

## ZĀLĀJU RAŽAS NOTEIKŠANAS IESPĒJAS, IZMANTOJOT ĢEOTELPISKO INFORMĀCIJU

### GRASS YIELD ESTIMATION OPPORTUNITIES USING GEOSPATIAL INFORMATION

Dzidra Kreišmane<sup>1</sup>, Aivars Jermušs<sup>2</sup>, Sarmīte Rancāne<sup>2</sup>, Ivo Vēzis<sup>2</sup>, Aivars Ratkevičs<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LBTU Lauksaimniecības fakultāte, <sup>2</sup>LBTU Zemkopības zinātniskais institūts,

<sup>3</sup>LBTU Vides un būvzinātņu fakultāte

dzidra.kreismane@lbtu.lv

**Abstract.** An essential part or 21% of Latvia's total agricultural land is made up of perennial grasslands, according to Central Statistical Bureau (CSB) information in 2021. The information on the yield from grasslands is important both for implementing agricultural policy and solving economic issues. However, more detailed information on long-term grassland yield is not available because of complexity and inaccuracy of the grassland yield evaluation process. Therefore, in 2022 within the framework of the CSB pilot project recommendations for the methodology of grass yield estimation, the normalized difference vegetation index (NDVI) of the Copernicus Sentinel-2 mission (European Space Agency) was developed. The measurements of grassland productivity were carried out in grasslands grouped by age into 5 groups (1–3 years; 4–5; 6–10; 11–19; and >20 years). The obtained relationship between the dry matter yield of the grass and NDVI with 40% correspondence ( $R^2=0.409$ ) was analysed using the linear regression. The results of the research of individual age groups of grasses revealed a very close relationship ( $R^2=0.886$ ) in the first half of the vegetation period between the NDVI index and the dry matter yield of grasses in the oldest group of 20 years and more. As regards the second half of the vegetation period in the surveyed grasslands, the relationship between the NDVI index and the dry matter yield of grasses was not found, i.e., the coefficient of determination ( $R^2=0.173$ ) indicated only 17% compliance with the obtained results. The reason of the weak relationship in the grasslands surveyed in August was the different development stage of the grasslands.

**Key words:** NDVI, grassland, biomass, dry matter yield.

#### Ievads

Zālāji Latvijā aizņem piekto daļu lauksaimniecībā izmantojamās zemes (LIZ) platības. No 1.97 milj. ha LIZ pļavas un ganības 2021. gadā veidoja 599 tūkstošus ha, kas liecina par zālāju būtisku nozīmi lauksaimniecības zemes apsaimniekošanā (Lazdins, 2018; Latvijas statistikas...,2023), taču detalizēta informācija par ilggadīgo zālāju ražu un produkcijas kopieguvi nav pieejama zālāju ražas uzskaites sarežģītības dēļ, kaut arī ražas datiem ir liela nozīme gan lauksaimniecības politikas, gan saimniecisko jautājumu risināšanā. Vienkāršs, bet efektīvs rīks zaļās veģetācijas kvantitatīvai noteikšanai ir normalizēts veģetācijas atšķirību indekss (NDVI), kas ir galvenais zālāju biofizikālo mērījumu spektrālās veģetācijas indikators. To apliecina 2015. gadā Zviedrijā (Möckel, 2015) un 2016. gadā Īrijā (Ali et al., 2016) veiktie pētījumi par attālinātās novērojumu sistēmas piemērotību zālaugu biomasas noteikšanai, izmantojot satelītu sensoru datus. Šī darba **mērķis** bija pilotprojekta ietvaros 2022. gada veģetācijas sezonā izstrādāt ieteikumus zālāju ražas noteikšanas metodikai, ņemot vērā attālinātās izpētes datus un to interpretāciju, kā arī projektā iesaistīto ekspertu līdzšinējo pieredzi zālāju vērtēšanā.

#### Materiāli un metodes

Izmantojot iepriekšējo pieredzi un zināšanas par ilggadīgo zālāju izvietojumu, eksperti atlasīja dažāda veida zālājus trīs vietās Latvijā – Skrīveru, Zaubes un Vidrižu pagastā –, kur ir raksturīga liela zālāju daudzveidība, ir sastopami dažāda vecuma zālāji, atšķirīgs reljefs un mitruma režīms. Sākotnēji atlasīti 46 zālāju vērtēšanas poligoni, taču turpmākā darba gaitā par piemērotiem zālāju vecuma un produktivitātes vērtēšanai atzīta puse. Dažāda lieluma (5–40 ha) atlasītie poligoni pārstāvēja piecas zālāja vecuma grupas (1. tab.). Sākot ražas uzskaiti konkrētajās poligona vietās, eksperti novērtēja visu poligonu un noteica vērtējamās vietas – ar vizuāli atšķirīgu zelmeni. Vērtēšana veikta divas reizes veģetācijas perioda laikā – no maija beigām līdz jūnija sākumam, un otru reizi vērtēta atāla raža augustā. Pirms darba sākuma atlasīti iespējami kvalitatīvi poligonu satelīta attēli, kas uzņemti iespējami tuvu zālāju novērtēšanas laikam uz lauka. Ražas uzskaites vietas noteiktas, ņemot vērā gan zelmeņa izskatu dabā, gan satelīta attēla krāsas intensitāti. Pētījumā ir izmantoti dati no multispektrālā optiskās attēlveidošanas satelītu Eiropas Kosmosa aģentūras programmas *Copernicus Sentinel-2*, kuras

ietvaros 2015. gada 23. jūnijā 786 km augstumā no Zemes palaida *Sentinel 2A*, bet 2017. gada 7. martā ar nesējraķeti *Vega* otrais satelīts *Sentinel-2B* un tā orbīta fāzēta par 180° pret *Sentinel-2A*<sup>2</sup>. *Sentinel* satelīti Zemes virsmu skenē reizi piecās dienās, aptverot 13 spektrālās joslas (443–2190 nm) ar platumu 290 km un telpisko izšķirtspēju 10 m (4 redzamās un tuvās infrasarkanās joslas), 20 m (6 sarkanās malas / īsviļņu infrasarkanās joslas) un 60 m (3 atmosfēras korekcijas joslas).

1. tabula / Table 1

**Apsekoto zālāju iedalījums grupās**  
*Classification of surveyed grasslands into groups*

Apzīmējums/Name	Zālāja vecuma grupa, gadi / Group of grassland age, years	Apsekoto poligonu skaits / Number of plots
I	Vecie ilggadīgie/dabiskie – 20 gadi un vairāk	4
II	Vidēji vecie ilggadīgie/dabiskie – 11–19 gadi	6
III	Jaunāki ilggadīgie/dabiskošanās sākums – 6–10 gadi	6
IV	Vidēja mūža ilguma sētie zālāji – 4–5 gadi	4
V	Aramzemē sētie īsmūža zālāji – 1–3 gadi	4
Kopā/Total	-	24

Normalizētas atšķirības veģetācijas indekss (NDVI) tiek aprēķināts, pamatojoties uz joslu kombināciju, pēc šādas formulas:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4},$$

kur NDVI – normalizētu atšķirību veģetācijas indekss;  
B4 – sarkanā gaisma ar viļņa garumu 665 nm;  
B8 – redzama un tuva infrasarkanā gaisma ar viļņa garumu 842 nm.

NDVI vērtību diapazons ir no –1 līdz 1. NDVI negatīvās vērtības (tuvijas –1) atbilst ūdenim. Vērtības, kas ir tuvu nullei (–0.1 līdz 0.1), parasti atbilst neauglīgām akmeņu, smilšu vai sniega zonām. Zemas pozitīvas vērtības apzīmē krūmus un zālājus (aptuveni 0.2 līdz 0.4), savukārt augstas vērtības norāda uz mēreniem un tropiskiem lietus mežiem (vērtības tuvojas 1). Itāļu zinātnieku grupa (Andreatta et al., 2022) pētījumā novērtēja, ka *Sentinel-2* attēlus var veiksmīgi izmantot, lai novērtētu zālāju frakcionētu veģetācijas segumu apgabalos, kur tas mainās ļoti detalizētā mērogā, pateicoties to augstajai telpiskajai izšķirtspējai. Svarīgs darba posms bija datu apkopošana un atbilstības pārbaude savietojšanai ar satelīta attēliem. Uz lauka iegūtos datus telpiski un laikā savietoja ar programmas *Copernicus Sentinel-2* datu bāzēm. Datu apstrāde veikta, izmantojot lineāro regresiju.

Zāles ražas uzskaitē poligonu nogabalos veikta, īstenojot svēršanas metodi. Zāle konkrētā poligona nogabalā 4 vietās 40 × 60 cm liela rāmīša robežās nogriezta un nosvērta. Pārreķināta zāles raža t ha<sup>-1</sup>. Rāmītī nogrieztais zāles paraugs izmantots zāles sausnas noteikšanai, bet, vērtējot zālāju atālus vasaras otrajā pusē, šie paraugi izmantoti ķīmiskā sastāva noteikšanai LBTU Biotehnoloģiju zinātniskās laboratorijas Agronomisko analīžu nodaļā. Nogabali atlasīti tā, lai tie nosegtu visu iespējamo daudzveidību poligona teritorijā. Mērījuma vietās fiksētas koordinātes, atzīmēts arī precīzs laiks, aprakstīts zelmeņa botāniskais sastāvs ar dominējošām sugām, kā arī atzīmētas kādas citas raksturīgas pazīmes zālāja detālākai novērtēšanai. Ņemot vērā tālīzpētes speciālista sacīto, šai procesā ļoti svarīga ir pēc iespējas pilnīgāka un detalizētāka informācija par konkrēto pētāmo vietu.

Zālāju vecuma noteikšanai izmantota Lauku atbalsta dienesta sniegtā informācija un pētījuma veicēju pašu novērojumi zālāja apsekošanas laikā, kur viens no faktoriem ir botāniskā sastāva vērtēšana, ko veica kā papildu darbību, lai labāk varētu novērtēt zālāju vecumu un zāles augšanas apstākļus konkrētajā poligonā. Vieni no botānisko sastāvu ietekmējošiem faktoriem ir abiotiskie faktori.

<sup>2</sup> Sentinel-2. Colour vision for Copernicus Sentinel [Tiešsaiste] [skatīts: 2023. g. 2. febr.]. Pieejams: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2).

Sausnas noteikšanai zāles paraugi izžāvēti žāvējamā skapī 60 °C temperatūrā atbilstoši metodikai. Izžāvētie paraugi nosvērti, aprēķināts sausnas daudzums paraugā % un sausnas raža t ha<sup>-1</sup>. Veicot atkārtotu zālāju novērtēšanu vasaras otrajā pusē atāliem, noteikti arī šādi zāles kvalitātes un produktivitātes rādītāji: kopproteīns %; kopproteīns t ha<sup>-1</sup>; skābi skalotā (ADF) kokšķiedra %; neto enerģija laktācijai (NEL) MJ kg<sup>-1</sup>; neto enerģija uzturei (NEM) MJ kg<sup>-1</sup>; neto enerģija pieaugumam (NEG) MJ kg<sup>-1</sup>; maiņas enerģija (ME) MJ kg<sup>-1</sup>; sagremojamība %.

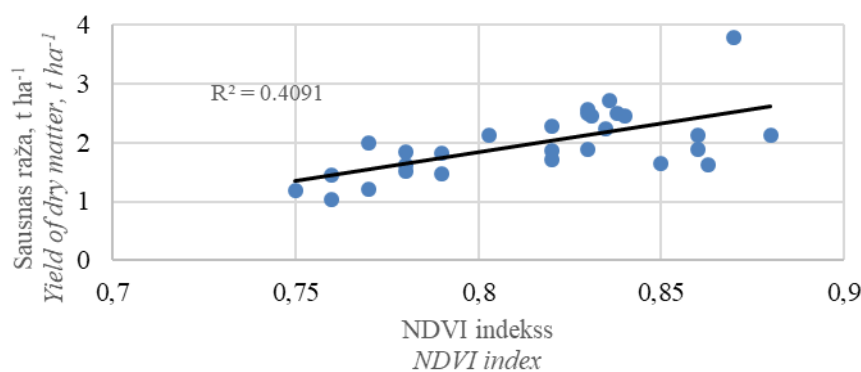
### Rezultāti un diskusijas

Darba gaitā apsekoti 24 dažāda vecuma zālāju poligoni (1. tab.). Ir konstatēts, ka par 20 gadiem vecākos zālajos ir notikusi zālāju dabiskošanās, izveidojusies bieza un noslēgta zemsedze, ir ieviesušās konkrētajiem augšanas apstākļiem tipiskas ilggadīgo zālaugu sugas – smilgas (*Agrostis*), grīšļi (*Carex*), cieras (*Calamagrostis*) – un platlapji, zālāji ir mazražīgi, ar nelielu tauriņziežu klātbūtni. Vidēji vecos ilggadīgos zālajos ir vērojami ļoti līdzīgi procesi kā vecajos, 1. grupas zālajos. Zelmeņa botāniskais sastāvs maz mainīgs, biežāk tajā sastopami tauriņzieži.

Jaunākos ilggadīgos zālajos bija novērojama dabiskošanās vai stabilizācijas sākums, taču zelmenī bija vērojamas sēto zālāju pazīmes. Tā sastāvā sastopams sarkanais āboliņš un sējas lucerna, taču zālājs bija mazražīgāks, bija ieviesušās smilgas, savvaļas tauriņzieži un platlapji. Vidēja mūža ilguma sētajos zālajos ir labi redzamas sēto zālāju pazīmes, bija izveidojusies laba zemsedze, zelmenī dominēja stiebrzāles, taču atrodamī vēl pietiekami daudz tauriņziežu, īpaši baltais āboliņš. Aramzemē sētie īsmūža zālāji bija jauni, tajos dominēja sētie zālaugi, kā arī tika konstatēts liels tauriņziežu īpatsvars. Zemsedze pirmajā gadā vēl nebija izveidojusies, otrajā gadā tā bija neliela, taču trešajā gadā tā jau bija izveidojusies. Atbilstošos apstākļos tika novērots ražīgs un blīvs zelmenis, bet bija sastopamas arī tūruma nezāles.

Poligonu apsekošanas gaitā veiktie novērojumi apstiprināja, ka zālaugu zelmeņu ražību lielā mērā ietekmē gan zelmeņa vecums, gan augsnes apstākļi, kā arī lietotais mēslojums, platību apsaimniekošana, reljefs un citi faktori. Zālaugu ražība būtiski atšķirās arī pa plāvumiem. Ievērojami ražīgāki bija pirmā plāvuma zelmeņi salīdzinājumā ar otro plāvumu.

Salīdzinot zālāja sausnas ražas datus ar NDVI indeksu, iegūta sakarība, kas nebija īpaši cieša, taču noteiktu priekšstatu par zālāja sausnas ražu ar 40% atbilstību (determinācijas koeficients  $R^2 = 0.409$ ) varēja iegūt, izmantojot lineārās regresijas vienādojumu (skat. 1. att.). Analizējot atsevišķas zālāju vecuma grupas, ļoti cieša sakarība ( $R^2 = 0.886$ ) starp NDVI indeksu un zālaugu sausnas ražu tika konstatēta pirmajā jeb virs 20 gadus vecu ilggadīgo/dabisko zālāju grupā veģetācijas perioda pirmajā pusē (skat. 1. att.).

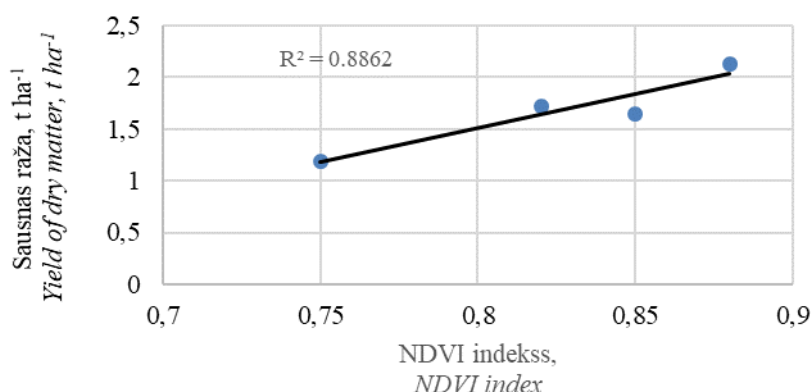


1. att. Zālāja sausnas ražas sakarība ar NDVI indeksu; I, II, V grupas zālāji; 2022. gada 30. maijs.

Fig. 1. The relationship of grass dry yield with the NDVI index for groups of grasslands I;II;V, May 30, 2022.

Veģetācijas perioda otrajā pusē apsekotajiem zālājiem sakarība starp NDVI indeksu un zālaugu sausnas ražu nav konstatēta jeb iegūtā regresijas vienādojuma determinācijas koeficients ( $R^2 = 0.173$ ) norādīja tikai uz 17% atbilstību ar svēršanas rezultātā iegūtajiem zālaugu ražas datiem. Augustā apsekotajos zālajos vāju likumsakarību pamatā bija atšķirīgā zālaugu attīstības pakāpe. Nenopļautie zālāji vai to atliekas bija pārkoksnējušās, kas ietekmēja ar satelīta palīdzību uzņemto informāciju par

atstaroto gaismas spektru, kā rezultātā NDVI indekss pat samazinājās, neskatoties uz sausas ražas pieaugumu.



2. att. Zālāja sausas ražas sakarība ar NDVI indeksu; I grupa; 2022. gada 30. maijs.  
Fig. 2. The relationship of grass dry yield with the NDVI index for group I, May 30, 2022.

Zālajos, īpaši vasaras otrajā pusē, bija vērojama dažādu abiotisko un biotisko faktoru ietekme uz to ražu, kas ir plaši raksturots dažādos zinātniskajos pētījumos (Austrheim, Olsson, 1999; Rūsiņa, 2008). Biomasas daudzumu ietekmē gaisa temperatūra, gaismas un mitruma režīms, augsnes tips, augsnes reakcija (pH), minerālvielu (barības vielu) daudzums u. c. Piemēram, sausu un karstu klimatisko apstākļu ietekmē konkurētspējīgāki ir augi ar dziļāku sakņu sistēmu, tādi kā lucerna, kamolzāle, dažādu sugu platlapji ar mietsakņu sistēmu. Zelmeņa botāniskais sastāvs mainās laika gaitā, bieži vien palielinoties sugu daudzveidībai agrobiocenozē. Sētie kultūraugi gadu gaitā izretinās, to vietu ieņem konkrētās vietas apstākļiem piemērotākie savvaļas augi.

Līdzās zālaugu zelmeņa sausas ražai ļoti liela nozīme ir arī zelmeņa kvalitātei, tāpēc atsevišķos laukos sausas ražas mērījumu laikā vasaras otrajā pusē tika noņemti zāles paraugi un veiktas zelmeņu kvalitātes analīzes. Tabulā apkopotie vidējie rādītāji no 2 līdz 5 mērījumiem, kā arī datu novirze lauka robežās norāda, ka atālu sausas ražas nebija augstas – 1–1.5 t ha<sup>-1</sup> (2. tab).

2. tabula / Table 2

**Zālāju atālu kvalitātes izvērtējums ražas uzskaites laikā, 02.08.2022.**  
**Evaluation of the sward quality during estimation of biomass, 02.08.2022**

Parametri/Parameters	5. grupas zālājs (1–3 gadi) / Grassland group N°5 (1–3 years)	1. grupas zālājs (> 20 gadi) / Grassland group N°1 (>20 years)
Platība/Area, ha	11.9	9.1
Zaļā masa / Green mass, t ha <sup>-1</sup>	6.1 (4.1–9.2)*	5.4 (2.5–5.1)
Sausna / Dry matter, %	27.8 (23.0–34.7)	24.8 (19–32.4)
Sausna / Dry matter, t ha <sup>-1</sup>	1.6 (1.3–2.1)	1.1 (0.8–1.7)
Kopproteīns / Crude protein, %	9.4 (7.2–12.2)	16.2 (15.0–17.3)
Kopproteīns / Crude protein, t ha <sup>-1</sup>	156.6 (110.2–256.5)	220.0 (143.9–296.0)
ADF, %	35.3 (32.7–36.7)	31.3 (30.9–31.6)
NEL, MJ kg <sup>-1</sup>	5.8 (5.7–6.0)	6.1 (6.1–6.1)
NEM, MJ kg <sup>-1</sup>	6.3 (6.1–6.5)	6.6 (6.6–6.7)
NEG, MJ kg <sup>-1</sup>	3.2 (3.1–3.5)	3.6 (3.6–3.7)
ME, MJ kg <sup>-1</sup>	10.7 (10.5–11.0)	11.1 (11.0–11.2)
Sagremojamība/ Digestibility, %	61.4 (60.3–63.4)	64.6 (64.3–64.8)

\*Vidējā vērtība un svārstības starp mērījumiem / Average value and variation between measurements within the field.

Sāsinājumi/Abbreviations: ADF – skābi skalotā kokšķiedra / *Acid detergent fiber*; NEL – neto enerģija laktācijai / *Net energy for lactation*; NEM – neto enerģija uzturei / *Net energy for nutrition*; NEG – neto enerģija pieaugumam / *Net energy for growth*; ME – maiņas enerģija / *Exchange energy*.

To var saukt par samērā tipisku zālaugu atālu ražu vasaras otrajā pusē, sevišķi zelmeņos ar nelielu tauriņziežu īpatsvaru. Kopumā, vērtējot kvalitātes rādītājus, īpaši izteikta bija zālāju apsaimniekošanas prakses ietekme, jo kopproteīna saturs variēja samērā plašās robežās. Tas liecina, ka zālāju novērtēšana atbilstošu datu ieguvei, lai tos salīdzinātu ar satelīta attēliem, vasaras otrajā pusē ir apgrūtināta, kas izskaidro arī ļoti zemo sakarību (17%) starp NDVI indeksu un zālaugu sausnas ražu.

No lauksaimnieciskās ražošanas viedokļa ļoti būtiski ir iegūt pēc iespējas lielāku kopproteīna daudzumu, bet to ietekmē dažādi faktori, tostarp zelmeņa botāniskais sastāvs, augu attīstības fāze, mēslojums u. c. Atsevišķu paraugu kvalitāte liecina, ka zelmeņu struktūra bija nevienmērīga, vietām tauriņziežu īpatsvars bija augstāks, citviet tie bija praktiski izzuduši. Vidējais kopproteīna ievākums no viena hektāra jaunajā sētājā 5. grupas zālājā veidoja 156.6 kg ha<sup>-1</sup>, bet ilggadīgajā dabiskajā 1. grupas zālājā 220 kg ha<sup>-1</sup>, kur arī sausnas raža bija par 0.53 t ha<sup>-1</sup> lielāka. Vecākā zālāja atālā labāks bija arī ADF rādītājs, kas nodrošināja par 0.33 MJ kg<sup>-1</sup> augstāku neto enerģiju laktācijai, par 0.39 MJ kg<sup>-1</sup> neto enerģiju uzturei, 0.39 MJ kg<sup>-1</sup> neto enerģiju pieaugumam un par 0.41 MJ kg<sup>-1</sup> maiņas enerģiju, kā arī par 3.2% labāku zāles sausnas sagremojamību. Tas liecina par to, ka arī vecāki, labi apsaimniekoti dabiskie zālāji var būt produktīvi, turpretī sliktāk apsaimniekoti sētie zālāji var nesniegt vēlamo rezultātu.

### Secinājumi

1. NDVI indekss atsevišķos gadījumos uzrādīja labu piemērojamību zālāju ražas noteikšanai, taču nav izdevies noteikt likumsakarību nepietiekamā uzskaites vietu skaita dēļ vienam konkrētam satelīta attēlam. Kvalitatīvi uzņemtam satelīta attēlam maksimāli pietuvinātā laika posmā iespējami īsākā laika periodā ir nepieciešams veikt vismaz 30 pēc iespējas atšķirīgas biomasas ražības uzskaites pēc vienotas metodikas.
2. Pilotpētījums pierādīja, ka nav nepieciešamības veikt mērījumus ģeogrāfiski atšķirīgās vietās, daudz lielāka nozīme ir atšķirīgam zelmeņa biomasas daudzumam, kā arī sekmīgai satelīta attēla datu interpretācijai, iespējams, eksistē vēl kāds cits atbilstošāks satelīta attēla datu joslas indekss vai parametrs.

**Pateicība.** Pētījums veikts pēc LR Centrālās statistikas pārvaldes pasūtījuma sadarbībā ar Lauku atbalsta dienestu ar Eiropas Savienības finansējumu.



Līdzfinansē  
Eiropas Savienība



### Izmantotā literatūra

1. Ali I., Cawkwell F., Dwyer E., Barrett B. Green S. (2016). Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology*, Vol. 9, Nr. 6, p 649–671.
2. Andreatta D., Gianelle D., Scotton M., Dalponte M. (2022). Estimating grassland vegetation cover with remote sensing: A comparison between Landsat-8, Sentinel-2 and PlanetScope imagery. *Ecological Indicators*. Vol. 141., <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109102>.
3. Austrheim G., Olsson E.G.A. (1999). How does continuity in grassland management after ploughing affect plant community patterns? *Plant Ecology*, Vol. 145, p. 59–74.
4. Latvijas statistikas gadagrāmata 2022. (2023). Centrālā statistikas pārvalde. ISBN 978-9984-06-576-2, 180.–187. lpp.
5. Lazdins A. (2018) Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana. Pārskats. Silava. Līguma Nr. 10 9.1-11/18/865-E, 150 lpp.
6. Möckel T. (2015). Hyperspectral and multispectral remote sensing for mapping grassland vegetation. Doctoral Dissertation, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Sweden, ISBN 978-91-85793-46-4, p. 32.
7. Rūsiņa S. (2008). Dabisko zālāju apsaimniekošana augāja daudzveidībai. *No: Aktuālā savvaļas sugu un biotopu apsaimniekošanas problemātika Latvijā*. A. Auniņa red. Rīga: Latvijas Universitāte, 29.–45. lpp.