and *Terra* satellite information data gaps (%) at 18 meteorological stations in Lithuania in October–April 2013–2016

	Biržai	Dotnuva	Dūkštas	Kaunas	Kybartai	Klaipėda	Laukuva	Lazdijai	Nida
<i>Aqua</i>	63	62	62	62	58	56	59	63	54
<i>Terra</i>	61	59	64	62	58	55	60	64	56
	Panevėžys	Raseiniai	Šiauliai	Šilutė	Telšiai	Ukmergė	Utena	Varėna	Vilnius
<i>Aqua</i>	62	61	58	58	59	61	65	64	64
<i>Terra</i>	60	62	60	56	58	63	62	62	64



2 pav. Informacijos trūkių dėl debesuotumo užpildymo schema (Eumetrain ..., 2018)

Fig. 2. Scheme of temporal cloud gap data filling methodology (Eumetrain ..., 2018)

priešingos krypties paklaidas, o naudojant jų vidurkį galima pakankamai tiksliai įvertinti dienų su sniego danga skaičių per šaltąjį sezoną (Foppa, Seiz, 2012).

Atliekant tyrimą duomenų sekos užpildytos naudojant *pirmyn* ir *atgal* metodus bei apskaičiuojant abiem metodais gautų dydžių vidurkį. Šie dydžiai palyginti su meteorologijos stotyse nustatytu dienų su sniego danga skaičiumi.

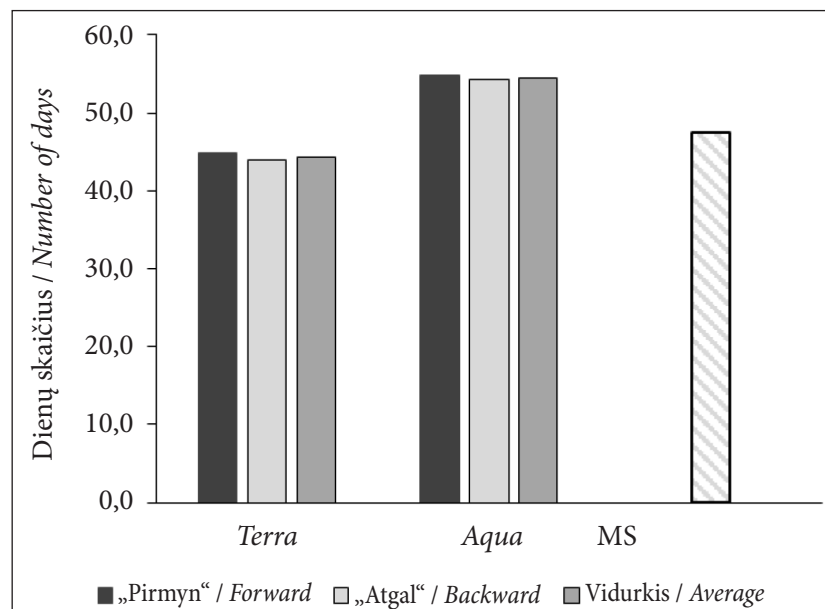
REZULTATAI

Vidutinis meteorologijos stotyse išmatuotas dienų su sniego danga skaičius per 2013–2016 m. žiemos sezoną Lietuvos teritorijoje buvo 47 dienos (3 pav.). Tai 47 % mažiau nei vidutiniškai (pagal klimatinę normą). Iš 1981–2010 m. klimatinių normos duomenų matyti, kad vidutinis dienų su sniego danga skaičius Lietuvoje buvo 88 dienos. Šiltos žiemos pasižymi dideliu sniego dangos nepastovumu ir tai yra viena svarbiausių priežasčių, lemiančių santykinai didelius skirtumus tarp MS išmatuotų ir iš palydovinės informacijos apskaičiuotų dydžių. Be to, šiltos žiemos

pasižymi cikloninės cirkuliacijos intensyvumu ir apsiniaukusių dienų skaičiumi, dėl ko didėja trūkių skaičius palydovinės informacijos sekose.

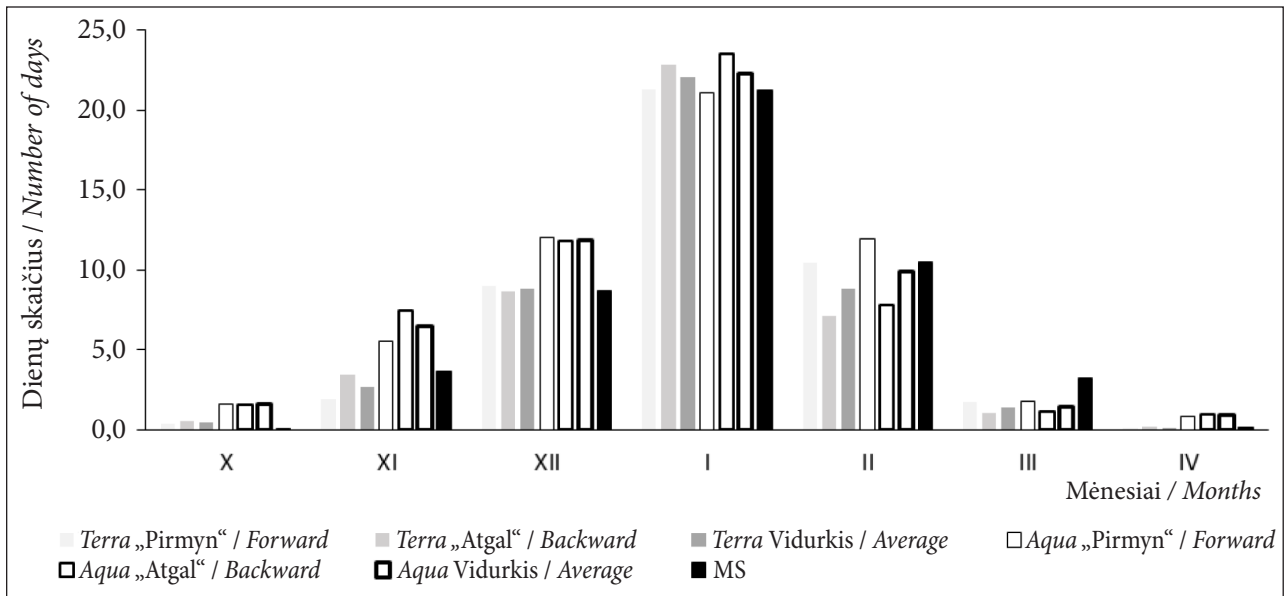
Vidutinis dienų su sniego danga skaičius pagal *Terra* palydovo duomenis minėtomis žiemomis buvo 44 dienos, o pagal *Aqua* – 55 dienos. 80 % atvejų, remiantis atskirų MS duomenimis, daugiau sniego dienų fiksavo *Aqua* palydovas. Kiek didesnės reikšmės fiksuotos trūkius užpildžius *pirmyn* metodu, tačiau skirtumas yra nedidelis, jis neviršija vienos dienos. Taigi galima teigti, kad trūkių užpildymo metodo pasirinkimas turi mažai įtakos sezoninio dienų su sniego danga skaičiui, nustatytam naudojant palydovų duomenis.

Analizuojant dienų su sniego danga skaičiaus pasiskirstymą per sezoną nustatyta, kad pirmoje sezono pusėje dienų skaičius meteorologijos stotyse yra artimas vidutiniam dydžiui, nustatytam iš *Terra* palydovo duomenų (4 pav.). Spalio–sausio mėn. šis skirtumas neviršija vienos dienos. Tuo tarpu vasario ir kovo mėn. skirtumas nežymiai išauga – meteorologijos stotyje fiksuojamos didesnės rodiklio reikšmės. Didesni skirtumai



3 pav. Vidutinis dienų su sniego danga skaičius Lietuvos teritorijoje 2013–2016 m. šaltaisiais sezonais, remiantis skirtingais metodais užpildytomis *Terra* ir *Aqua* palydovų duomenų sekomis ir išmatuotas Lietuvos meteorologijos stotyse (MS)

Fig. 3. The average number of snow cover days in Lithuania during 2013–2016 cold seasons, based on *Terra* and *Aqua* satellite data with cloud gaps filled using different methods, and the average number of snow cover days observed at Lithuanian meteorological stations (MS)



4 pav. Vidutinis dienų su sniego danga skaičius atskirais 2013–2016 m. šaltojo sezono mėnesiais Lietuvos teritorijoje, remiantis skirtingais metodais užpildytomis *Terra* ir *Aqua* palydovų duomenų sekomis ir išmatuotas Lietuvos meteorologijos stotyse (MS)

Fig. 4. The average number of snow cover days during cold seasons in Lithuania in 2013–2016 based on *Terra* and *Aqua* satellite data with cloud gaps filled using different methods, and mean number of snow cover days observed at Lithuanian meteorological stations (MS)

gali būti sietini su sniego dangos fragmentacija tirpimo metu. Dienų su sniego danga skaičius, nustatytas *Aqua* palydovo, yra didesnis nei stebėtas MS. Šie skirtumai tarp palydovų gali būti nulemti besiskiriančio algoritmo, skirto sniego dangos identifikavimui.

Pirmoje sezono pusėje didesnės reikšmės fiksuojamos naudojant trūkių užpildymo metodą *atgal*, o vasario ir kovo mėn. – *pirmyn*. Tai aiškintina tuo, kad sniego akumuliacijos laikotarpiu egzistuoja didesnė tikimybė, kad paskutinė apsičiaukusio laikotarpio diena bus su sniego dangą, o pirma – be sniego, nei priešingai, t. y. apsičiaukęs periodas prasidės diena su sniego dangą, o baigsis besniege diena. Šiuo atveju naudojant metodą *atgal* visas duomenų trūkio laikotarpis bus traktuojamas kaip laikotarpis su sniego dangą. Tuo tarpu pavasario mėn. priešingai: didesnė tikimybė, kad trūkio pradžioje bus diena su sniego dangą, o trūkis baigsis diena be sniego. Šiuo atveju santykinai išauga apskaičiuotas dienų skaičius naudojant trūkių užpildymo metodą *pirmyn*.

Tiriamu 2013–2016 m. laikotarpiu spalio ir balandžio mėn. dienų su sniego dangą meteorologijos stotyse beveik nebuvo, tačiau kelias dienas palydovai neteisingai identifikavo, palaikė

sniegingomis. Tai rodo, kad reikalingi papildomi duomenų kontrolės metodai (pvz., temperatūros kontrolė, kai sniego dangą negali būti identifikuojama, jei oro temperatūra viršija tam tikrą nustatytą ribą).

Atskirose meteorologijos stotyse skirtumai yra daug didesni nei vidutiniai dydžiai visoje Lietuvos teritorijoje (2 lentelė). Vidutiniškai sezoninis dienų su sniego dangą skaičius nustatytas palydovų nuo išmatuoto atskirose meteorologijos stotyse skiriasi devyniomis dienomis pagal *Terra* palydovo duomenis ir 13 dienų pagal *Aqua* palydovą. Pagal *Terra* palydovą, 33 % atvejų šis skirtumas neviršija trijų dienų ir taip pat 33 % atvejų viršija 10 dienų (pagal *Aqua* palydovą atitinkamai 17 % ir 52 %). Tik Kybartų MS 2013–2014 m. žiemą išmatuotas dienų su sniego dangą skaičius visiškai sutapo su *Terra* palydovo duomenis. Tuo tarpu didžiausias skirtumas (48 dienos) buvo užfiksuotas 2015–2016 m. lyginant Varėnos MS ir *Aqua* palydovo duomenis.

10 meteorologijos stočių *Terra* palydovo duomenys yra vidutiniškai artimesni išmatuotiems, o aštuonių – *Aqua*. Jei naudotume abiejų palydovų teikiamos informacijos vidurkį, tai toks vidutinis skaičius arčiausiai išmatuoto MS būtų trijose MS

2 lentelė. Dienų su sniego danga skaičius išmatuotas atskirais šaltaisiais sezonais Lietuvos meteorologijos stotyse (MS) bei nustatytas iš *Terra* ir *Aqua* palydovų duomenų (dviejų trūkių užpildymo metodų vidurkis)

Table 2. The number of snow cover days at Lithuanian meteorological stations (MS) during different cold seasons and the number of snow cover days based on *Terra* and *Aqua* satellite information (the average of two gap filling methods)

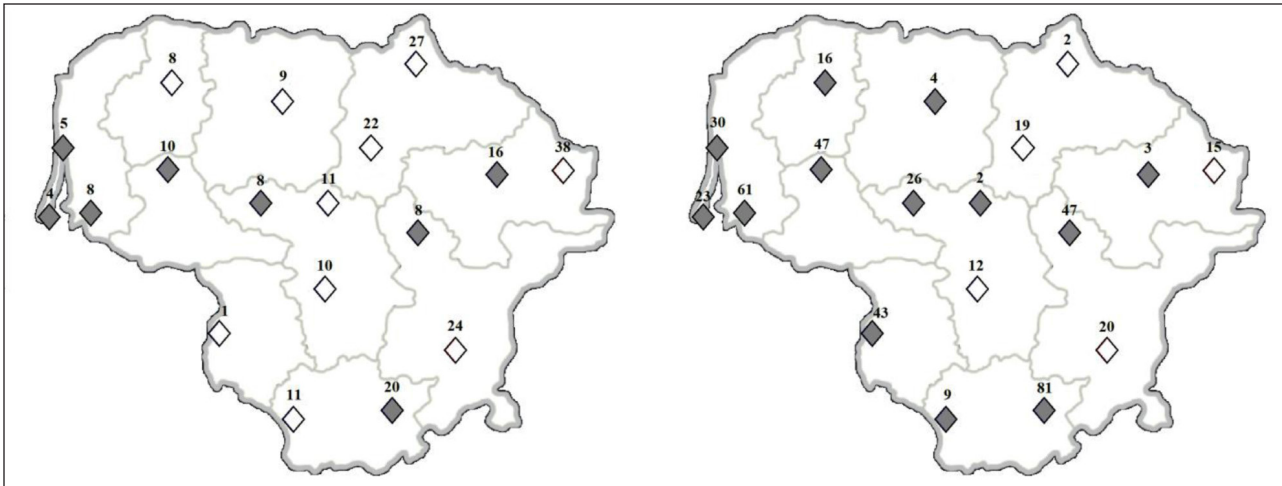
Meteorologijos stotis <i>Meteorological station</i>	2013–2014			2014–2015			2015–2016			Vidurkis <i>Average</i>		
	<i>Terra</i>	<i>Aqua</i>	MS	<i>Terra</i>	<i>Aqua</i>	MS	<i>Terra</i>	<i>Aqua</i>	MS	<i>Terra</i>	<i>Aqua</i>	MS
Biržai	21	33	37	52	78	73	46	49	52	40	53	54
Dotnuva	47	47	36	42	47	56	37	51	49	42	48	47
Dūkštas	26	32	50	64	83	85	46	71	83	45	62	73
Kaunas	42	46	38	40	35	57	44	41	43	42	41	46
Klaipėda	33	53	31	25	14	21	22	32	24	27	33	25
Kybartai	32	63	32	31	24	28	25	39	28	29	42	29
Laukova	40	74	39	76	80	64	71	97	67	62	84	57
Lazdijai	40	39	44	62	83	69	34	43	39	45	55	51
Nida	37	38	36	23	36	26	28	30	22	29	35	28
Panevėžys	34	32	38	40	38	64	44	52	49	39	41	50
Raseiniai	53	67	40	58	69	57	59	62	59	56	66	52
Šiauliai	48	54	41	51	52	53	39	50	56	46	52	50
Šilutė	37	43	35	38	54	30	22	47	24	32	48	30
Telšiai	36	57	37	60	72	62	62	72	73	53	67	57
Ukmergė	40	60	37	63	84	60	48	62	42	50	68	46
Utena	40	31	37	73	71	66	64	55	49	59	52	51
Varėna	64	83	43	73	96	61	45	95	47	60	91	50
Vilnius	52	48	47	38	54	76	44	38	51	44	47	58

(tais atvejais, kai *Terra* ir *Aqua* nuokrypiai yra priešingo ženklo). Analizuojant tiriamus sezonus po vieną, 67 % artimesni rezultatai gauti naudojant *Terra* palydovo duomenis. Galima teigti, kad dviejų palydovų informacijos kombinavimas neturi didelės teigiamos įtakos galutinių duomenų kokybei (*Terra* palydovo informacija mažiausiai skiriasi nuo MS).

Tai, kad Varėną dengiančioje gardelėje palydovai fiksuoja daug daugiau dienų su sniego danga nei MS (5 pav.) (vidutiniškai 20 % pagal *Terra* palydovą ir net 81 % daugiau pagal *Aqua*) galima aiškinti itin miškinga teritorija, o sniegas miškuose išsilaiko ilgiau pavasarį bei gali išlikti ir per ilgesnius atodrekius. Tuo tarpu Varėnos meteorologijos stoties (įrengtos atokiau nuo miško) apylinkėse sniego danga yra labiau kintanti. Skirtumo tarp palydovinių ir antžeminių matavimų negalima laikyti palydovinių matavimų trūkumu, kadangi jų informacija geriau nei meteorologijos stotis reprezentuoja vidutines vietovės sąlygas. Be

to, sniegui identifikuoti miškingose teritorijose papildomai skaičiuojama ir NDVI reikšmė (2 formulė). Stotys, kuriose nustatytas dienų su sniego danga skaičius yra mažesnis nei apskaičiuotas iš palydovų teikiamos informacijos, daugiausia yra vakarinėje Lietuvos dalyje, kur sniego danga šiltois žiemomis yra itin nepastovi (5 pav.).

Dalyje stočių dienų su sniego danga skaičius fiksuojamas didesnis nei apskaičiuotas remiantis palydovine informacija. Daugiausia jų šiaurinėje bei rytinėje Lietuvos dalyje, kur sniego danga pasižymi didesniu pastovumu ir išsilaiko ilgiau. Išsiskiria Dūkšto MS, kur dienų su sniego danga yra nustatyta vidutiniškai 38 % daugiau, nei naudojant *Terra* palydovo duomenis ir 15 % daugiau nei *Aqua* palydovo duomenis. Šioje vietovėje matavimų tikslumą gali paveikti ir gana didelis gardelės ežeringumas, kadangi atspindys nuo vandens ar švaraus (be sniego) ledo paviršiaus stipriai skiriasi nuo sniego atspindžio sausumoje.



5 pav. Terra (kairėje) ir Aqua (dešinėje) palydovų ir Lietuvos MS nustatytų dienų su sniego danga skaičiaus vidutinis skirtumas (%). 2013–2016 m. spalio–balandžio laikotarpio duomenys (pilkas rombas žymi, kad daugiau dienų su sniego danga fiksuota palydovo, baltas – meteorologijos stotyje)

Fig. 5. The difference (%) of the number of snow cover days estimated using Terra (left) and Aqua (right) satellite data and observed at meteorological stations from October to April in 2013–2016 period (gray mark indicates stations where more snow cover days were determined by satellite, while white – at meteorological stations)

Būtina paminėti, kad visos trys nagrinėjamos žiemos buvo mažai sniegingos, o sniego danga nuolatos kito. Dažni atodėriai ir sniego dangos fragmentacija (nemažai dienų, kai meteorologijos stoties apylinkėse sniego danga nebuvo išsistinė) kartu su didele duomenų trūkių dalimi lėmė ir nemažus skirtumus tarp dienų su sniego danga skaičiaus, išmatuoto MS bei nustatyto naudojant palydovinę informaciją. Galima daryti prielaidą, kad šaltomis ir sniegingomis žiemomis (tiriamu laikotarpiu tokių žiemų nebuvo) dviejų informacijos šaltinių pateikiamas dienų su sniego danga skaičius skirtingai mažiau (ypač procentinė jo išraiška), nepriklausomai nuo to, kiek yra trūkių palydovinės informacijos sekoje. Ateityje, siekiant pagerinti iš palydovų gautos informacijos tikslumą, būtina papildomai naudoti informaciją iš gretimų, debesų nedengiamų gardelių ir parinkti tinkamas kritines reikšmes temperatūros kontrolei.

IŠVADOS

1. Didžiojoje Lietuvos dalyje Terra palydovo duomenys geriau nei Aqua palydovo duomenys atitinka dienų su sniego danga skaičių išmatuotą meteorologijos stotyse. Nustatyta, kad dviejų palydovų informacijos apjungimas iš esmės nepagerina gautos informacijos kokybės. Trijų sezonų dienų vidurkis pagal Terra palydovą nuo išmatuoto me-

eteorologijos stotyse skiriasi trimis dienomis. Šis skirtumas mažesnis sniego akumuliacijos periodu, o sniegui tirpstant jis išauga.

2. Nors didesnės reikšmės gautos palydovinės informacijos trūkius užpildžius metodu *pirmyn*, tačiau skirtumai yra nedideli ir abiejų palydovų atveju vidutiniškai neviršija vienos dienos. Todėl galima teigti, kad Lietuvos sąlygomis nėra itin svarbu, kuris iš dviejų analizuotų trūkių užpildymo metodų yra pasirenkamas.

3. Atskirose meteorologijos stotyse nustatyti skirtumai tarp išmatuoto ir remiantis palydovine informacija apskaičiuoto dienų su sniego danga skaičiaus yra didesni nei teritorijos vidurkis. Vidutiniškai sezoninis dienų skaičius nuo išmatuoto meteorologijos stotyje skiriasi devyniomis dienomis pagal Terra palydovo duomenis ir 13 dienų pagal Aqua palydovą. Vakarų Lietuvoje daugiau dienų su sniego danga dažniausiai gaunama remiantis palydovų, o Rytų – meteorologijos stočių duomenimis. Šių skirtumų dydis gali būti nulemtas ir meteorologijos stoties apylinkių landšafto ypatumų (miškingumo, ežeringumo ir kt.). Siekiant didesnio palydovinės informacijos tikslumo reiktų papildomai panaudoti gretimų giedrų gardelių duomenis ir vykdyti temperatūros kontrolę.

LITERATŪRA

1. Beniston M. 1997. Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years. Links to changes in large-scale climatic forcings. *Climatic Change*. 36: 281–300.
2. Eumetrain training module. *Climatology of Snow Cover and Snow Water Equivalent*. http://www.eumetrain.org/resources/snow_climatology.html (žiūrėta 2018 11 15).
3. Foppa N., Seiz G. 2012. Inter-annual variations of snow days over Switzerland from 2000–2010 derived from MODIS satellite data. *The Cryosphere*. 6: 331–342.
4. Gafurov A., Bardossy A. 2009. Cloud removal methodology from MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth System Science*. 13: 1361–1373.
5. Hall D. K., Riggs G. A., Foster J. L., Kumar S. V. 2010. Development and evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow-cover product. *Remote Sensing of Environment*. 114: 496–503.
6. Hantel M., Hirtl-Wielke L. M. 2007. Sensitivity of Alpine snow cover to European temperature. *International Journal of Climatology*. 27: 1265–1275.
7. Husler F., Jonas T., Riffler M., Musial J. P., Wunderle S. 2014. A satellite-based snow cover climatology (1985–2011) for the European Alps derived from AVHRR data. *The Cryosphere*. 8: 73–90.
8. Klein A. G., Hall D. K., Riggs G. A. 1998. Improving snow cover mapping in forest through the use of canopy reflectance model. *Hydrological Processes*. 12: 1723–1744.
9. Laternser M., Schneebeli M. 2003. Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology*. 23(7): 733–750.
10. Marty C. 2008. Regime shift of snow days in Switzerland. *Geophysical Research Letters*. 35: L12501.
11. Marty C., Meister R. 2012. Long-term snow and weather observations at Weissfluhjoch and its relation to other high-altitude observatories in the Alps. *Theoretical and Applied Climatology*. 110: 573–583.
12. MODIS. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod10.php> (žiūrėta 2018 11 15).
13. National Snow and Ice Data Center. *Terra vs. Aqua*. https://nsidc.org/data/modis/terra_aqua_differences (žiūrėta 2018 11 15).
14. Parajka J., Blöchl G. 2008. Spatio-temporal combinations of MODIS images – Potential for snow cover mapping. *Water Resources Research*. 44: 2365–2377.
15. Parajka J., Pepe M., Rampini A., Rossi S., Blöchl G. 2010. A regional snow-line method for estimating snow cover from MODIS during cloud cover. *Journal of Hydrology*. 381: 203–212.
16. Riggs G. A., Hall D. K. 2004. Snow Mapping with the MODIS Aqua Instrument. *Proceedings of 61st Annual Eastern Snow Conference*. Portland, Maine, USA. 81–84.
17. Riggs G. A., Hall D. K., Salomonson V. V. 2006. *MODIS Snow product user guide to Collection 5*. https://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/uploads/sug_c5 (žiūrėta 2018 11 15).
18. Scherrer S. C., Appenzeller C. 2006. Swiss Alpine snow pack variability: major patterns and links to local climate and large-scale flow. *Climate Research*. 32(3): 187–199.
19. Scherrer S. C., Appenzeller C., Laternser M. C. 2004. Trends in Swiss Alpine snow days – the role of local- and largescale climate variability. *Geophysical Research Letters*. 31: L13215.
20. Voigt S. 2000. *Advanced Methods for Operational Mapping of Alpine Snow Cover Using Medium Resolution Optical Satellite Data*. Inaugural-dissertation, University of Bern, Switzerland.

Silvija Pipiraitė-Januškienė, Justinas Kilpys,
Egidijus Rimkus

EVALUATION OF SATELLITE-BASED SNOW COVER PRODUCT DATA GAPS FILLING METHODS

S u m m a r y

Over the last decades, satellite information is increasingly used to measure different snow cover characteristics. However, the information provided by the satellite-based instruments working in the visible and near infra-red spectrum have large data gaps due to the cloud cover.

The aim of this study is to evaluate different temporal cloud gap filling methods in MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) snow cover products over Lithuania. For this purpose, MODIS data from NASA *Terra* and *Aqua* satellites from 2013–2016 were used. Verification of satellite-derived snow cover days was done using ground measurements from 18 meteorological stations in Lithuania.

During the cold periods (October to April) of 2013–2016, on average, 60% of the days were cloud-covered at the location of meteorological stations. Data gaps in *Terra* and *Aqua* MODIS snow products were filled using two temporal filling methods. In the first method, the cloudy grid cell value is replaced by the value in the same grid cell from the last clear sky day (the *forward* method). In the second method, the cloudy grid cell value is replaced by the value of the first clear sky day after the overcast period (the *backward* method).

The average number of days with snow cover observed at meteorological stations in Lithuania during the winter seasons in 2013–2016 was 47 days. The average number of days with a snow cover derived from *Terra* satellite information was 44 days and from *Aqua* satellite – 55. By filling the gaps with the *forward* method, the number of snow cover days was slightly higher, but the difference was small and it did not exceed one day for both satellites.

In the first part of the cold season, the number of snow cover days derived from *Terra* satellite data had a high agreement with the number of snow cover days determined at meteorological stations. Meanwhile, in February and March, the difference was higher and satellite data tended to underestimate the number of snow cover days. Larger differences between ground and satellite observations can be related to the fragmentation of the snow cover during the melting period.

On average, the seasonal numbers of snow cover days determined by *Terra* and *Aqua* satellites differed from those measured at meteorological stations by 9 and 13 days, respectively. The study showed that combination of information from these two satellites does not significantly improve the estimation of snow cover days.

In order to improve the estimation of snow cover days from satellite information, it is necessary to use additional filtering. Future studies could include spatial filtering using information from neighbouring grid cells and using temperature thresholds to filter false detection of snow.

Keywords: snow, number of snow cover days, *Terra*, *Aqua*, MODIS, cloud cover, data gaps