

# SATELĪTDATU IZMANOŠANA ŪDENS PIESĀRŅOJUMA NOTEIKŠANĀ

## DETERMINATION OF WATER POLLUTION USING SATELLITE DATA

Autors: **Lilita Kaļva**, e-pasts [k-lilita@inbox.lv](mailto:k-lilita@inbox.lv)

Zinātniskā darba vadītājs: **Ērika Teirumnieka, Mg.chem.**, e-pasts: [erika.teirumnieka@rta.lv](mailto:erika.teirumnieka@rta.lv)  
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne, LV-4601

---

**Abstract:** *One of the major eutrophication - causing substances are all elements - phosphorus and nitrogen, which enters the surface water from agricultural areas, sewage treatment plants and other sources. Therefore, the more attention focused on the nutrient elements –phosphorus and nitrogen effects on algal growth and weight gain. In Rezekne Technology academy laboratory experiments were carried out under laboratory conditions, the algae, grown in weight gain, depending on the water temperature and nutrient concentration. Lake Burtnieks is analyzed with satellite data. The results shows that satellite data can be used for remote monitoring of bodies of water quality change and water quality forecasting.*

**Keywords:** *biogen pollution, Landsat 8, nitrogen, phosphorus, remote sensing, satellite image.*

---

### Ievads

Labas kvalitātes ūdens ir nepieciešams gan cilvēkiem, gan dabai, gan saimnieciskajai darbībai. Ūdenstilpju stāvoklis, tuvs dabiskajam, ir nepieciešams, lai ūdenī dzīvojošajiem un to patērējošajiem organismiem būtu barība un nepieciešamās dzīvotnes. Tas attiecīgi nodrošina ūdens ekosistēmu stabilitāti un normālu funkcionēšanu [2].

Ūdenstilpju eitrofikācija un ūdens ekosistēmu degradācija ir atzīta par prioritāru vides problēmu Latvijā. Lai samazinātu eitrofikācijas negatīvās sekas, svarīga ir upju baseinu kompleksa apsaimniekošana. Ar piesārņojumu ir jāsaprot slāpekli (N) un fosforu (P) saturoši savienojumi, tā saucamie biogēnie elementi, kā arī silīcijs (Si), kālijs (K) un citi dzīvībai nepieciešami savienojumi, kas ar nokrišņiem, sevišķi sniega kušanas ūdeņiem, tiek izskaloti no augsnes un tieši vai caur meliorācijas sistēmām noplūst novadgrāvjos, ietek upēs un tālāk nonāk jūrā [1].

**Pētījuma problēma:** monitoringa veikšana ar laboratorijas metodēm ir salīdzinoši dārga un laikietilpīga. Ilgstošiem novērojumiem ir izmantojamas attālinātās pētījumu metodes.

Līdz ar to autore izvērza sekojošu **darba mērķi:** indikatorlielumu eksperimentāla atrašana ūdens kopējā piesārņojuma noteikšanai, izmantojot satelītstatus.

Darba mērķa sasniegšanai autore uzstāda sekojošus **darba uzdevumus:**

1. Apkopot informāciju par dabas ūdeņu piesārņojuma veidiem un līmeni;
2. Apkopot teorētiskos materiālus par satelītstatus izmantošanu vides piesārņojuma noteikšanā un vides izpētē;
3. Laboratorijas apstākļos veikt aļģu audzēšanu, mainot ūdens piesārņojuma koncentrāciju (izmantojot fosforu un slāpekli saturošos standartšķīdumus) un temperatūru;
4. Veikt Burtnieka ezera izpēti, izmantojot pieejamos satelītstatus un ūdens kvalitātes monitoringa datus;
5. Salīdzināt ar satelītstatus iegūtos vides kvalitātes rādītājus ar laboratorijas apstākļos iegūtajiem.

### Materiāli un metodes

Laboratorijas apstākļos tika veikti eksperimenti, lai varētu noteikt aļģu intensitātes augšanas ietekmējošos faktorus. Tika pētīta trīs faktoru – fosfātu un nitrātu koncentrācijas, kā arī temperatūras ietekme uz aļģu masas pieaugumu, jo šie ir tie parametri, kas pēc literatūras avotiem ir minēti kā aļģu attīstībai un ziedēšanai noteicošie.

Aļģu masas pieaugums atkarībā no pievienotā biogēnā elementa koncentrācijas tika veikts pēc šādas metodes:

Ezera ūdens paraugam, kura tilpums ir 200ml tika pievienota noteikta koncentrācija biogēnā elementa (sk. 1.tabulā). Slāpekli saturošais savienojums tika izvēlēts  $KNO_3$  un fosforu saturošais savienojums -  $Na_3PO_4$ . Katras koncentrācijas paraugam tika veikti trīs paralēlie mērījumi. Paraugu temperatūra tika uzturēta konstanta  $+20^{\circ}C$ , jo aļģu intensīva augšana sākas pie  $+18^{\circ}C$ . Eksperimenta ilgums – 4 nedēļas. Tika veikts arī kontrolmērījums ezera ūdenim.

1.tabula

**Pievienotā kopējā slāpekļa un kopējā fosfora koncentrācija ūdens paraugos**

Nr.pk.	Pievienotais biogēnais elements	Pievienotā biogēnā elementa kopējā koncentrācija (attiecīgi $N_{kop}$ un $P_{kop}$ ), mg/l
1.	N	0,1
2.		0,5
3.		1
4.		5
5.		10
6.		15
7.		20
8.	P	0,01
9.		0,05
10.		0,1
11.		0,5
12.		1
13.		1,5
14.		2
15.		2,5
16.	N+P	$N_{kop}0,1 + P_{kop}0,01$
17.		$N_{kop} 0,5 + P_{kop} 0,05$
18.		$N_{kop} 1 + P_{kop}0,1$
19.		$N_{kop} 5 + P_{kop} 0,5$
20.		$N_{kop} 10 + P_{kop}1$
21.		Ezera ūdens (biogēnie elementi nav pievienoti)

Pēc 4 nedēļām tika izfiltrēts katrs paraugs un izžāvēts žāvēskapī  $60^{\circ}C$ . Izžāvētie paraugi tika nosvērti uz analītiskajiem svariem un aprēķināta aļģu masa. Izfiltrētajiem šķīdumiem tika noteikts kopējais fosfors un kopējais nitrātu daudzums ar spektrofotometru.

Aļģu masas pieauguma noteikšana atkarībā no ūdens temperatūras tika veikts pēc šādas metodes:

Eksperiments tika veikts četrās dažādās temperatūrās (sk. 2. tabulā). Katram paraugam tika veikti trīs paralēlie mērījumi. Biogēno elementu koncentrācija visiem paraugiem tika pievienota vienāda –  $N_{kop} 5$  mg/l un  $P_{kop} 0,5$ mg/l, kas ir virs maksimāli pieļaujamām koncentrācijām virszemes ūdeņos. Eksperimenta ilgums 4 nedēļas.

### Ūdens temperatūra analizējamajiem paraugiem

N.p.k.	Temperatūra, °C
1.	10
2.	15
3.	20
4.	25

Pēc 4 nedēļām tika izfiltrēts katrs paraugs un izžāvēts žāvēskapī 60°C. Izžāvētie paraugi tika nosvērti uz analītiskajiem svariem un aprēķināta aļģu masa.

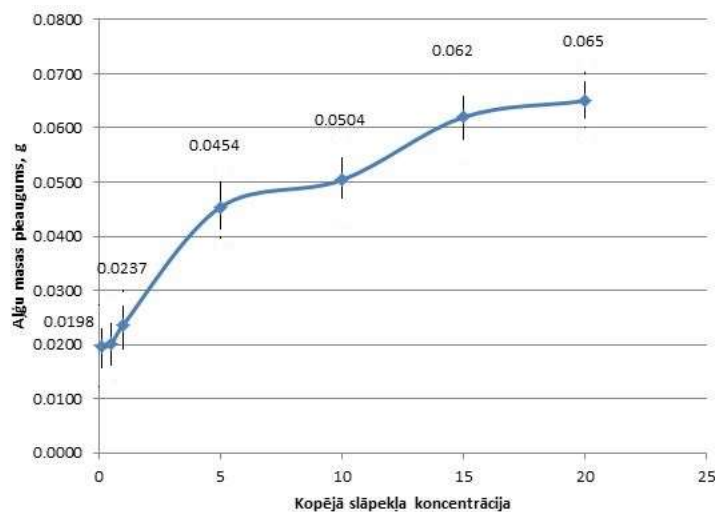
### Rezultāti un to izvērtējums

Eksperimentu gaitā iegūtie rezultāti tika apkopoti un izveidotas diagrammas. Tika izpētīts aļģu masas pieaugums atkarībā no sākotnējās nitrātu koncentrācijas, fosfātu koncentrācijas, kā arī no sākotnējās nitrātu un fosfātu koncentrācijas.

Eksperimenta beigās tika pētīts arī uzņemtā slāpekļa un fosfora daudzums, nosakot to izfiltrētajam ūdenim.

Tā kā temperatūra ir viens no noteicošajiem faktoriem, kas ietekmē aļģu attīstību ūdenstilpnēs, tāpēc eksperimentāli tikai noteikta aļģu masas pieauguma atkarība no temperatūras.

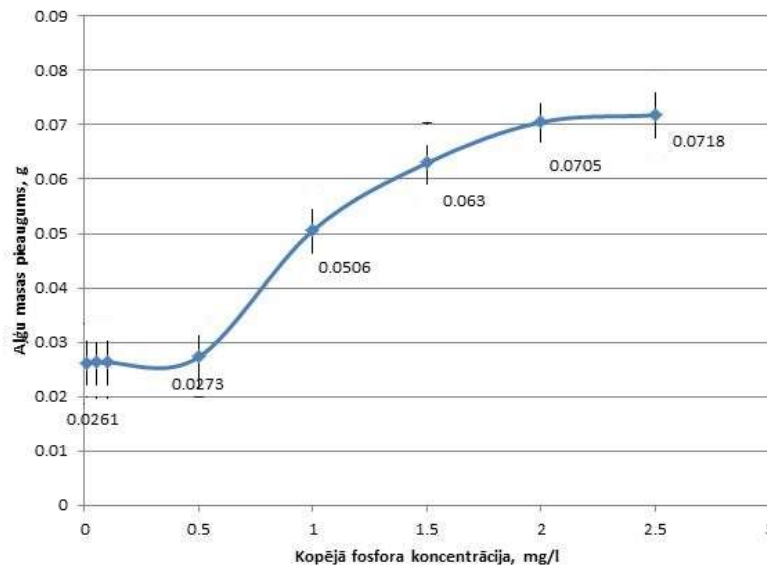
1.3. attēlā ir attēlota aļģu masas pieaugums pret sākotnējo nitrātu koncentrāciju. Pēc iegūtajiem datiem ir secināms, ka aļģu masas pieaugumu ietekmē nitrāti virszemes ūdeņu sastāvā, jo paaugstinoties nitrātu koncentrācijai, palielinās arī aļģu masa. Visstraujākais aļģu masas pieaugums ir iegūts, kad nitrātu koncentrācija paaugstinās no 1 mg/l uz 5 mg/l. Pie lielākām koncentrācijām no 5 mg/l līdz 20 mg/l aļģu masas pieaugums notiek gandrīz uz pusi lēnāk. Latvijas ezeros nitrātu daudzums svārstās no 1 līdz 2 mg/l [6].



1.attēls Aļģu masas pieaugums pret sākotnējo slāpekļa koncentrāciju

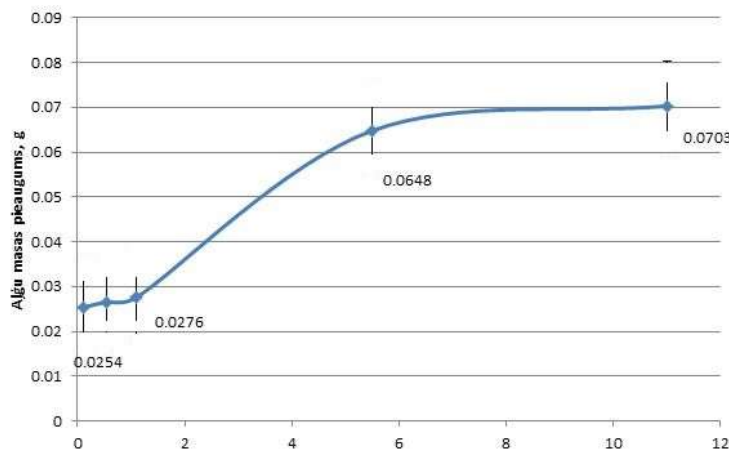
Fosfora savienojumiem ir liela nozīme ūdenstilpju eutrofikācijas procesos. Ja ūdenstilpēs fosfātu saturs ir >0,05 mg/l un ir pietiekami augsta temperatūra sākas intensīva aļģu vairošanās. 3.2.attēlā ir apkopoti iegūtie dati par aļģu masas pieaugumu atkarībā no fosfātu koncentrācijas. Pēc tā var secināt, ka fosfātu ietekme uz aļģu vairošanos ir ievērojama. Pie mazām fosfātu koncentrācijām, aļģu masas pieaugums ir niecīgs, savukārt, fosfātu koncentrācijai pieaugot no 0,5 mg/l līdz 1 mg/l, ir vērojams straujš aļģu masas pieaugums.

Fosfātu koncentrācijai pieaugot virs 1 mg/l aļģu masa vairs tik krasi nepieaug. To var izskaidrot ar to, ka koncentrācija ir tik liela, ka tā vairs neietekmē aļģu attīstību tik lielā mērā.



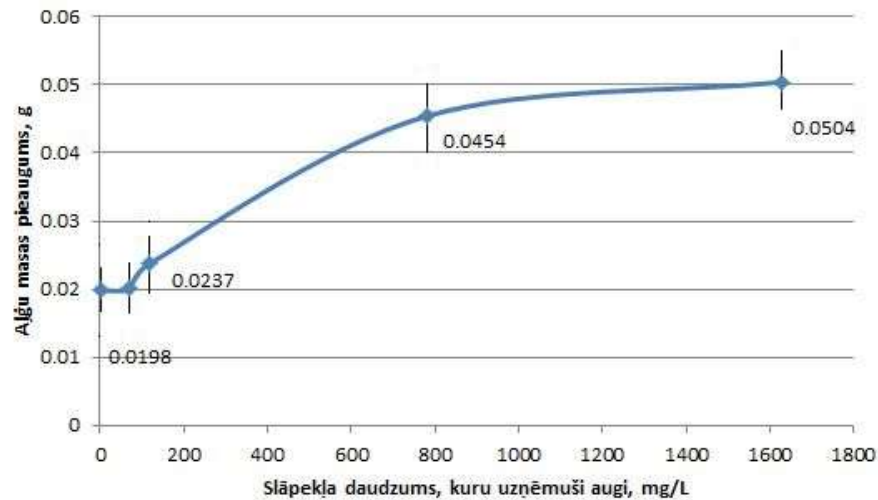
2.attēls Aļģu masas pieaugums pret sākotnējo fosfora koncentrāciju

Laboratorijā tika pētīta abu biogēno elementu – fosfora un slāpekļa kopējā ietekme uz aļģu masas pieaugumu. Grafikā (3.attēls) ir vērojama tāda pati tendence kā iepriekšējos grafikos (1.attēls un 2.attēls). Savukārt vislielākais masas pieaugums ir posmā 3-4, kurā slāpekļa koncentrācijas pieaugums ir no 1 mg/l – 5mg/l un fosfora koncentrācijas pieaugums ir no 0,1 mg/l – 0,5 mg/l.



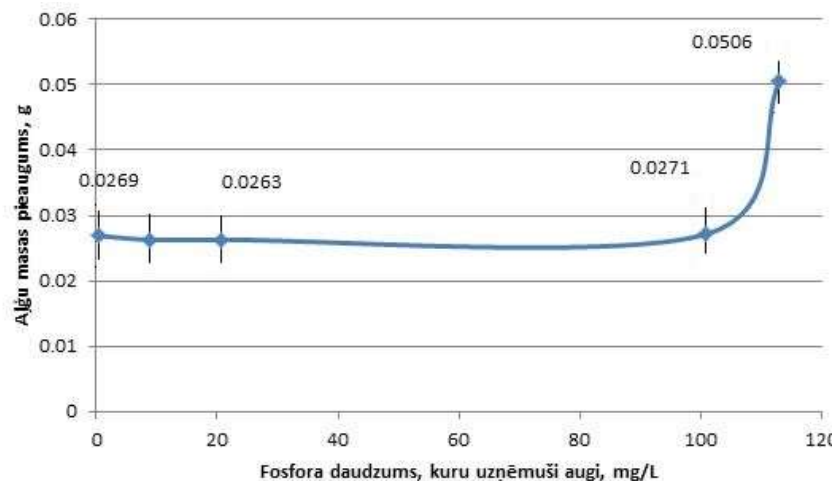
3.attēls Aļģu masas pieaugums atkarībā no sākotnējās slāpekļa un fosfora koncentrācijām

Aļģu masas pieaugums atkarībā no uzņemtā slāpekļa koncentrācijas (4.attēls). Aļģes efektīvāk spēj saistīt slāpekli no zemākas koncentrācijas šķīdumiem nekā no augstākās koncentrācijas šķīdumiem.



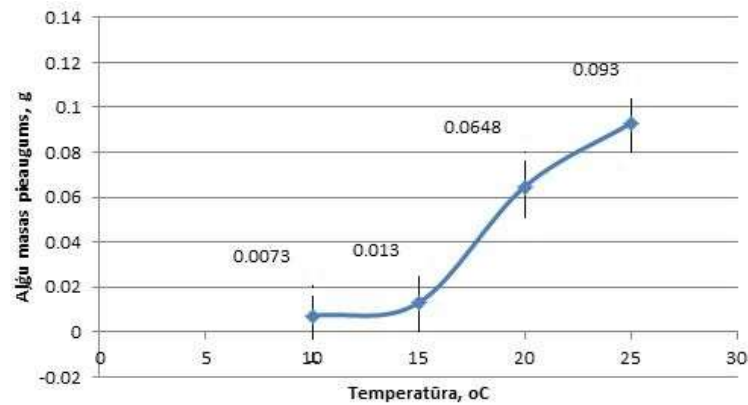
4.attēls Aļģu masas pieaugums atkarībā no uzņemtās slāpekļa koncentrācijas

Aļģes fosforu spēj saistīt līdzīgi kā slāpekli – pie zemām koncentrācijām labāk nekā pie augstām (5.attēls).



5.attēls Aļģu masas pieaugums atkarībā no uzņemtā fosfora koncentrācijas

Pēc literatūrā pieejamās informācijas – aļģu intensīva attīstība un vairošanās sākās, kad ūdens temperatūra ir uzsilusi vismaz  $+18^{\circ}\text{C}$  [8]. Tāpēc laboratorijas apstākļos tika pētīts aļģu masas pieaugums, mainoties ūdens temperatūrai. Eksperimenta gaitā iegūtie rezultāti apkopoti 3.6.attēlā. Pēc attēlā redzamā grafika ir secināms, ka temperatūras ietekme uz aļģu masas pieaugumu ir ļoti svarīga. Pēc grafika ir redzams, ka aļģu masas lielākais pieaugums ir vērojams, temperatūrai pieaugot no  $+15^{\circ}\text{C}$  līdz  $+20^{\circ}\text{C}$ . Aļģu attīstība notiek arī pie zemākām temperatūrām, bet salīdzinoši niecīga, kā pie lielākām temperatūrām. Tā kā Latvijas ezeros vasaras laikā temperatūra ir robežās no  $+14^{\circ}\text{C}$  līdz  $+24^{\circ}\text{C}$ , tad ir redzams, ka temperatūras ietekme uz aļģu augšanu ir lielāka nekā biogēno elementu lielā koncentrācija. Līdz ar to var secināt, ka pie nelielām slāpekļa un fosfora koncentrācijām pie temperatūras no  $+15^{\circ}\text{C}$  līdz  $+20^{\circ}\text{C}$  sākas aļģu intensīva augšana. Tas nozīmē, ka izmantojot aļģes ir iespējams konstatēt jau nelielu biogēno elementu klātbūtni.



6.attēls Alģu masas pieaugums atkarībā no temperatūras

Burtnieka ezers ir ceturtais lielākais ezers Latvijā, kas atrodas Ziemeļvidzemes rietumdaļā. Administratīvi ezers ietilpst Burtnieku novada Burtnieku un Matīšu pagastā un robežojas ar Vecates pagastu. Ezera senākais zināmais nosaukums ir Astigjerve vai Asters. Tā savulaik ezeru saukuši šajā novadā dzīvojošie lībieši [3] [4].

Izvēloties objektu, kurš tiks pētīts ar satelītdatiem, tika atlasīti dati par virszemes ūdeņu kvalitāti Latvijā „Latvijas, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” (LVĢMC) mājaslapas datu arhīvā [5]. Tika atlasīti trīs parametri kopējais slāpekļis, kopējais fosfors un ūdens temperatūra. Analizēšanai ar satelītdatiem tika izvēlēts Burtnieka ezers, jo tas ir klasificēts kā eitrofs un pēc LVĢMC pieejamajiem datiem, Burtnieka ezera novērojumu stacijā ir konstatētas paaugstinātas fosfora un slāpekļa koncentrācijas. Dati par ūdens kvalitāti Burtnieka ezera novērojumu stacijā pieejami no 2009.gada līdz 2013.gadam, savukārt Landsat 8 satelītdati sākot no 2013.gada. Ar satelītdatiem tika izanalizētas 2013.gada, 2014.gada un 2016.gada paraugi, jo 2015.gada vasarā visi uzņemtie satelītattēli virs Burtnieka ezera bija pārklāti ar mākoņiem, tāpēc tos nav iespējams analizēt.

Landsat 8 satelītattēli tika lejupielādēti ASV ģeoloģiskā dienesta mājaslapā [7]. Iegūtie satelītattēli tika apstrādāti ar programmas QuantumGIS palīdzību. Iegūto satelītattēlu izšķirtspēja ir 30x30 m. Izmantojot pansharpening rīku, ar algoritma palīdzību izšķirtspēja tika palielināta uz 15x15 m.

Hlorofilu saturošie organismi tiek pētīti, izmantojot infrasarkanu spektru (CIR), jo tie atstaro sarkano gaismu un ir iespējams detalizētāk noteikt veģetācijas stāvokli un sastāvu. Katram iegūtajam satelītattēlam tika izveidoti divi modeļi – naturālo krāsu modelis (RGB) un infrasarkanais modelis (CIR).

Analizējot iegūto 1.attēlā RGB modeli vizuāli var noteikt, ka Burtnieka ezera augšdaļā ir eitrofikācija – gaiši zaļgana krāsa. Apstrādājot satelītattēlu ar infrasarkanu krāsu modeli 1.attēlā CIR, tiek iegūta informācija, ka uz ūdens virsmas ir sastopama veģetācija – rozā krāsa (attēlos atzīmēti laukumi 1. un 2., kuros identificējama veģetācijas attīstība ūdenī).



7.attēls Burtnieka ezers 08.07.2013. RGB un CIR modeļi



Pēc LVĢMC datiem 2013.gada vasarā Burtnieka ezerā slāpekļa saturs svārstījās no 0,99 mg/l līdz 1,99 mg/l, fosfora saturs sasniedza 0,154 mg/l. Ūdens temperatūra 27.augustā sasniedza 21,2°C, kas nodrošināja labvēlīgus apstākļus aļģu attīstībai un ziedēšanai.



8.attēls Burtnieka ezers 24.08.2014. RGB un CIR modeļi

2014.gadā Burtnieka ezera monitoringa novērojumu stacijā netika veikti ūdens kvalitātes mērījumi. Analizējot un salīdzinot iegūtos satelītstatus 2014.gadā un 2013.gadā, 1.laukumā vizuālas izmaiņas nav manāmas, savukārt 2. laukumā ir redzams, ka ūdens virsmu ir pārklājuši ūdensaugi, ar lielāku hlorofila daudzumu.

2015.gadā iegūtie satelītstatus nebija derīgi analizēšanai, jo visos uzņēmumos Burtnieka ezers bija pārklāts ar mākoņiem.

Salīdzinot 2016.gada satelītattēlu ar 2014.gada satelītattēlu, nav manāmas ūdensaugu platību izmaiņas.



9.attēls Burtnieka ezers 29.06.2016. RGB un CIR modeļi

Salīdzinot visus iegūtos satelītattēlus no Landsat 8, var secināt, ka satelītstatus izmantošanu ūdens piesārņojuma noteikšanā var pielietot virszemes ūdeņu monitoringa sākumposmā. Iespējams analizēt lielas teritorijas, salīdzinoši ātrāk nekā apsekojot katru ūdenstilpni apvidū. Ar satelītstatus iespējams noskenēt, piemēram, visus Latvijas ezerus, identificēt, kuros pastāv eutrofikācijas pazīmēs un pēc tam veikt kvalitātes analīzes šiem ūdens objektiem. Ar satelītstatus palīdzību nav iespējams noteikt piesārņojuma līmeni, aļģu sugu vai to kvantitāti, jo iegūto satelītattēlu izšķirtspēja ir 30x30 m, kuru paaugstinot līdz 15x15 m ar algoritma palīdzību, pastāv samērā liela kļūda. Lai iegūtu kvalitatīvākus datus, ūdenstilpnes autore piedāvā risinājumu – skenēt pētāmos objektus ar hiperspektrālajām kamerām, kuru izšķirtspēja ir augstāka, līdz ar to, no uzņemtajiem attēliem ir iespējams iegūt vairāk un precīzāku informāciju.

### Secinājumi

1. Eksperimentu gaitā tika konstatēts, ka aļģu attīstība ir atkarīga no nitrātiem, fosfātiem un ūdens temperatūras, lielāka ietekme uz aļģu masas pieaugumu ir temperatūrai.

2. Vislielākais aļģu masas pieaugums vērojams, temperatūrai mainoties no 15°C uz 20°C, kas Latvijā novērojama no jūnija līdz augustam.

3. Lai detalizēti varētu izpētīt ūdens piesārņojumu ar satelītdatau palīdzību, ir nepieciešams analizēt un savākt pēc iespējas vairāk satelītuzņēmumu.

4. Viena no problēmām ir satelītdatau kvalitāte – uzņēmumi kurus aizklāj mākoņi, nav iespējams izmantot analizēšanai. Lai precizitāte būtu lielāka, nepieciešama augstāka attēlu izšķirtspēja.

#### Literatūra

1. *Aizaugušie bezgaisa ūdeņi uz arāja sirdsapziņas.* Sk.internetā (15.12.2016.) <http://www.videsvestis.lv/content.asp?ID=52&what=15>
2. Briede A. *Fosfora un smago metālu akumulācija Latvijas ūdenstilpēs.* Sk. internetā (01.11.2016.) <https://dspace.lu.lv/dspace/handle/7/213>
3. *Burtnieka ezers.* Sk.internetā (15.12.2016.) <https://www.ezeri.lv/database/1846/>
4. *Burtnieka ezers.* Sk.internetā (16.12.2016.) [http://www.burtniekunovads.lv/public/lat/turisms/dabas\\_objekti/burtnieka\\_ezers1/](http://www.burtniekunovads.lv/public/lat/turisms/dabas_objekti/burtnieka_ezers1/)
5. *Datu meklēšana.* Sk.internetā (15.12.2016.) <http://www.meteo.lv/virszemes-udens-datu-meklesana/?nid=479>
6. Kļaviņš M., Cimdiņš P., (2004). *Ūdeņu kvalitāte un tās aizsardzība.* Rīga: Latvijas Universitāte.
7. *USGS Earth Explorer.* Sk.internetā (16.12.2016.) <https://earthexplorer.usgs.gov/>
8. Ūdens “ziedēšana” jeb mikroskopisko aļģu masveida vairošanās. Sk.internetā (10.12.2016.) <http://laukutikls.lv/nozares/zivsaimnieciba/raksti/udens-ziedesana-jeb-mikroskopisko-algu-masveida-savairošanas>