



**UNIVERSITY
OF LATVIA**

FACULTY OF GEOGRAPHY AND EARTH SCIENCES

Ivo Vinogradovs

**ECOSYSTEM SERVICE APPROACH
FOR LAND USE MANAGEMENT IN
AGROECOSYSTEMS IN THE MOSAIC-TYPE
LANDSCAPE**

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

Submitted for the degree of Doctor of Science (*Ph.D.*)
in Earth Sciences, Physical Geography, Environmental Science

Riga, 2020

The doctoral thesis was carried out at the Chair of Physical Geography, Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia, from 2013 to 2019.

The thesis consists of the introduction, 2 chapters, conclusion, and reference list. Form of the thesis: collection of articles/research papers in physical geography, regional and environmental geography.

Supervisor: Professor, *Dr. geogr.* **Olģerts Nikodemus**

Reviewers:

- 1) Professor, Dr. **Hannes Palang**, Tallinn University,
- 2) *Dr. silv.* **Zane Libiete**, Latvian State Forest Research Institute “Silava”,
- 3) *Dr. geogr.* **Solvita Rūsiņa**, University of Latvia.

The defense of doctoral thesis will be held on June 17, 2020 at 13:00 in a public session of the Doctoral Committee at the Faculty of Geography and Earth Sciences of the University of Latvia, Jelgavas iela 1, Riga.

The thesis is available at the Library of the University of Latvia, Raiņa bulvāris 19, Riga, Latvia.

Chair of the Doctoral Committee

Prof. Agrita Briede

Secretary of the Doctoral Committee

Solvita Rūsiņa

© University of Latvia, 2020
© Ivo Vinogradovs, 2020

ISBN 978-9934-18-532-8

ANNOTATION

The thesis consists of a consecutive set of research articles aimed at developing a multi-criteria decision support system for the improvement of land use management in agroecosystems in mosaic-type landscapes. The autologistic binary regression model for the assessment of the driving forces of land use change in mosaic-type landscape in Vidzeme uplands was developed within the framework of research. The results showed that land quality, distance to farms, distance to paved roads and distance to forest edges were the main factors underlying land use change. The method for ecosystem service assessment and mapping in agroecosystems was developed for the area of study and approbated in Baltic states. The interaction analysis was performed to identify trade-offs and synergies among ecosystem services and to reveal “cold/hot” spots of ecosystem service supply. The achieved results were incorporated into a multi-criteria decision support tool for the integral planning of rural landscapes and improvement of land management. The multi-criteria decision support tool was tested for prioritisation of land use management in Cēsis municipality. The results of the thesis can be employed for analysing agricultural policies, territorial planning and the modelling of land use change and management.

LIST OF ABBREVIATIONS

ABR – autologistic binary regression

ALU – agricultural land use

ES – ecosystem services

IACS – integrated administration and control system

MCDS – multi-criteria decision support

CONTENTS

ANNOTATION	3
LIST OF ABBREVIATIONS	4
INTRODUCTION	6
Topicality of the study	6
Scientific novelty	8
Hypothesis of the thesis	8
Aim of the thesis	8
Tasks of the thesis	8
Publications	9
Related articles	10
Selected conference proceedings	11
Projects during the doctoral thesis preparation	12
1. DATA AND METHODS	13
1.1 Study area	13
1.2 Acquisition of geospatial data	13
1.3 Assessment of driving forces of land use change	15
1.4 Assessment of ecosystem service supply potential	16
1.5 Development of multi-criteria decision analysis tool	18
1.6 GIS and cartographic solutions for the web-based tool	21
2. RESULTS AND DISCUSSION	22
2.1 The results of the assessment of the drivers of land use change	22
2.2 Assessment of ecosystem services	24
2.3 Multi-criteria decision support	28
2.4 GIS and cartographical solutions for web-based tool	30
CONCLUSIONS	32
ACKNOWLEDGEMENTS	34
REFERENCES	70

INTRODUCTION

Land use has changed almost 75 % of the ice-free Earth surface (Ellis and Ramankutty 2008). Land use affects alterations in landscape structure, functions and ecosystem service supply. Global demand for food and bioenergy will continue to rise (Schneider et al. 2011), thus exposing agricultural land to further intensification (Tilman et al. 2011). The opposite process of intensification is marginalization, which can be found in geographical locations less suitable for intensive agriculture, leading to landscape polarization. The aforementioned process is present both on continental and national scales. In the south and east of Europe, the abandonment and subsequent afforestation of agricultural land is more evident, whereas the agricultural intensification is more present in western and northern Europe (Rienks et al. 2008). On a national scale, i.e. in Latvia's fertile soil regions, all farmland is returned to agricultural use, but in unfavourable agro-ecological conditions the farmland abandonment and natural, or deliberate, afforestation takes place (Nikodemus et al. 2005; Nikodemus et al. 2010; Vanwambeke et al. 2012; Vinogradovs et al. 2018).

In order to understand the ongoing changes in ecosystems and society, it is essential to use a composite approach to landscape research – to study the relationships of humans and their environment in the landscape, landscape structure and land use intensity, as well as landscape history, values, meaning and management (Plieninger et al. 2015).

Topicality of the study

Agricultural land use is the greatest human impact on the environment (Balmford et al. 2012). It discloses a loss of ecosystem and biological variety (Newbold et al. 2015), increased greenhouse gas emissions and changes in nitrogen and phosphorus cycles (Burney et al. 2010), which, in turn, lead to increased eutrophication of inland waters and the sea. Both intensification and marginalisation of agriculture lead to the homogenisation of the landscape – the simplification of the landscape structure and the consequent reduction in the availability of suitable habitats – the loss of diversity for small landscape elements and land use types in heavily managed areas (Nikodemus et al. 2018), natural and/or deliberate afforestation of agricultural lands in marginal locations (Nikodemus et al. 2005; Vinogradovs et al. 2018). The mosaic-type landscape, whose spatial structure is defined by very complex agroecological conditions, particularly those exposed to the marginalisation and homogenisation processes.

The solution to management of these processes, which would ensure sustainable land use, is targeted land management. The EU's Common Agricultural Policy (CAP) guidelines on the environment (European Commission 2019) set the main objectives of ensuring sustainable land management by eliminating

agricultural activity that is harmful to the environment and stimulating the production of environmentally friendly goods and services. The agri-environmental schemes developed under the CAP directly aim at reducing the environmental impacts of agricultural activities, such as the loss of habitats and biodiversity, major landscape transformation and reduction of pollution caused by fertilizers and pesticides. The effectiveness of these measures is observed in the areas where they deliver more benefits (Betary et al. 2015). One of the solutions for achieving these objectives is the introduction of the concept of ecosystem services in land policy and management (Van Zanten et al. 2014).

The ecosystem service approach is often implemented under land management, particularly in land use policy, spatial planning and environmental impact assessment (Rozas-Vásquez et al. 2019), as it is able to ensure a holistic pretext while providing the necessary basic information on the state and quality of the environment, the functioning of ecosystems and the potential of these functions, taking into account the economic interests of society (Hansen et al. 2014).

There are a number of approaches to the assessment (evaluation and mapping) of the ES: biophysical assessment methods are based on the assessment of biotic and abiotic factors determining the structures or functions of the ecosystems (Burkhard and Maes 2017), methods of economic assessment when the benefit of society is calculated in monetary terms (Farber et al. 2012) and social assessment methods when EP values are obtained by social anthropological methods (Plieninger et al. 2013). As a part of the thesis, a novel biophysical assessment method was developed to evaluate ES in agroecosystems, based on the criteria of land quality, soil texture, as well as terrain and farming intensity. The method is effectively applied in the Baltic states because it is based on data layers available in the countries: digital maps of soils and land assessment, terrain models and integrated administration and control system (IACS) data, which cover the whole area equally.

For land management, it is important to provide a framework where the decision-makers – politicians, municipal officials, landowners and land managers – are able to assess the impact of the type of agricultural use of land and its change on the provided ES, as well as to anticipate the security of ES supply in the future. There are many systems for integrating the ES into spatial planning (Grêt-Regamey et al. 2017), however, none of them have been adapted for the assessment of ES supply and land management in agroecosystems. They are based on either limited data (e.g. ground cover only (Dailey et al. 2009), or complex output data (Grêt-Regamey et al. 2017) and they often require specific knowledge and skills (Bagstad et al. 2011; Jackson et al. 2013; Fürst et al. 2010; Peh et al. 2013; Pickard et al. 2015). Therefore, their availability to the general public is not ensured and their application would not be effective, since the existing national geographic databases could not be used for ES assessment.

The integrated planning tool developed by *LIFE Viva Grass* project, in which the author has taken active involvement is presented in the thesis.

Scientific novelty

The thesis consists of three parts containing the following innovative elements:

1. Assessment of drivers or land use change in mosaic-type landscape:
 - a) an extensive geospatial data collection has been carried out using remote sensing, geospatial analysis and field survey methods;
 - b) development and approbation of method to employ autologistic binary regression (ABR) into modelling agricultural land use abandonment in mosaic-type landscape;
2. Assessment and mapping of ecosystem services in agroecosystems:
 - a) development of novel ES assessment method based on land quality, soil texture, terrain and IACS data and based on existing national geospatial data sets; the method is applicable in the Baltic states;
 - b) statistical analysis of interaction among ES to reveal spatial bundles, trade-offs and synergies – crucial to operationalize ES into land use management and planning;
3. Developing an underlying set of algorithms for multi-criteria decision support and integrated planning tool – the *Viva Grass Tool*:
 - a) development cartographic representation of ES supply potential and interaction values;
 - b) integration of drivers of land use change, ES supply potential and ES interaction values into weighted sum models of integrated planning tool's decision support systems;
 - c) approbation of integrated planning system in mosaic-type landscape.

Hypothesis of the thesis

A multi-criteria decision-making support tool based on the ecosystem services approach is applicable to land use management and planning, thereby ensuring the sustainability of agroecosystems systems.

Aim of the thesis

Developing and approbating ecosystem service approach for land management in agroecosystems in mosaic-type landscapes.

Tasks of the thesis

1. Create a geospatial database to assess the drivers of landscape change and ES.
2. Develop ABR model to detect probability of ALU abandonment in mosaic-type landscapes.

3. Develop method for ES assessment in agroecosystems in mosaic-type landscapes.
4. Allocate ES bundles, trade-offs and synergies by statistical analysis of the matrix of ES assessment values.
5. Develop cartographic solutions to represent ES and interaction values for integrated planning support tool.
6. Integrate ES, interaction and driving force of land use change values into weighted sum models.

Publications

The thesis is arranged into three consecutive articles that implement the tasks of the thesis. Tasks are grouped into four task-groups that overlap thematically, but do not duplicate (Fig. 1). Publications have been published or accepted for publication in internationally listed journals during the last 2 years (2018–2019).

Paper I. Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Elferts, D., & Brūmelis, G. (2018). Assessment of site-specific drivers of farmland abandonment in mosaic-type landscapes: A case study in Vidzeme, Latvia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 113–121, (listed in *Web of Science* and *Scopus*).

The article describes the methodology for identifying and evaluating the drivers of landscape change in the mosaic-type landscape. The methodology sets out methods for obtaining, processing, statistical analysis and modelling spatial data of land use change, as well as interpretation of the results. As a part of the publication, the author of the thesis has developed a method for collecting geospatial data, conducted field surveys and data verification, co-operated in the development of ABR model and performed interpretation of the results.

Paper II. Villoslada, M., Vinogradovs, I., Ruskule, A., Veidemane, K., Nikodemus, O., Kasparinskis, R., Sepp, K., Gulbinas, J. (2018). A multitiered approach for grassland ecosystem services mapping and assessment: The *Viva Grass Tool*. *One Ecosystem*, 3, e25380, (listed in *Scopus*).

The article discloses the development of methodology to assess ES based on the assessment of the land quality, soil, slope and land use data. The publication provides a statistical analysis of the interaction among ES. The developed methodology is the result of team work. The author's contribution is a statistical analysis of the interaction of the ES, as well as participation in the preparation and publication of the article.

Paper III. Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Villoslada, M., Ruskule, A., Veidemane, K., Gulbinas, J., Morkvenas, Ž., Kasparinskis, R., Sepp, K., Järv, H., Kliimask, J., Zariņa, A., Brūmelis, G. (accepted for publication) Integrating ecosystem services into decision support for management of agroecosystems: *Viva Grass Tool*. *One Ecosystem* (listed in *Scopus*).

The article describes the workflow for creating architecture for the multi-criteria decision support tool and describes the integration of ES values and ES interaction values into weighted-sum models into the integrated planning tool – *Viva Grass Tool*. The development of the integrated planning tool is the team work, in which the author was addressing the issue of cartographic representations and integration of ES values and land use change drivers into multi-criteria decision analysis and support modules.

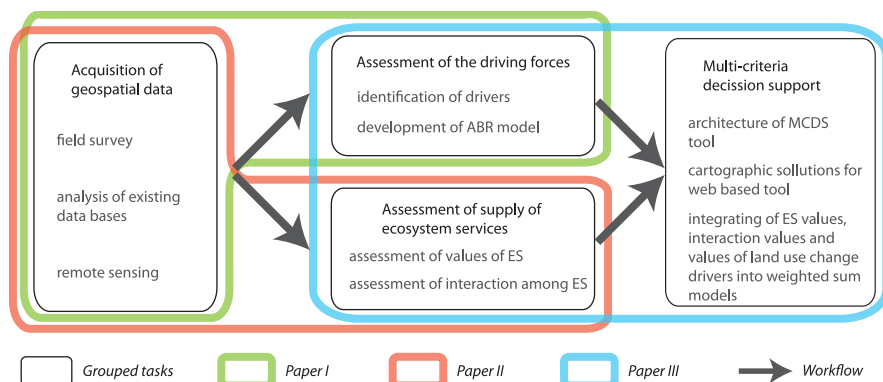


Figure 1. Workflow and tasks of the thesis

Related articles

- Vinogradovs, I.**, Nikodemus, O., Tabors, G., Krūze, I., Elferts, D. (2016). Assessment of factors of landscape change in mosaic-type landscape: a case study of Vidzeme, Latvia. *Environmental protection engineering (N 19)*, pp. 212–217.
- Nikodemus, O., Penēze, Z., **Vinogradovs, I.**, Rendenieks, Z. (2018). Zemes izmantošanas izmaiņas un to ainavekoloģiskais vērtējums. Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.) Latvija. Zeme, daba, tauta, valsts. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 604.-615.
- Vološina, M., Zariņa, A., Nikodemus, O., **Vinogradovs, I.** (2018). Landscape planning as an asset for regional development. In: *Economic Science for Rural Development Conference Proceedings* (No. 48).
- The guidebook on the introduction of ecosystem service framework in integrated planning. Kasparinskis, R., Ruskule, A., **Vinogradovs, I.**, Viloslada, M. (2018). Rīga, University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Sciences, p. 63.
- Ušča, M., **Vinogradovs, I.**, Reķe, A., Immurs, D. V., & Zariņa, A. (2019). Assessment of Ecosystem Services for Planning of Green Infrastructure

at the Regional Level. In *Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference. Volume I* (Vol. 315, p. 319), (listed in *Scopus*).

Zariņa, A., **Vinogradovs, I.**, & Šķiņķis, P. (2018). Towards (dis) continuity of agricultural wetlands: Latvia's polder landscapes after Soviet productivism. *Landscape research*, 43(3), pp. 455–469, (listed in *Scopus*).

Selected conference proceedings

Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Krišjāne, Z. Land use change scenarios in marginal mosaic-type landscapes and their impact on ecosystem services. *IALE World Congress*, 1–5 July 2019, Milan, Italy.

Zariņa, A., **Vinogradovs, I.**, Ruskule, A., Ecosystem services as an integral support tool for green infrastructure and landscape planning: a case of agro-industrial landscapes in Latvia. *IALE World Congress*, 1–5 July 2019, Milan, Italy.

Ruskule, A., **Vinogradovs, I.**, Veidemane, K., Prožavoite, D., Nikodemus, O., Villoslada, M., Ādamsonē, I. Applying ecosystem service approach and stakeholder engagement in landscape planning: LIFE Viva Grass example. *ESP Europe*, 15–19 September 2018, San Sebastian, Spain.

Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Elferts, D., Brūmelis, G. Assessment of site-specific agro-ecological and location drivers of farmland abandonment in mosaic-type landscape: case study of Vidzeme, Latvia. *IALE Europe*, 12–15 September 2017, Ghent, Belgium.

Zariņa, A., **Vinogradovs, I.** Landscapes of agricultural appearance: non-productivist practices in Latvia's marginal farmlands. *IALE Europe*, 12–15 September 2017, Ghent, Belgium.

Ruskule, A., Morkvenas, Ž., Gulbinas, J., Kuris, M., Rømmelgas, L., Indriksone, D., Veidemane, K., **Vinogradovs, I.**, Villoslada, M. Accommodating the ecosystem service concept for enhancing grassland viability in the Baltic states: the LIFE Viva Grass approach. *IALE Europe*, 12–15 September 2017, Ghent, Belgium.

Vinogradovs, I., Villoslada, M., Gulbinas, J., Ruskule, A., Sepp, K., Kasparinskis, R., Nikodemus, O. Mapping and identifying grassland ecosystem services and their trade-offs: study from Baltic states. *14th Eurasian Grassland Conference*, 4–8 July 2017, Riga, Latvia.

Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Tabors, G., Krūze, I., Elferts, D. Assessment of factors of landscape change in mosaic-type landscape: a case study of Vidzeme, Latvia. *19th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"*, 6 May 2016, Vilnius, Lithuania.

Vinogradovs, I., Zariņa, A., Lūkins, M. Territorialisation of marginal lands: unfolding the post-productivist landscape potential. *Nordic Geographers Meeting*, 15–19 June 2015, Tallinn, Tartu, Estonia.

Vinogradovs, I. Application of LIDAR data for land overgrowth assessment. *LU 73rd scientific conference*, 2–6 February 2015, Riga.

Vinogradovs, I. Application of remote sensing data to detect land use change in mosaic-type landscapes. *LU 72nd scientific conference*, 23–31 January 2014, Riga.

Projects during the doctoral thesis preparation

1. Integrated planning tool to ensure viability of grasslands LIFE Viva Grass (EU LIFE+ programme, project No. LIFE13 ENV/LT/000189), 2016–2019, researcher.
2. Sustainable management of natural resources during the climate change, scientific project of University of Latvia No. ZD2010/AZ03, 2016–2017, researcher.
3. Formation of marginal areas in Latvia. Causes and consequences (No. 514/2012), 2016, researcher.

The thesis consists of a summary in English and Latvian, and three consecutive articles – parts of the dissertation. The summary includes annotation, introduction, methods, results, conclusions and list of references.

1. DATA AND METHODS

1.1 Study area

The case study area is located in the western part of Vidzeme uplands (Fig. 2). Administratively it consists of Vaive parish of Cēsis municipality, Taurene, Vecpiebalga and Dzērbene parishes of Vecpiebalga municipality, Drusti parish of Rauna municipality and Zosēni parish of Jaunpiebalga municipality. Selected methods of the thesis were approbated on a national scale and on the scale of the Baltic states.

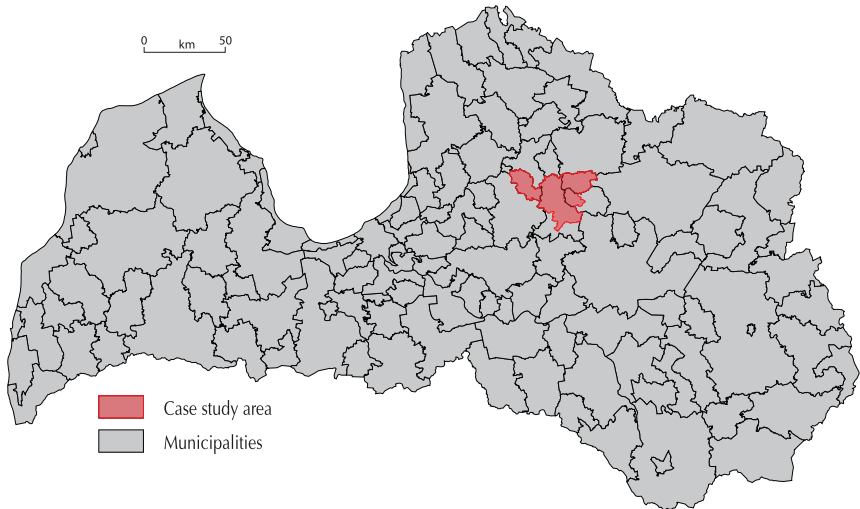


Figure 2. Case study area

1.2 Acquisition of geospatial data

Quality geospatial data is the foundation of sustainable land management. As a part of the thesis, a high-definition geospatial data set was created, which was used in modelling the drivers of land use change and assessment of ecosystem services. As a part of the study, the development of a land use database was carried out by remote sensing and field survey methods, as well as the collection, verification and augmenting of information from existing geospatial databases.

The first sub-task was the identification, quality assessment and matching of existing geospatial databases. The databases used in the study are summarised in Table 1.

The data sets were restructured according to the settings of the research. Where necessary, the data was categorised (e.g. quality of land, number of

animals in farms) or used to generate derived data (e.g. distance to animal accommodation, forest edges, paved roads, etc.).

Table 1

Geospatial datasets used in the research

Geospatial data sets	Owner	Availability, remarks
IACS data	Rural Support Service	Open access (from 2018), separate agricultural fields' geometry and cultures grown and payments received available
Drainage systems	Ministry of Agriculture, Real Estate Department	Open access, contains thorough information on drainage systems.
Animal recordings	Agricultural Data Centre	No geospatial data available in open access
Cadastre data	State Land Service	Limited access, no personal information.
Digital soil maps	State Land Service	Open access, information on agricultural land
Land quality maps	State Land Service	Open access, information on agricultural land
SPA, biotopes	Nature Conservation Agency	Open access
Topographical map 1:10000	Geospatial Information Agency	Limited access, limited land use coverage
Digital elevation model (LIDAR)	Geospatial Information Agency	Open access, limited coverage, post processing needed
Digital elevation model (SRTM)	Geospatial Information Agency	Open access, limited resolution (20 m)
State forest records	State Forest Service	Limited access
Monument of cultural and historical values	National Cultural Heritage Agency	No geospatial data available in open access

In order to supplement and partially verify the information contained in the aggregated geospatial databases, remote sensing methods were applied. The first of these methods was a visual assessment of several cycles of orthophotos. As a part of the thesis, the use of LIDAR cloud data for the recognition of agricultural land abandonment in Vaive parish was approbated. LIDAR data with a resolution of 8 pt/m² was obtained for the site. The classification and interpretation of the point cloud was made, and digital terrain and surface models were created. In ArcGIS software, a normalized surface pattern was constructed using the MapAlgebra module, which was used as a basis for creating a relative height model. In parallel, a LIDAR data intensity model was developed, allowing for an innovative approach to the separation of clearings and overgrown farmland. Due to the unavailability of high-quality, spatial-based data, the use of this method throughout the whole area of the study had to be abandoned.

In a situation where agricultural land is not in its entirety declared in the rural register data, i.e., the land is used for agricultural production, but it

does not receive European Union aid payments or farmland is managed, for example, grass is being mown and mulched on site in order to maintain an open landscape around holiday farms, the development of a fully-fledged geospatial database required a survey of agricultural lands. The survey was conducted in the late summer of 2014 and 2015, delineating the nature and intensity of agricultural land management, and in particular focusing on the degree of abandonment in the targeted areas. Thus, three agricultural categories of land use intensity were distributed: agricultural land used in agricultural production; unused agricultural land subject to natural afforestation and partly abandoned agricultural land maintained but not used for agricultural production. In some areas (Vaive parish), mapping of the spread of Sosnovsky hogweed was also carried out for further integration into the decision-making support tool.

1.3 Assessment of driving forces of land use change

The identification of driving forces of land use change was carried out in three consecutive steps: identification of drivers, geospatial analysis and statistical analysis. Based on previous studies (Nikodemus et al. 2005; Nikodemus et al. 2010; Ruskule et al. 2012; Vanwambeke et al. 2012; Ruskule et al. 2013), abandonment of agricultural land was identified as the most important land use change process in the mosaic-type landscape. Factors reflecting site-specific properties were selected for the distribution of site-specific drivers, which spatially vary within one type of landscape and have been identified as relevant in previous studies. A summary of the underlying factors for driving forces is presented in Table 2.

Table 2

Factors used in analysis

Variable	Unit	Description
Land quality	Pt/ha (0–100)	Quality of agricultural land described as 100-point max grades
Soil texture	group	Groups of soil texture: sand, loamy sand, sandy loam, clay, peat.
Cadastre area	ha	Size (ha) of cadastre parcel in 2016
Drainage system	0/1	Presence of drainage system
Slope	0/1	Slope <math><10^\circ/>10^\circ</math>
Previous land use patch	ha	Size (ha) of homogeneous land use type in 1990
Distance to rural centre	m	Distance
Distance to paved road	m	Distance
Distance to farm	m	Distance
Distance to forest edge	m	Distance

The data was collected in the grid type analysis model in the ArcMap program. The analytical grid size was selected at 100 x 100 m, corresponding

to the detail of the land use patterns in the created spatial data sets. A centroid was created for each grid cell, thus covering the area under investigation with 220000 data collection points. The values of all the factors were read at each point, supplemented with X and Y coordinates in the LKS-92 system and stored for further statistical analysis in the form of a table.

To estimate the probability of farmland abandonment we constructed two autologistic binary regression (ABR) models as implemented in software R 3.4.0. (R Core Team 2017). One model was made to compare probabilities for semi-abandoned farmland versus farmland in active agricultural use. The second model was used to compare abandoned farmland versus farmland in active agricultural use. To account for spatial autocorrelation, in both models a distance-weighted autocovariate was included (calculated in R package *spdep* (Bivand et al. 2013)). Land quality, distance to roads, cadastre area, previous land use patch areas, soil texture (peat as reference level), erosion risk and drainage were used as independent variables in both models. There was no multicollinearity between independent variables, as generalized variance-inflation factor values were below 2 for all variables. All distance and area variables were scaled to unit variance before analysis as they had a high difference in amplitude. Log-odds were also expressed as odds ratio values for easier interpretation of results. Explained variance was calculated using the McFadden method of pseudo r-squared for generalized linear models as implemented in R library (*pscl*) (Jackmans 2017).

1.4 Assessment of ecosystem service supply potential

The geospatial data set for ES assessment was constructed based on the coverage of agro-ecological conditions of agricultural land (land quality, soil and terrain) and the type of land management. As a composite value of agro-ecological conditions, the land quality value and the reduction of soil texture were grouped into 2 categories: mineral soils and organic (peat) soils were applied. The qualitative value of the land was divided into 3 classes, using 25 and 50 points (LLU 2019) as threshold values, relatively indicating the fertility of agricultural lands and the potential for marginalisation. Slope values were divided into three classes depending on the impact of the slope on potential of soil erosion. The types of land management were divided into five classes depending on the intensity of the land management practice intervention on the soil's surface and the relevance of grassland species to a particular habitat. The grouping of determinants of ES assessment (Table 3) created ES assessment categories. A field, a spatial unit of continuous land use, whose borders were either determined by the data from the rural register (declared fields) or by the site survey and remote sensing data, was identified as an ES assessment and service providing area. Each ES providing area (field) was subjected to zonal statistical analysis and was assigned the dominant value of the basic determinant of ES. The type of management was determined according to the data from the rural

register. Certain agricultural land uses (orchards, short rotation coppice) were excluded from the ES assessment due to their low presence in the area of study.

Table 3

Classification of determinants of ES assessment

		Determinants		
		Soils	Slopes	Type of management
Classes	Low quality		< 4°	Cultivated grasslands
	Medium quality		4–10°	Permanent grasslands
	High quality		> 10°	Semi-natural grasslands
	Organic soils			Cropland
				Abandoned agricultural land

The supply potential of ES was assessed using the matrix method approach (Burkhard et al. 2009) for five provisioning and nine regulating services (CICES 2015) related to agroecosystems. One indicator was defined for each service. An expert panel consisting of geography, biology, environmental science, agriculture and soil science experts, based on research of scientific articles, carried out a semi-quantitative assessment of each ES on a scale ranging from 0 (no service provided) to 5 (very high service provision). The assigned ES values are potentially replaceable by actual service values when such values will be available. The cultural ES were not evaluated using the matrix method, since the provision of services is linked to the landscape elements determining the provision of the service (Table 4).

Table 4

List of cultural ES and their evaluation criteria

Cultural ES	Landscape feature	Buffering distance
Physical and experiential interactions (recreational)	Rural recreational enterprises	3 km
	Watch towers	300 m
	Tourist trails	100 m
	Area of hunting clubs	0 m
	Camping sites	300 m
	Social gathering places	300 m
Educational	Educational trails	100 m
	Educational sites	100 m
Cultural heritage	Monuments	100 m
	Manor houses, old farmsteads	100 m
	Traditional land use	300 m
Aesthetics	Water bodies and streams	300 m
	Naturalness of surroundings	100 m
	Naturalness of land use	0 m
	Linear landscape elements	300 m
	Relief	standard deviation > 10 5 × 5 km grid
	Openness	forest cover < 50 % 5 × 5 km grid

Bundles of ES were revealed through the principal component analysis of semi-quantitative ES values for grassland plots (observations) and ES (variables) based on the matrix as input data (Queiroz et al. 2015) using SPSS software. The trade-offs and synergies were assessed using a correlation analysis for each pair of ES. Distribution of ES hotspots was done by counting ES to high values (4.5), cold points – counting ES with low values (1, 2).

1.5 Development of multi-criteria decision analysis tool

The multi-criteria decision support (MCDS) is a framework designed to guide the decision-making process, taking into account a number of criteria, in situations where a number of objectives need to be achieved and a number of stakeholders have to be involved (Belton & Stewart 2002). Territorial planning and management aims are of a complex structure that cannot be expressed by a single indicator or a single dataset (Koschke et al. 2012). The proposed MCDS frame provides a structured scheme that combines the results of ES values with biophysical and socio-economic data sets for an integrated use in the planning process.

Table 5

Functionality and target audience of MCDS tool

Tool Modules	Functionalities									Target audience
	Agricultural land use	ES assessment	ES bundles, trade-offs, hotspots	Biomass potential	Energy potential	Management recommendations	Prioritisation, classification	Map export	Editing, uploading, downloading	
Viva Grass Viewer	X	X	X			X		X		General public
Viva Grass Bio-energy	X			X	X	X		X		Planners, researchers
Viva Grass Planner	X	X	X			X	X	X	X	Planners, researchers

The individual tool models are designed for different functionalities and different user groups (Table 5). The complete functional support of the MCDS process is provided by the *Viva Grass Planner* module, which requires an understanding of GIS data processing processes. *Viva Grass Viewer* is aimed at exploring the ES assessment and ES interaction, *Viva Grass Bio-Energy* is designed for planning the use of grass biomass as a fuel source.

The operationalizing of ES into the MCDS tool was based on a scheme adapted from Langemeyer et al. (2016) (Fig. 3). In the framework of the approbation of the MCDS tool, the development of each phase of the process focused on the involvement of stakeholders, which was carried out in the meetings of the working groups. The author of the thesis carried out the approbation of the MCDS tool within one administrative area (Cēsis municipality).

It was linked with the municipal development programme and territorial plan. Stakeholders' meetings included representatives of the municipal spatial planning specialists, employees of the administrative management of Cēsis municipality, rural consultants, tourism specialists, farmers, businessmen and residents.

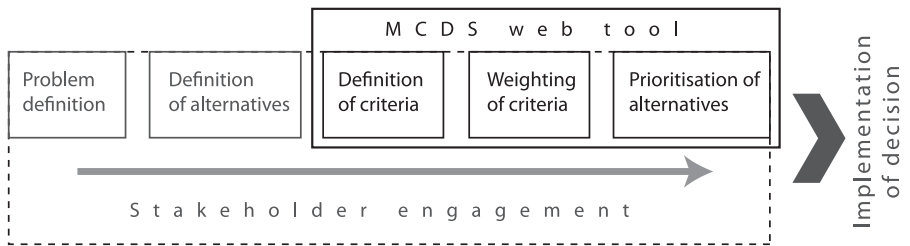


Figure 3. Multi-criteria decision support scheme (adapted from Langemeyer et al. 2016)

For the weighting and prioritisation of the MCDS criteria, a weighted sum model (Triantaphyllou 2000) was used, where separate ES were chosen as weighing criteria for which a user (a group of stakeholders) assigns certain values with a total value of 100, resulting in a prioritisation weight calculated on the basis of the formula

$$\sum_{i=0}^n \frac{Index_i}{\max(Index) * n} Weight/100$$

where Index – value of a particular index, max(Index) – maximum value of a selected index, and Weight – user-defined weight for the component. The total weight index is the sum of the selected components. Weighting scales can be saved and edited. Since the weighted-sum model requires values where all criteria are expressed in the same unit, the MCDS tool includes the possibility of classifying data which allows for the addition of data of different expression to prioritisation, such as the “cold spot” value or belonging to the trade-offs, as well as data created to deal with certain problems, i.e., as the “agricultural land abandonment risk” index. Additionally, required indicators in the MCDS tool

are to be used as core data derivatives or as new composite indices formed as weighted-sum models according to this formula:

$$A_i^{SSM-value} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \text{ kur } i = 1, 2, 3, \dots m$$

where w_i – weight of criteria, a_{ij} – value of criteria and $A_i^{SSM-value}$ value of composite index.,

In the municipality of Cēsis, the MCDS tool was approbated for the development of prioritization of agricultural land management in the context of maintaining and increasing tourism potential. The workflow of the MCDS (Fig. 4) was implemented in 5 successive stakeholder meetings, each marking a discussion of the results of the previous meeting and, if necessary, an adjustment; the first meeting was devoted to the presentation of the ES approach.

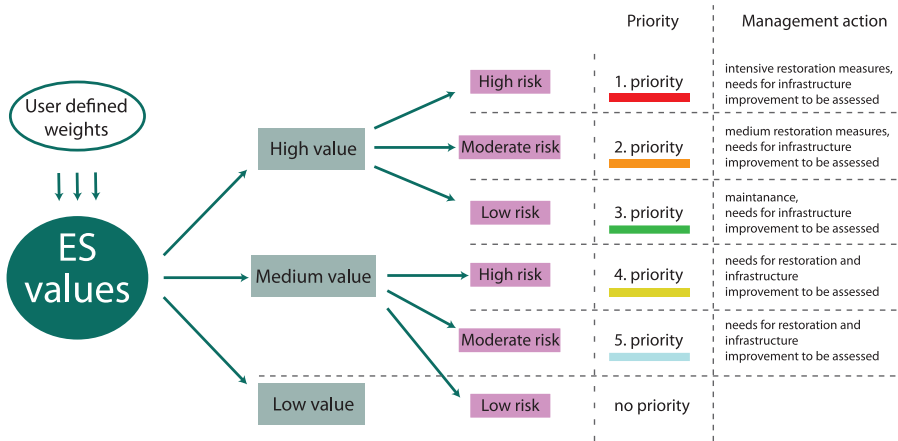


Figure 4. Workflow of MCDS for the prioritisation of management of agricultural land

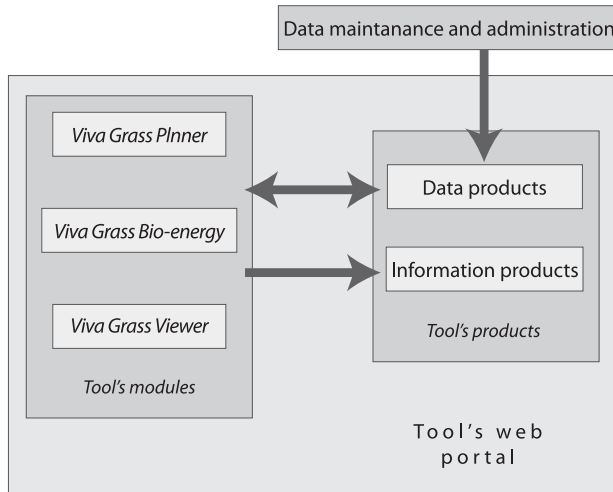


Figure 5. The structure of the web based MCDS tool

1.6 GIS and cartographic solutions for the web-based tool

The *Viva Grass Tool* is based on an ArcGIS Enterprise platform. Data is stored in a common spatial database (PostgreSQL) and published as GIS services (maps). The web-based tool modules/applications were constructed using the ArcGIS Web application builder. To fulfil custom requirements, additional application widgets were developed (Fig. 5). The *Viva Grass Tool* includes three main Tool modules: *Viva Grass Viewer*, *Viva Grass Bio-energy* and *Viva Grass Planner* targeted to particular users and decision-making contexts. The three modules produce and use various data and information products, which can be linked with other information platforms.

The assessment maps of ES and calculation results are available as “data product” shape file archives. The assessment matrix and the algorithms that were used are available as “information products”.

2. RESULTS AND DISCUSSION

This section describes and discusses the main results of the thesis: the analysis of the drivers of land use change, the assessment of ecosystem services and an analysis of their interaction, the approbation of the multi-criteria decision support tool.

2.1 The results of the assessment of the drivers of land use change

The method implemented in the thesis identified the drivers of land use change and the probability (risk) of abandoning agricultural land. The changes in land use are linked to land reform following the collapse of the USSR and the restructuring of the agricultural sector after accession to the EU.

Table 6

Results of autologistic binary regression

Land maintenance type	Variable	Estimate	Odds ratio	Std. error	t-value	p-value	
Semi-abandoned ALU	KVP	-0.38	0.69	0.06	-6.55	< 0.001	
	KLI	-0.32	0.72	0.05	7.09	< 0.001	
	ALC	-0.07	0.93	0.04	-1.59	0.113	
	ALF	0.23	1.27	0.04	5.97	< 0.001	
	AMM	-0.26	0.77	0.05	-5.63	< 0.001	
	ACS	0.17	1.19	0.04	4.18	< 0.001	
	ZKV	-0.32	0.73	0.05	-6.36	< 0.001	
	MSK	-0.58	0.56	0.01	-5.76	< 0.001	
	NST	-0.03	0.97	0.10	-0.25	0.803	
	Soil texture (peat reference)						
	C	-0.55	0.58	0.21	-2.68	0.007	
	SL	-0.40	0.67	0.14	-2.85	0.004	
	S	-0.19	0.83	0.16	1.21	0.227	
	LS	-0.38	0.67	0.14	-2.85	0.004	
Abandoned ALU	KVP	-0.09	0.91	0.02	-2.85	< 0.001	
	KLI	-0.22	0.80	0.02	-2.85	< 0.001	
	ALC	0.04	1.04	0.02	-2.85		
	ALF	0.24	1.27	0.02	-2.85	< 0.001	
	AMM	-0.59	0.55	0.03	-2.85	< 0.001	
	ACS	0.17	1.18	0.02	-2.85	< 0.001	
	ZKV	-0.58	0.56	0.03	-2.85	< 0.001	
	MSK	-0.40	0.67	0.05	-2.85	< 0.001	
	NST	-0.33	0.72	0.05	-2.85	< 0.001	
	Soil texture (peat reference)						
	M	-0.95	0.39	0.10	-2.85	< 0.001	
	SL	-0.61	0.54	0.07	-2.85	< 0.001	
	S	-0.40	0.67	0.09	-2.85	< 0.001	
	LS	-0.72	0.49	0.06	-2.85	< 0.001	

KVP – size of cadastre parcel, KLI – size of previous land use patch, ALC – distance to rural centre, ALF – distance to farm, AMM – distance to forest edge, ACS – distance to road, ZKV – land quality, MSK – presence of drainage, NST – slope > 15°, C – clay, SL – sandy loam, S – sand, LS – loamy sand.

Regression models are commonly used to assess the drivers of land use changes in different regions and scales (Millington et al. 2007). The results of the autologistic binary regression (Table 6) indicate that higher land quality value in the Vidzeme mosaic-type landscape reduces the possibility that farmland will be transformed to semi-abandoned (unutilised) farmland (odds ratio 0.73, $p < 0.001$) or abandoned agricultural land (odds ratio 0.56, $p < 0.001$). The soil texture has no statistically significant impact on the probability that agricultural land will be transformed into partly abandoned land, while the probability of abandoning agricultural land decreased with all variations of soil texture calculated relative to peat.

The absence of steep slopes (odds ratio 0.72, $p < 0.001$) reduces the probability that farmland will be abandoned, while the presence of drainage systems reduced the possibility that farmland will be partially abandoned (odds ratio 0.56, $p < 0.001$) or abandoned (odds ratio 0.67, $p < 0.001$). Increased distance to farms (odds ratio 1.27, $p < 0.001$) and road paved with gravel or asphalt pavement (odds ratio 1.18, $p < 0.001$), as well as a decrease in distance to forest edges (odds ratio 0.55, $p < 0.001$) increased the probability that farmland would be abandoned. Greater distance to farms (odds ratio 1.27, $p < 0.001$) and shorter distance to the forest edge (odds ratio 0.78, $p < 0.001$) increased the probability that agricultural land would not be used for agricultural production.

The overall explained variance of the ABR model for farmland abandonment in the Vidzeme mosaic-type landscape is 29.21 %, while for partial abandonment it is 40.48 %. Although the explained variance within the area under investigation varied, in all parishes the land quality value and the distance to forest edges were important factors for increasing the risk of abandoning agricultural lands. In most of the areas increasing the distance to the farm also increased the abandonment risk of agricultural lands. The unexplained variance of the model is attributable to the effects of factors not included in the model, for instance, socioeconomic factors on the farm level, such as farm income and size, age and education level of the farmer, continuity and persistence of agricultural practices and the level of mechanisation (Baldock et al. 1996; Van Doorn and Bakker 2007; Kristensen et al. 2004; MacDonald et al. 2000, Terres et al. 2015). Socio-economic and demographic indicators at the regional level also play an important role (Kuemmerle et al. 2008; Prishchepov et al. 2013).

The obtained results allow the formation of a composite indicator to be used in a weighted-sum model from a number of variables which showed significant impact on land use change, such as the quality of land, the distance to a farm and the distance to a forest edge, and thus allows for the creation of an agricultural land abandonment risk index used in the multi-criteria decision-making support tool (Chapter 2.3).

2.2 Assessment of ecosystem services

As a part of the assessment of ecosystem services, a specific indicator value was applied to the expression of each service (for provisioning services in metric units, for regulating services – relative units) and later categorised in the ordinal scale of the ecosystem service assessment matrix (1–5). For instance, indicator for the ES “fodder” is t/ha/year, i.e. value “1” stands for < 1 t/ha/year, “2” – 2–3 t/ha/year etc. An indicator for ES “habitat maintenance” is number of species of vascular plants per 1 m², i.e. value “1” stands for “very low number of species”, value “5” – very high number of species (Table 7, Fig. 6). The structure of the matrix allows for the substitution of ordinal data with actual values when they are available.

Table 7

Extract of the expert-based scores matrix

ALU class	Provisioning ES					Regulating ES							
	Cultivated crops	reared animals	Fodder	Biomass for energy	Medical herbs	Bioremediation	Filtration / accumulation	Erosion control	Pollination	Habitat maintenance	Weathering	Chem. con. of freshwaters	Global climate regulation
11. Permanent grasslands on plain relief, low land quality	0	2	1	1	3	3	2	0	4	4	2	3	3
12. Permanent grasslands on plain relief, medium land quality	0	3	2	2	2	4	3	0	4	3	3	4	3
13. Permanent grasslands on plain relief, high land quality	0	4	3	3	2	4	4	0	4	3	4	5	3
14. Permanent grasslands on plain relief, on organic soils	0	3	2	2	2	5	4	0	4	3	0	3	4
15. Permanent grasslands on gentle slope, low land quality	0	2	1	1	3	3	2	4	4	4	2	3	3
16. Permanent grasslands on gentle slope, medium land quality	0	3	2	2	2	4	3	3	4	3	3	4	3
17. Permanent grasslands on gentle slope, high land quality	0	4	3	3	2	4	4	3	4	3	4	5	3
18. Permanent grasslands on gentle slope, on organic soils	0	3	2	2	2	5	4	0	4	3	0	3	4
19. Permanent grasslands on steep slope, low land quality	0	2	1	1	3	3	2	5	4	4	2	3	3
20. Permanent grasslands on steep slope, medium land quality	0	3	2	2	2	4	3	5	4	3	2	4	3

The developed ES assessment method identifies the potential for the provision of the service under the given agro-ecological conditions, taking into account the land management intensity. For example, cultivated grassland – ploughed at least once every five years, a reseeded, fertilised agroecosystem, will provide a higher value for provisioning services than permanent grasslands under any early ecological conditions. On the other hand, semi-natural grasslands, a non-intensively managed, species-rich agroecosystem will provide a higher value for regulating services under any agro-ecological conditions.

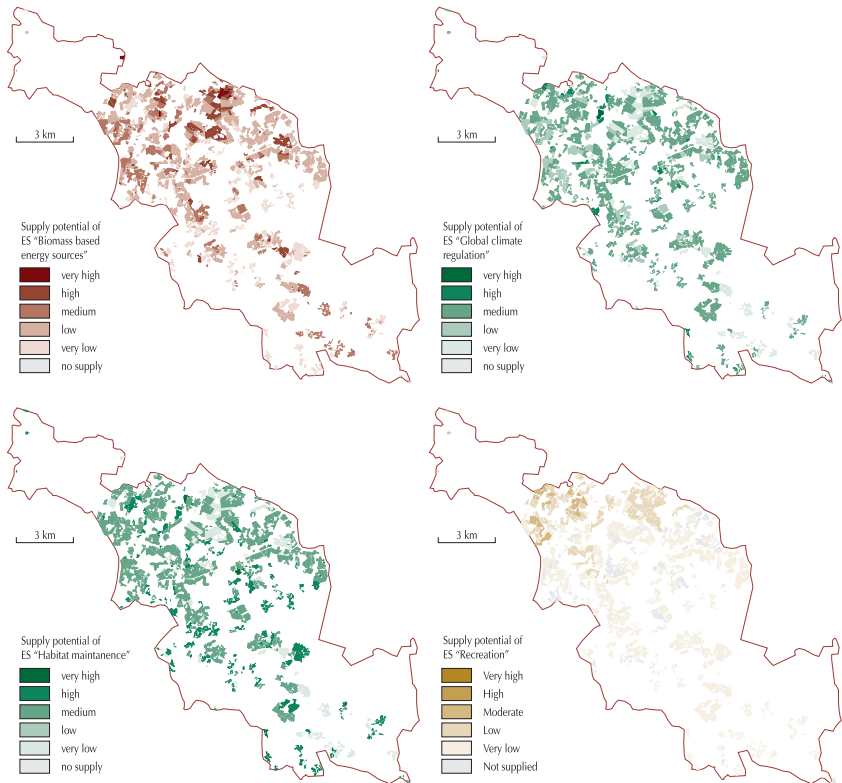


Figure 6. Results of ES assessment in Cēsis municipality

The principal component analysis revealed 3 main components (Table 8), which correspond to three bundles accounting for 90.53 % of the total variance. The first component accounts for 48.18 % of the total variance and is positively correlated with “herbs for medicine”, “maintaining habitats”, “global climate regulation” and “pollination” ES and negatively correlated with “reared animals”, “fodder” and “biomass-based energy sources” ES. This component represents

a trade-off between provisioning ES related with cultivated grasslands and the ES characteristic of semi-natural habitats. The second component accounts for 28.1 % of the total variance in the dataset and is positively correlated with “filtration/ accumulation by ecosystems”, “bio-remediation” and “chemical condition of fresh waters” ES. The third component explains 14.25 % of the total variance and is positively correlated with the “control of erosion” and “weathering processes” ES.

Table 8

Factor loadings showing the correlation between the original variables (ES) and the components extracted by the PCA

Ecosystem services	1 st component	2 nd component	3 rd component
reared animals	-0.958		
Fodder	-0.807		
Biomass-based energy sources	-0.808		
Medical herbs	0.921		
Pollination	0.846		
Habitat maintenance	0.953		
Global climate regulation	0.726		
Bioremediation		0.839	
Filtration / accumulation		0.845	
Chem. cond. of freshwaters		0.766	
Erosion control			0.608
Weathering			0.902

Based on the results of the principal components analysis, it is possible to distinguish bundles of ecosystem services, a kind of ES grouping where synergies between services appear, i.e. the value of one service increases the value of all other services in the bundle, or trade-off, when the value of one service increases and thus the value of other services will reduce in the bundle (Mochet et al. 2014; Spake et al. 2017). As the first component revealed two distinct polarities, two distinct bundles were identified, thus providing that inside the bundle only a synergetic relationship appears and the trade-off is located in the relationship between bundles. Bundles were given names that reflect their functionality and more clearly disclose their nature:

- Habitats bundle. Synergetic relationships among “herbs for medicine”, “maintaining habitats”, “global climate regulation”, “pollination” ES;
- Productivity bundle. Synergetic relationships among “reared animals”, “fodder” and “biomass-based energy sources” ES
- Soil bundle. Synergetic relationships among “filtration/ accumulation by ecosystems”, “bio-remediation”, “chemical condition of fresh waters”, “control of erosion” and “weathering processes” ES.

The belonging of a given field to a particular ES bundle was determined if their average value of ES in the bundle exceeded the threshold value 3, i.e., the potential of the services was provided above the average value (Fig. 7).

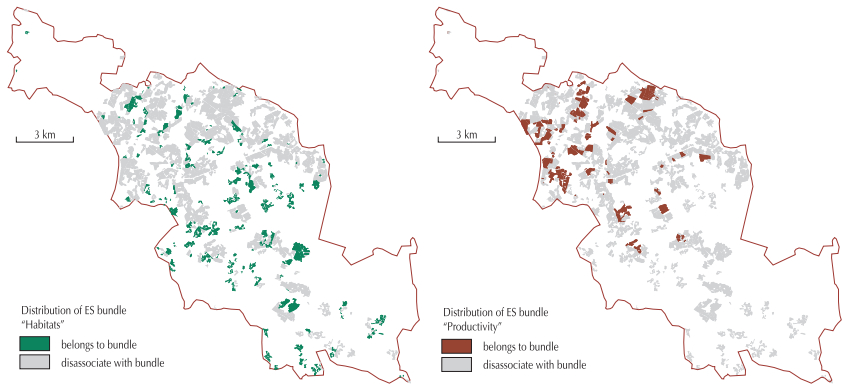


Figure 7. Distribution of ES bundles “Habitats” and “Productivity” in Cēsis municipality

The mapping of ES bundles provides base information for spatial character of interaction among ES, thus disclosing a decisive foundation for decision making on most suitable agricultural land use of the given field. In a situation where services in the “habitats” bundle provide above average values, but services in the “production” bundle provide below average values, is called a “trade-off in benefit of habitats bundle”. In a situation where services in the “habitats” bundle provide below average values, but services in “production” bundle provide above average values, is called a “trade-off in benefit of production bundle” (Fig. 8).

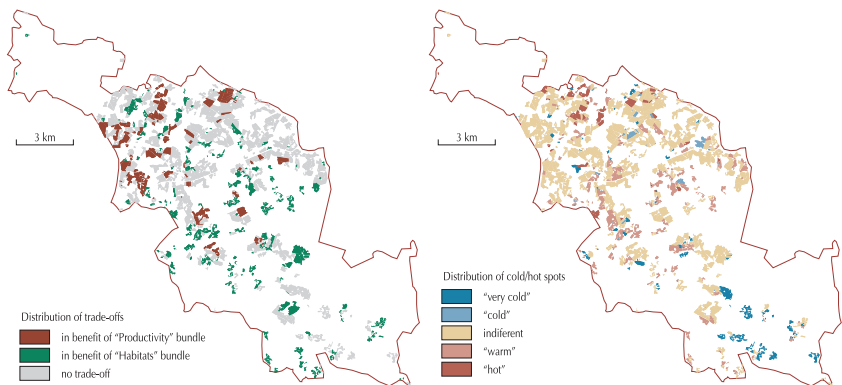


Figure 8. Trade-offs among ES bundles and hot/cold spots of ES supply potential in Cēsis municipality

Nevertheless, in a study area where such exceptional situations were present when ES values in both bundles displayed low and very low values, or in the opposite situation, where ES values in both bundles displayed high and very high values. The former is called “cold spots of ES supply potential”, the latter – “hot spots of ES supply potential”.

The research on ecosystem service trade-offs have brought on the agenda of the landscape ecological studies serious issues: agroecosystems to a large extent depend on the provisioning of ES (e.g., pollination, pest and disease control, soil fertility maintenance), while agroecosystems are also important suppliers of ecosystem services (firstly, provisioning services, but also certain regulatory and cultural services) (Garbach et al. 2014; Willemen et al. 2017). However, in the context of intensification of agriculture, the focus is on the accession of provisioning services, which is linked to serious trade-offs (Kirchner et al. 2015). The scientific literature provides a detailed description of the trade-off between agricultural production and regulating ES (Haines-Young et al. 2012; Maes et al. 2012) e.g., carbon sequestration (Schulze et al. 2005; Glendell & Brazier 2014), pollination (Power, 2010; Cole et al. 2017, maintaining of habitats (McLaughlin & Mineau 1995; Tschardt et al. 2005). The presented study supports the opinion that under the same agro-ecological conditions, increasing the intensity of agricultural activity will increase in the value of the “productivity” bundle and will lead to a decrease in the value of the “habitats” bundle services.

2.3 Multi-criteria decision support

The application of the multi-criteria decision support tool is implemented through the framework of the decision-making systems, which are designed for addressing specific problems. Within the framework of the thesis, the prioritization of the territory management within the context of landscape maintenance in the Cēsis municipality.

The discussion of experts and stakeholders identified criteria for the selection of high value landscapes and tourist-relevant areas. The chosen criteria are cultural ecosystem services (aesthetic value, recreational value, educational value, heritage value) and ecological value (average value of ecosystem services for the “habitats” bundle). Two composite indices were identified and used for the selection of risk areas: “risk of hogweed invasion” represented by the location of territories in relation to areas contaminated with Sosnovsky hogweed and “risk of abandonment of farmland”, represented by a weighted sum of a land quality (50 %) distance from a farm (30 %) and distance to a road (20 %).

The weighing of the criteria resulted in the weights of the criteria matrix based on ES linked to the aims of a sustainable development strategy of the Cēsis municipality for 2030: quality of life and environment, employment opportunities, health; safety, cultural accessibility, educational and lifelong learning, social infrastructure, security and care. The average priorities for each

criterion, when calculated as a percentage, was expressed as the “weight” used in the prioritization calculations of the MCDS tool (Table 9).

Table 9

Decided weights of criteria by experts and stakeholders

Criteria	Weight (%)
Aesthetic value	25
Recreation value	18
Education value	12
Heritage value	22
Ecological value	23

The MCDS tool prioritisation is performed by assigning a sequential number to each territorial unit. By default, this set is divided in five categories using natural brakes as threshold values. The categorisation by quantiles or same size groups can be employed if needed. This division is categorised into three categories of landscape values – high, medium and low. When applying risk categories to value categories, site management priorities are created (Fig. 9).

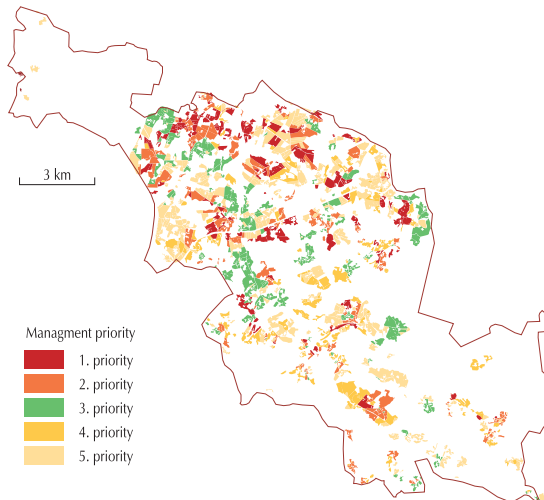


Figure 9. The results of the prioritisation of farmland management in Cēsis municipality

In the described multi-criteria decision support process, in order to avoid risks that a small group of stakeholders may have a significant influence on certain values or weights (Stirling 2006), the deliberative multi-criteria evaluation

(Mavrommati et al. 2017) was applied, enabling greater awareness and public involvement in the planning process.

2.4 GIS and cartographical solutions for web-based tool

Viva Grass Viewer is the basic module of the MCDS tool available for the general public. It is designed as an explorer of thematic maps (contextual layers) (Fig. 10) with limited possibilities to edit maps – the user can modify agricultural land use to a chosen field and explore the changes in supply potential of ES, belonging to the ES bundles, trade-offs and cold/hot spots, as well as to obtain the recommendations for agricultural land use intensity for the given agro-ecological conditions.

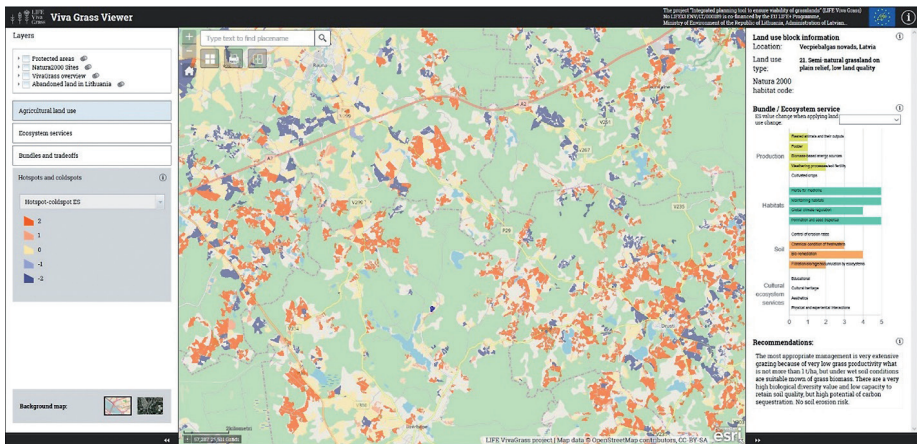


Figure 10. *Viva Grass Viewer*, screenshot

Viva Grass Planner is the main module of MCDS tool and is accessible for registered users. Basic knowledge of GIS is required to use this module. *Viva Grass Planner* contains all contextual layers of ES assessment and interaction analysis (Fig. 11), as well as possibility to upload any additional data required for specific analysis. This module operates as an online GIS software able to perform basic spatial analytics, display and to export the results.

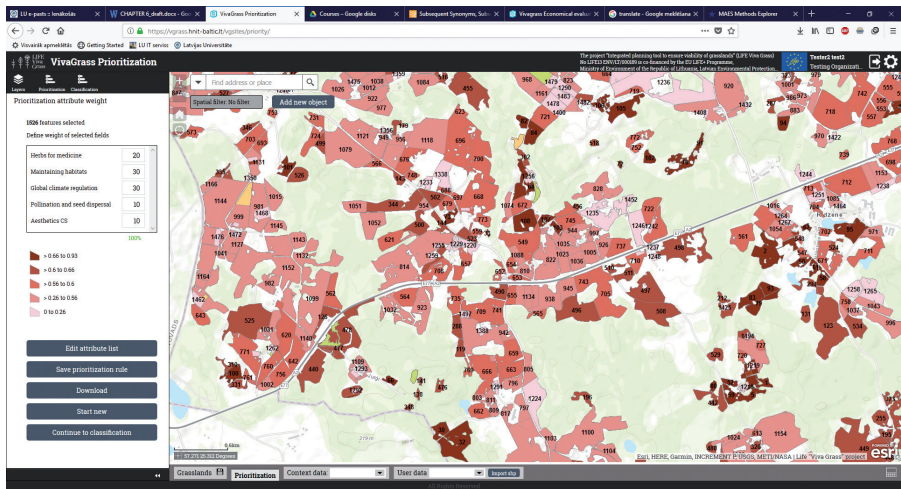


Figure 11. Viva Grass Planner, screenshot

CONCLUSIONS

Three consecutive studies were carried out with the aim to develop and appropiate ecosystem service approach for land management in agroecosystems in mosaic-type landscapes:

- assessment of drivers or land use change in mosaic-type landscape;
- development of biophysical method of ecosystem service assessment for agro-ecosystems;
- integration of ecosystem services and drivers of land use change in multi-criteria decision support tool for planning and management of agro-ecosystems.

The effectiveness of autologistic regression models in assessing the drivers of landscape change has been demonstrated. The study has shown that the most important biophysical and locational factors are the land quality, the distance to farms, roads and forest edges, which function as the strongest drivers for the abandonment of agricultural land in the mosaic-type landscape in Vidzeme. The study demonstrated that for the development of more accurate land use scenarios, the ABR model should be complemented with farm-level socio-economic data.

As a part of the thesis, the assessment and mapping method of ecosystem services for agricultural land has been developed and analysis of the interaction among ecosystem services has been carried out. The study shows that, under similar agro-ecological conditions, the intensification of land management increases the value of provisioning services and reduces the value of regulatory services, thereby leading to a trade-off situation. On the other hand, under unfavourable agro-ecological conditions, such as poor soils or steep slopes, intensification does not lead to an increase of provisioning services and creates “cold points” of ecosystem service supply. The method presented in the thesis has been used to map ecosystem services in agroecosystems in the Baltic states.

The drivers of land use change and the assessment of ecosystem services were used in the multi-criteria decision support as weighted criteria for improving land management in marginal territories. An integrated planning scheme for the prioritisation of agricultural land management for the maintenance and enhancement of landscape aesthetic and tourism values has been developed and appropiated in the framework of the current thesis. The newly elaborated approach is included in the integrated planning tool *Viva Grass Tool*.

The results of the thesis can be applied in forecasting changes in the use of agricultural land and provision of ecosystem services, and also in analysing the impact of the agricultural policies. The assessment of ecosystem services

should be used as an integral part of the MAES (Mapping and Assessment of Ecosystem Services) process.

For a further advancement of the results of the thesis, the developed models should be supplemented with forest land data, thereby obtaining an effective instrument to support decisions in the planning and management of rural areas.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks his supervisor Prof. Oļģerts Nikodemus, colleagues and co-authors from the University of Latvia Raimonds Kasparinskis, Didzis Elferts, Guntis Brūmelis and Anita Zariņa, colleagues and co-authors from the Baltic Environmental Forum Anda Ruskule, Kristīna Veidemane and Dana Prižavoite, colleagues and co-authors from the Estonian University of Life Sciences Miguel Villoslada, Prof. Kalev Sepp, Henri Järv and Jaak Klimask, colleagues and co-authors from the Baltic Environmental Forum of Lithuania Justas Gulbinas, Kestutis Navickas, Arvydas Dotas un Žymantas Morkvenas, colleague and co-author from Hnit Baltic Audrius Kryžanauskas.



LATVIJAS UNIVERSITĀTE

ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE

Ivo Vinogradovs

EKOSISTĒMU PAKALPOJUMU PIEEJA ZEMES IZMANTOŠANAS PĀRVALDĪBĀ MOZAĪKVEIDA AINAVU AGROEKOSISTĒMĀS

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Zinātnes doktora (*Ph.D.*) grāda iegūšanai
Zemes zinātnēs, fiziskajā ģeogrāfijā, vides zinātnēs

Rīga, 2020

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē, Dabas ģeogrāfijas katedrā, laika posmā no 2013. gada līdz 2019. gadam.

Darbs sastāv no ievada, 2 nodaļām, nobeiguma, secinājumiem, literatūras saraksta.

Darba forma: publikāciju kopa fiziskās ģeogrāfijā nozarē, vides un reģionālās ģeogrāfijas apakšnozarē.

Darba zinātniskais vadītājs: profesors *Dr. geogr.* **Oļģerts Nikodemus**.

Darba recenzenti:

- 1) profesors Dr. **Hannes Palang**, Tallinas Universitāte,
- 2) *Dr. silv.* **Zane Libiete**, LVMI Silava,
- 3) *Dr. geogr.* **Solvita Rūsiņa**, Latvijas Universitāte.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2020. gada 17. jūnijā plkst 13.00 Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas zinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkā Raiņa bulv. 19.

LU Ģeogrāfijas zinātņu nozares
promocijas padomes priekšsēdētāja

prof. Agrita Briede

sekretāre

Solvita Rūsiņa

© Latvijas Universitāte, 2020
© Ivo Vinogradovs, 2020

ISBN 978-9934-18-532-8

ANOTĀCIJA

Promocijas darbs ir secīgu pētījumu kopa, kuras ietvaros ir izstrādāta daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta shēma zemes izmantošanas pārvaldības uzlabošanai mozaīkveida ainavu agroekosistēmās. Darba ietvaros tika aprobēts autoloģistiskās binārās regresijas modelis zemes izmantošanas maiņas virzītājspēku novērtēšanai Vidzemes augstienes mozaīkveida ainavā. Kā svarīgākie lauksaimniecības zemju izmantošanas izmaiņu faktori tika identificēti zemes kvalitatīvā vērtība, attālums līdz lopu novietnei, attālums līdz ceļam un meža malai. Darba tapšanas laikā tika izstrādāta ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas un kartēšanas metode agroekosistēmām Vidzemes augstienē, un tālāk tā tika aprobēta visās Baltijas valstīs. Promocijas darba ietvaros tika veikta ekosistēmu pakalpojumu mijiedarbības analīze, identificējot pakalpojumu nodrošinājuma kompromisus un “aukstos” un “karstos” punktus. Iegūtie rezultāti tika iestrādāti daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīkā un ir izmantojami teritoriju plānošanā un zemes pārvaldībā. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīks tika aprobēts teritoriju apsaimniekošanas prioritāšu noteikšanas modelī Cēsu novadā. Promocijas darba rezultāti ir izmantojami lauksaimniecības politikas, teritorijas attīstības un zemes pārvaldības modelēšanā un analizē.

SAĪSINĀJUMI

ABR – autoloģistiskā binārā regresija

DKLA – daudzkritēriju lēmumu atbalsts

ĢIS – ģeogrāfiskās informācijas sistēmas

ĪADT – īpaši aizsargājamās dabas teritorijas

LIDAR – aerolāzerskenēšanas metode (*Light Detection and Ranging*)

LIZ – lauksaimniecībā izmantojamā zeme

SATURS

ANOTĀCIJA	37
SAĪSINĀJUMI	38
IEVADS	40
Pētījuma aktualitāte	40
Zinātniskā novitāte	42
Hipotēze	42
Darba mērķis	43
Uzdevumi mērķa sasniegšanai	43
Publikācijas	43
Saistītās publikācijas	44
Saistītās zinātniskās konferences	45
Autora darbība projektos promocijas darba izstrādes laikā	46
1. DATI UN PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA	47
1.1. Pētījuma teritorija	47
1.2. Ģeotelpisko datu ieguve	47
1.3. Zemes izmantošanas virzītājspēku novērtēšana	49
1.4. Ekosistēmu pakalpojumu novērtēšana	51
1.5. Daudzkritēriju lēmumu atbalsta rīka izstrāde	53
1.6. ĢIS un kartogrāfiskie risinājumi tīmekļa rīkam	55
2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	57
2.1. Zemes izmantošanas virzītājspēku analīzes rezultāti	57
2.2. Ekosistēmu pakalpojumu novērtēšana	59
2.3. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsts	63
2.4. ĢIS un kartogrāfiskie risinājumi tīmekļa rīkam	65
SECINĀJUMI	67
PATEICĪBAS	69
LITERATŪRAS SARAKSTS	70

IEVADS

Cilvēku darbība ir tieši mainījusi teju 75% no ledājiem brīvās sauszemes teritorijas (Ellis un Ramankutty 2008). Tas izpaužas ainavas struktūru, funkciju un sniegto ekosistēmu pakalpojumu izmaiņās. Globālais pieprasījums pēc pārtikas un bioenerģijas 21. gadsimtā turpinās pieaugt (Schneider et al. 2011), tādējādi pakļaujot arvien lielākai intensifikācijai auglīgās lauksaimniecības zemes (Tilman et al. 2011). Savukārt zemes, kas ģeogrāfiskā novietojuma ziņā ir mazāk piemērotas lauksaimniecībai, skar marginalizācijas process. Tas kopumā veicina ainavas polarizāciju. Šo procesu izpausmes novērojamas kā kontinentālā, tā nacionālā mērogā. Eiropas dienvidos un austrumos vairāk izteikta lauksaimniecības zemes pamešana un aizaugšana ar krūmiem, bet Eiropas centrālajā un ziemeļu daļā ir raksturīgāka lauksaimniecības intensifikācija (Rienks et al. 2008). Nacionālā mērogā, piemēram, Latvijā, zemes denacionalizācijas rezultātā pamestās lauksaimniecības zemes auglīgajos reģionos šobrīd ir pilnībā no jauna atgrieztas lauksaimnieciskā ražošanā, savukārt nomaļā novietojumā un lauksaimniecībai nelabvēlīgos agroekoloģiskos apstākļos norit to pamešana un dabiska vai apzināta apmežošana (Nikodemus et al. 2005; Nikodemus et al. 2010; Vanwambeke et al. 2012; Vinogradovs et al. 2018, Zariņa et al., 2018).

Lai izprastu ekosistēmās un sabiedrībā notiekošās izmaiņas, ir nepieciešams izmantot kompleksu pieeju ainavu izpētei, proti, pētīt cilvēku un vides attiecības ainavā, ainavas struktūru un zemes lietojuma intensitāti, ainavu vēsturi, ainavu vērtības un nozīmi, un to pārvaldību (Plieninger et al. 2015).

Pētījuma aktualitāte

Lauksaimniecība ir tā cilvēka darbības joma, kas atstāj visplašāko ietekmi uz vidi (Balmford et al. 2012). Šī ietekme izpaužas ekosistēmu un bioloģiskās daudzveidības samazināšanā (Newbold et al. 2015), siltumnīcas efektu izraisīto gāzu emisijā un izmaiņās slāpekļa un fosfora aprites ciklos (Burney et al. 2010), kas savukārt izraisa iekšējo ūdeņu un jūras pastiprinātu eutrofikāciju. Gan lauksaimniecības intensifikācija, gan marginalizācija veicina ainavas homogenizāciju – ainavas struktūras vienkāršošanu – un tālab daudzām sugām piemērotu dzīvotņu samazināšanu, tai skaitā mazo ainavas elementu un atsevišķu zemes lietojuma veidu izzušanu intensīvi apsaimniekotās teritorijās (Nikodemus et al. 2018), dabisku un apzinātu lauksaimniecības zemju apmežošānu marginālā novietojumā (Nikodemus et al. 2005; Vinogradovs et al. 2018). Mozaikveida ainavas, kuru telpisko struktūru nosaka komplicēti agroekoloģiskie apstākļi, ir sevišķi pakļautas marginalizācijas un homogenizācijas procesiem.

Zemes pārvaldība, nodrošinot ilgtspējīgu zemes izmantošanu, ietver mērķtiecīgu vadīšanu. Eiropas Savienības (turpmāk ES) kopējās lauksaimniecības politikas nozīmīgākie mērķi pamatnostādņu vides jautājumos (European Commission, 2019) ir nodrošināt ilgtspējīgu zemes apsaimniekošanu,

novēršot videi kaitīgu lauksaimniecisko darbību, un stimulēt videi draudzīgu preču ražošanu un pakalpojumu nodrošināšanu. Kopējās lauksaimniecības politikas izstrādātā agrovides pasākumu kopa ir vērsta uz lauksaimnieciskās darbības ietekmes uz vidi mazināšanu – novērst dzīvotņu un bioloģiskās daudzveidības samazināšanos, nepieļaut būtisku ainavas transformāciju, mazināt mēslojuma un pesticīdu izraisīto piesārņojumu. Šo pasākumu lielākā efektivitāte ir teritorijās, kur tie sniedz vislielākos ieguvumus (Betary et al. 2015). Viens no risinājumiem minēto mērķu sasniegšanā un teritoriju izvēlē ir ekosistēmu pakalpojumu koncepta ieviešana zemes politikā un pārvaldībā (Van Zanten et al. 2014).

Ekosistēmu pakalpojumu pieeja ir īstenojama zemes pārvaldībā, sevišķi zemes izmantošanas politikā, teritorijas plānošanā un ietekmes uz vidi novērtēšanā (Rozas-Vásquez et al. 2019), jo tā spēj sniegt holistisku priekšstatu, vienlaikus nodrošinot nepieciešamo pamatinformāciju par vides stāvokli un kvalitāti, ekosistēmu funkcionēšanu un šo funkciju potenciāla izmaiņām, ņemot vērā arī sabiedrības ekonomiskās intereses (Hansen et al. 2014).

Pastāv vairākas pieejas ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanai, proti, to apzināšanai un kartēšanai (*assessment*, angl.). Tiek izmantotas biofizikālā novērtējuma metodes, kurās ekosistēmu pakalpojumu novērtējums tiek balstīts uz ekosistēmu struktūru vai funkciju noteicošiem biotiskiem un abiotiskiem faktoriem (Burkhard and Maes, 2017); ekonomiskā novērtējuma metodes, kurās sabiedrības ieguvums tiek aprēķināts naudas izteiksmē (Farber et al. 2012), un sociālā novērtējuma metodes, kurās ekosistēmu pakalpojumu vērtības tiek iegūtas sociālantropoloģisku izziņas metožu ceļā (Plieninger et al. 2013).

Promocijas darba laikā tika izstrādāta jauna biofizikālā novērtējuma pieeja ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma potenciāla apzināšanai agroekosistēmās. Pieejas pamatā ir zemes kvalitatīvās vērtības, augsnes, reljefa un saimniekošanas intensitātes datu izmantošana ekosistēmu pakalpojumu aprēķināšanai konkrētā platībā. Lauks ir teritoriālā pamatvienība, kuru izmanto integrētās administrācijas un kontroles sistēmas maksājumu aprēķināšanā zemniekiem. Metode ir efektīvi lietojama Baltijas valstīs, jo tā ir balstīta šajās valstīs pieejamos datu slāņos – augsnes un zemes vērtējuma digitālajās kartēs, reljefa modeļos un integrētās administrācijas un kontroles sistēmas datos, kas vienlīdz pārklāj visu teritoriju.

Zemes pārvaldības īstenošanai svarīgi ir izveidot sistēmu, ar kuras palīdzību lēmumu pieņēmēji – politiķi un ierēdņi, zemes īpašnieki vai tās lietotāji – spētu novērtēt zemes izmantošanas veidu un to maiņas ietekmi uz sniegtajiem ekosistēmu pakalpojumiem, kā arī prognozēt iespējamās izmaiņas nākotnē. Šobrīd pastāv atšķirīgas pieejas ekosistēmu pakalpojumu integrēšanai telpiskajā plānošanā (Grêt-Regamey et al. 2017), tomēr neviena no tām nav pielāgota šo pakalpojumu novērtēšanai un izmantošanai zemes pārvaldībā agroekosistēmās. To pamatā ir vai nu ierobežoti dati (piem., tikai zemes segums (Dailey et al., 2009)), vai sarežģīti iegūstami sākotnējie dati (Grêt-Regamey et al. 2017), kā arī bieži vien to lietošanai ir nepieciešamas specifiskas priekšzināšanas un iemaņas

(Bagstad et al. 2011; Jackson et al. 2013; Fürst et al. 2010; Peh et al. 2013; Pickard et al. 2015). Tādējādi šīs pieejas nevar plaši un efektīvi izmantot, jo sniegto ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanā nevar izmantot esošās nacionālās ģeotelpiskās datubāzes.

Promocijas darbā tiek aprakstīts un analizēts *LIFE Viva Grass* projektā izstrādātais integrētās plānošanas rīks, kura izveidē autors ir aktīvi līdzdarbojies.

Zinātniskā novitāte

Promocijas darba pamatā ir trīs izvīzītie pamatuzdevumi un to novatoriski risinājumi:

1. Zemes izmantošanas izmaiņu virzītājspēku apzināšana mozaikveida ainavā:
 - a) veikta plaša ģeotelpisko datu apkopošana, izmantojot tālizpētes, ģeotelpiskās analīzes un lauka apsekošanas metodes;
 - b) pirmo reizi izstrādāta un aprobēta metodika autoloģistiskās binārās regresijas (ABR) modeļa izstrādei lauksaimniecībā izmantojamās zemes (LIZ) pamešanas modelēšanai mozaikveida ainavā.
2. Ekosistēmu pakalpojumu apzināšana un kartēšana agroekosistēmās:
 - a) izstrādāta jauna ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas metode, kuras pamatā ir zemes kvalitatīvās vērtības, augsnes, nogāžu slīpuma un integrētās administrācijas kontroles sistēmas dati; izstrādātajā metodē tiek izmantotas jau eksistējošas visaptverošas nacionālā līmeņa ģeotelpiskās datubāzēs, kas ir pieejamas Baltijas valstīs;
 - b) veikta ekosistēmu pakalpojumu vērtību mijiedarbības statistiskā analīze, kas ļāva izdalīt ekosistēmu pakalpojumu telpiskās kopas, kompromisu un sinerģijas situācijas, tādējādi nodrošinot ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanu zemes pārvaldības plānošanā.
3. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīka jeb integrētā plānošanas rīka *Viva Grass Tool* pamatā esošās algoritmu kopas izstrāde:
 - a) ekosistēmu pakalpojumu vērtību un ekosistēmu pakalpojumu mijiedarbības vērtību kartogrāfiskā attēlojuma izstrāde;
 - b) ainavu izmaiņu virzītājspēku, ekosistēmu pakalpojumu vērtību un to mijiedarbības vērtību iestrāde svērtās summas modeļos integrētās plānošanas rīka lēmuma pieņemšanas atbalsta sistēmas ietvaros;
 - c) veikta integrētās plānošanas sistēmas aprobācija mozaikveida ainavā.

Hipotēze

Ekosistēmu pakalpojumu pieejā balstīts daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīks ir lietojams zemes izmantošanas pārvaldībā un plānošanā, tādējādi palīdzot nodrošināt agroekosistēmu ilgtspēju.

Darba mērķis

Izstrādāt un aprobēt ekosistēmu pakalpojumu pieejā balstītus agroekosistēmu pārvaldības risinājumus mozaikveida ainavā.

Uzdevumi mērķa sasniegšanai

1. Izveidot ģeotelpisko datubāzi ainavu izmaiņu virzītājspēku un ekosistēmu pakalpojumu vērtību apzināšanai.
2. Izstrādāt ABR modeli LIZ pamešanas varbūtības noteikšanai mozaikveida ainavās.
3. Izstrādāt metodiku ekosistēmu pakalpojumu vērtību apzināšanai mozaikveida ainavu agroekosistēmās.
4. Izdalīt ekosistēmu pakalpojumu kopas, kompromisus un sinerģijas, veicot ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas matricas statistisko analīzi.
5. Izstrādāt kartogrāfiskus risinājumus ekosistēmu pakalpojumu vērtību un ekosistēmu pakalpojumu mijiedarbības vērtību attēlošanai integrētajā plānošanas rīkā.
6. Iestrādāt ekosistēmu pakalpojumu vērtību, mijiedarbības un zemes izmantošanas maiņas virzītājspēku vērtības svērtās summas modeļos.

Publikācijas

Promocijas darbs ietver trīs secīgus rakstus, kuros īstenoti darba izstrādāšanā izvirzītie uzdevumi. Promocijas darba uzdevumi ir grupēti četrās grupās, kas publikācijās tematiski pārklājas, bet neatkārtojas (1. attēls). Publikācijas pēdējo divu gadu laikā ir publicētas vai pieņemtas publicēšanai starptautiski citējamos žurnālos.

1. *publikācija*. **Vinogradovs, I.**, Nikodemus, O., Elferts, D., & Brūmelis, G. (2018). Assessment of site-specific drivers of farmland abandonment in mosaic-type landscapes: A case study in Vidzeme, Latvia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 113-121 (citēts *Web of Science* un *Scopus* datubāzēs).

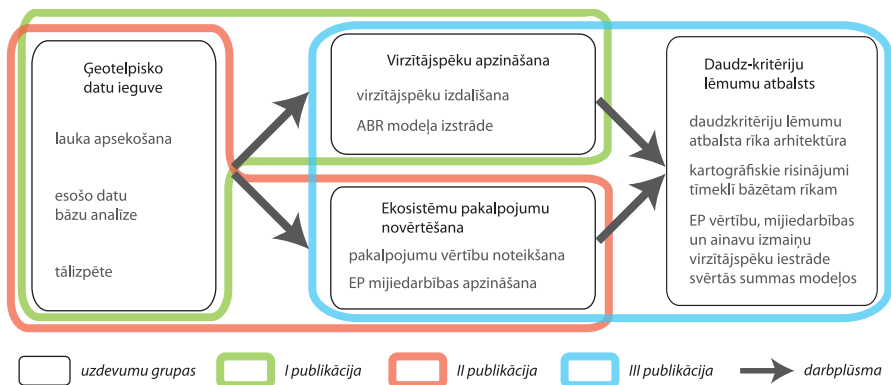
Publikācijā ir aprakstīta metodoloģija ainavu izmaiņu virzītājspēku apzināšanai un novērtēšanai mozaikveida ainavā. Metodoloģijā ir izklāstītas datu iegūšanas, apstrādes, statistiskās analīzes un modelēšanas metodes. Publikācija satur rezultātu izklāstu un interpretāciju. Promocijas darba autors publikācijas sagatavošanas procesā ir izstrādājis ģeotelpisko datu ievākšanas metodi, ievācis un verificējis empīriskus datus, kā arī līdzdarbojies ABR modeļa izstrādē un interpretējis iegūtos rezultātus.

2. *publikācija*. Viloslada, M., **Vinogradovs, I.**, Ruskule, A., Veidemane, K., Nikodemus, O., Kasparinskis, R., Sepp, K., Gulbinas, J. (2018). A multi-tiered approach for grassland ecosystem services mapping and assessment: The Viva Grass tool. *One Ecosystem*, 3, e25380, (citēts *Scopus* datubāzē).

Publikācijā ir atspoguļota metodika, kas balstīta zemes kvalitatīvās vērtības, augšņu, nogāžu slīpuma un zemes izmantošanas datu izmantošanā ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanai. Publikācijā veikta ekosistēmu pakalpojumu vērtību un mijiedarbības statistiskā analīze. Izstrādātā metodika ir komandas darba rezultāts. Autora darbs ir ekosistēmu pakalpojumu mijiedarbības statistiskā analīze, kā arī līdzdalība raksta sagatavošanā un publicēšanā.

3. publikācija. **Vinogradovs, I.**, Nikodemus, O., Villoslada, M., Ruskule, A., Veidemane, K., Gulbinas, J., Morknenas, Ž., Kasparinskis, R., Sepp, K., Järv, H., Kliimask, J., Zariņa, A., Brūmelis, G. (pieņemts publicēšanā) Integrating ecosystem services into decision support for management of agroecosystems: Viva Grass tool. *One Ecosystem* (citēts *Scopus* datubāzē).

Publikācijā aprakstīta daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīka arhitektūras izveides darbplūsma, kā arī ekosistēmu pakalpojumu vērtību un to mijiedarbības vērtību integrācija svērtās summas modeļos integrētās plānošanas rīkā *Viva Grass Tool*. Integrētās plānošanas rīka izstrāde ir komandas darbs, kurā promocijas darba autors ir risinājis kartogrāfiskā attēlojuma problemātiku un ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma, mijiedarbības un agroekoloģisko un novietojuma faktoru integrēšanu daudzkritēriju lēmumu analīzes un atbalsta modeļos.



1. attēls. Promocijas darba uzdevumu sasaiste publikācijās un to saistošā darbplūsma

Saistītās publikācijas

Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Tabors, G., Krūze, I., Elferts, D. (2016). Assessment of factors of landscape change in mosaic type landscape: a case study of Vidzeme, Latvia. *Environmental protection engineering* (N 19), pp. 212–217.

- Nikodemus, O., Penēze, Z., **Vinogradovs, I.**, Rendenieks, Z. (2018). Zemes izmantošanas izmaiņas un to ainavekoloģiskais vērtējums. Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.) Latvija. Zeme, daba, tauta, valsts. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 604.–615. lpp.
- Vološina, M., Zariņa, A., Nikodemus, O., **Vinogradovs, I.** (2018). Landscape planning as an asset for regional development. In: *Economic Science for Rural Development Conference Proceedings* (No. 48), pp. 276–283 (citēts *Web of Science* datubāzē).
- Kasparinskis, R., Ruskule, A., **Vinogradovs, I.**, Villoslada, M. (2018). The guidebook on the introduction of ecosystem service framework in integrated planning. Rīga, University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Sciences, p. 63.
- Ušča, M., **Vinogradovs, I.**, Reķe, A., Immurs, D. V., & Zariņa, A. (2019). Assessment of Ecosystem Services for Planning of Green Infrastructure at the Regional Level. In *Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference. Volume I* (Vol. 315, p. 319) (citēts *Scopus* datubāzē).
- Zariņa, A., **Vinogradovs, I.**, & Šķiņķis, P. (2018). Towards (dis) continuity of agricultural wetlands: Latvia's polder landscapes after Soviet productivism. *Landscape research*, 43(3), pp. 455–469 (citēts *Scopus* datubāzē).

Saistītās zinātniskās konferences

- Vinogradovs, I.**, Nikodemus, O., Krišjāne, Z. Land use change scenarios in marginal mosaic-type landscapes and their impact on ecosystem services. *IALE Wourld congress* 1–5 July 2019, Milan, Italy.
- Zariņa, A., **Vinogradovs, I.**, Ruskule, A., Ecosystem services as an integral support tool for green infrastructure and landscape planning: a case of agro-industrial landscapes in Latvia. *IALE Wourld congress* 1–5 July 2019, Milan, Italy.
- Ruskule, A., **Vinogradovs, I.**, Veidemane, K., Prožavoite, D., Nikodemus, O., Villoslada, M., Ādamsonē, I. Applying ecosystem service approach and stakeholder engagement in landscape planning: LIFE Viva Grass example. *ESP Europe* 15–19 September 2018, San Sebastian, Spain.
- Vinogradovs, I.**, Nikodemus, O., Elferts, D., Brūmelis, G. Assessment of site-specific agro-ecological and location drivers of farmland abandonment in mosaic-type landscape: case study of Vidzeme, Latvia. *IALE Europe* 12–15 September 2017, Ghent, Belgium.
- Zariņa, A., **Vinogradovs, I.** Landscapes of agricultural appearance: non-productivist practices in Latvia's marginal farmlands. *IALE Europe* 12–15 September 2017, Ghent, Belgium.
- Ruskule, A., Morkvenas, Ž., Gulbinas, J., Kuris, M., Rimmelgas, L., Indriksone, D., Veidemane, K., **Vinogradovs, I.**, Villoslada, M. Accommodating the ecosystem service concept for enhancing grassland viability in the Baltic States:

the LIFE Viva Grass approach. *IALE Europe* 12–15 September 2017, Ghent, Belgium.

Vinogradovs, I., Viloslada, M., Gulbinas, J., Ruskule, A., Sepp, K., Kasparinskis, R., Nikodemus, O. Mapping and identifying grassland ecosystem services and their trade-offs: study from Baltic states. *14th Eurasian Grassland Conference* 4–8 July 2017, Riga, Latvia.

Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Tabors, G., Krūze, I., Elferts, D. Assessment of factors of landscape change in mosaic type landscape: a case study of Vidzeme, Latvia. *19th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”* 6 May 2016, Vilnius Lithuania.

Vinogradovs, I., Zariņa, A., Lūkins, M. Territorialization of marginal lands: unfolding the post-productivist landscape potential. *Nordic Geographers meeting* 15–19 June 2015, Tallinn, Tartu, Estonia.

Vinogradovs, I. Lidar datu izmantošana zemes apauguma kartēšanā. *LU 73. zinātniskā konference*. 2.–6. februāris, 2015, Rīga.

Vinogradovs, I. Tālīzpētes datu izmantošana zemes seguma izmaiņu izpētei mozaikveida ainavās: iespējas un ierobežojumi. *LU 72. zinātniskā konference*. 23.–31. janvāris, 2014, Rīga.

Autora darbība projektos promocijas darba izstrādes laikā

1. Integrētās plānošanas rīks pļavu dzīvotspējas nodrošināšanai *LIFE Viva Grass* (EU LIFE+ program, project No. LIFE13 ENV/LT/000189), 2016–2019, pētnieks.
2. Dabas resursu ilgtspējīga izmantošana klimata pārmaiņu kontekstā, Latvijas Universitātes pētniecības projekts Nr. ZD2010/AZ03, 2016–2017, pētnieks.
3. Marginālo teritoriju veidošanās cēloņi un sekas Latvijā, valsts zinātniskā grantu projekts (Nr. 514/2012), 2016, pētnieks.

Promocijas darbs sastāv no kopsavilkuma angļu un latviešu valodā un trīs secīgiem rakstiem – promocijas darba daļām. Kopsavilkums ietver anotāciju, ievadu, metožu un rezultātu daļu, secinājumus un izmantotās literatūras sarakstu.

1. DATI UN PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA

1.1. Pētījuma teritorija

Pētāmā teritorija (2. att.) atrodas Vidzemes augstienes rietumu daļā. Tā ietver Cēsu novada Vaives pagastu, Vecpiebalgas novada Taurenas, Vecpiebalgas un Dzērbenes pagastu, Raunas novada Drustu pagastu un Jaunpiebalgas novada Zosēnu pagastu. Promocijas darba laikā izstrādātā pieceja tika aprobēta arī Latvijas un Baltijas mērogā.



2. attēls. Pētījuma teritorija

1.2. Ģeotelpisko datu ieguve

Kvalitatīvi ģeotelpiskie dati ir ilgtspējīgas zemes pārvaldības pamatā. Promocijas darbā tika izveidota augstas izšķirtspējas ģeotelpisko datu kopa, kura bija par pamatu ainavas izmaiņu virzītājspēku modelēšanai un ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanai. Pētījuma laikā, izmantojot tālziņas un lauku apsekošanas metodes, kā arī apkopojot, verificējot un papildinot ģeotelpisko datubāzu informāciju, tika izstrādāta zemes lietošanas ģeotelpiskā datubāze.

Pirmais apakšuzdevums bija esošo ģeotelpisko datubāzu apzināšana, to kvalitātes novērtēšana un savietošana. Izmantotās datubāzes ir apkopotas 1. tabulā.

Darba izstrādāšanas laikā datubāzes tika pārstrukturētas atbilstoši pētījuma vajadzībām. Nepieciešamības gadījumā dati tika kategorizēti (piemēram, zemes kvalitatīvā vērtība, dzīvnieku skaits novietnēs) vai izmantoti atvasinātu datu ģenerēšanai (piemēram, attālums līdz dzīvnieku novietnei, mežmalai, ceļam ar segumu).

1. tabula

Pētījumā izmantotās ģeotelpiskās informācijas datubāzes

Ģeotelpiskās informācijas datubāze	Turētājs	Pieejamība, piezīmes
Lauku reģistra dati	Lauku atbalsta dienests	Brīvpieejas (no 2018. gada), pieejami gan lauku bloki, gan atsevišķu lauku dati, kas ietver audzētās kultūras, saņemtos maksājumus u. c.
Meliorācijas dati	Zemkopības ministrijas nekustamie īpašumi	Brīvpieejas, satur plašu informāciju par meliorācijas sistēmām, to veidu un ierīkošanas (atjaunošanas) laiku.
Dzīvnieku reģistrs	Lauksaimniecības datu centrs	Brīvpieejā nav pieejami ģeotelpiski dati.
Kadastra dati	Valsts zemes dienests	Ierobežotas pieejamības, nav pieejami dati par zemes īpašnieku.
Digitalās augšņu kartes	Valsts zemes dienests	Brīvpieejas, pārsvarā sedz lauksaimniecībā izmantojamās zemes
Zemes kvalitatīvās vērtības dati	Valsts zemes dienests	Brīvpieejas, pārsvarā sedz lauksaimniecībā izmantojamās zemes
ĪADT, biotopu dati	Dabas aizsardzības pārvalde	Brīvpieejas
Topogrāfiskie dati 1:10000	Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra	Ierobežotas pieejamības, nepilnīgs zemes seguma datu pārklājums
Digitālā augstuma modeļa pamatdati	Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra	Brīvpieejas, nepilnīgs pārklājums, nepieciešama pēcapstrāde
Digitālais reljefa modelis	Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra	Brīvpieejas, zema izšķirtspēja (20 m)
Meža valsts reģistrs	Valsts meža dienests	Ierobežotas pieejamības
Valsts nozīmes kultūras pieminekļu dati	Nacionālā kultūras mantojuma pārvalde	Brīvpieejā nav pieejami ģeotelpiskie dati

Lai papildinātu un daļēji arī verificētu apkopotajās ģeotelpiskajās datubāzēs ietvertu informāciju, tika lietotas tālīzpētes metodes. Pirmkārt, tas bija vizuāls vienlaikus veikts vairāku ciklu ortofoto novērtējums, tādējādi tika fiksētas pamestās lauksaimniecībā izmantojamās zemes. Promocijas darba laikā tika aprobēta LIDAR punktu mākoņa (punktu kopas) datu izmantošana zemes apauguma noteikšanai lauksaimniecības zemē Vaives pagastā. Par teritoriju tika iegūti LIDAR dati ar izšķirtspēju 8 pt/m². Pēc tam tika veikta punktu mākoņa klasifikācija un interpretācija, kā arī tika izveidots reljefa un virsmas digitālais

modelis. *ArcGIS* programmatūrā, izmantojot *MapAlgebra* moduli, tika konstruēts normalizēts virsmas modelis, un uz tā pamata – apauguma augstuma modelis. Paralēli tika izstrādāts arī LIDAR datu intensitātes modelis, kas ļāva apbērt inovatīvu pieeju izcirtumu un aizaugušas lauksaimniecībā izmantojamās zemes nošķiršanai. Kvalitatīvu, telpiski plašu datu nepieejamības dēļ bija jāatsakās no šīs metodes lietošanas visā pētījuma teritorijā.

Situācijā, ka ne visa lauksaimniecībā izmantojamā zeme ir deklarēta lauku reģistra datos (proti, zeme tiek izmantota lauksaimnieciskai ražošanai, bet par to netiek saņemti Eiropas Savienības atbalsta maksājumi, vai arī lauksaimniecībā potenciāli izmantojamā zeme tiek apsaimniekota – zāle tiek pļauta un uz vietas mulčēta –, tikai lai, piemēram, saglabātu atvērtu ainavu ap brīvdienu lauku mājām), pilnvērtīgas ģeotelpiskās datubāzes sastādīšanai bija nepieciešama lauksaimniecības zemju apsekošana. Teritorijas apsekošana tika veikta 2014. un 2015. gada vasaras beigās un rudens sākumā. Tās laikā tika noteikts lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas veids un intensitāte un sevišķa uzmanība tika pievērsta lauksaimniecības zemes aizaugšanas pakāpei un mērķtiecīgi apmežotām teritorijām. Tādējādi tika izdalītas trīs lauksaimniecībā izmantojamās zemes kategorijas: lauksaimniecības zeme, kas tiek izmantota lauksaimnieciskā ražošanā; neizmantojama lauksaimniecības zeme, kas pakļauta dabiskai apmežošanai; un daļēji pamestā lauksaimniecības zeme, kas tiek uzturēta, bet netiek izmantota lauksaimnieciskai ražošanai. Atsevišķās teritorijās (Vaives pagastā) tika veikta arī Sosnovska latvāņa izplatības kartēšana, lai vēlāk šo informāciju varētu iekļaut lēmumu pieņemšanas atbalsta rīkā.

1.3. Zemes izmantošanas virzītājspēku novērtēšana

Ainavu virzītājspēku apzināšana tika veikta trīs secīgos soļos: virzītājspēku identifikācija, ģeotelpiskā analīze un statistiskā analīze. Balstoties iepriekš veiktajos pētījumos (Nikodemus et al. 2005; Nikodemus et al. 2010; Ruskule et al. 2012; Vanwambeke et al. 2012; Ruskule et al. 2013), tika identificēts nozīmīgākais mozaikveida ainavas izmaiņu process – lauksaimniecībā izmantojamās zemes pamešana. Pētījuma teritorijai atbilstošu virzītājspēku izdalīšanai tika izvēlēti faktori, kas atspoguļo vietai specifiskās īpašības, telpiski variē vienā ainavas tipā un ir atzīti par nozīmīgiem arī iepriekš veiktos pētījumos. Virzītājspēku pamatā esošo faktoru apkopojums ir attēlots 2. tabulā.

Dati tika apkopoti režģa veida analīzes modelī *ArcMap* programmā. Analītiskā režģa izmērs tika izvēlēts 100 × 100 m, un tas atbilst zemes lietojuma veidu plankumu detalizētībai izveidotajos telpiskajos zemes lietojuma datos. Katram datu režģa poligonam tika izveidots centroīds, tādējādi pētāmā teritorija tika noklāta ar 220 000 datu ievākšanas punktiem. Katrā punktā tika nolasītas visu apzināto faktoru vērtības, tās tika papildinātas ar X un Y koordinātām LKS-92 sistēmā un saglabātas tālākai statistiskai analīzei tabulas formā.

**Zemes izmantošanas virzītāj spēku apzināšanas ģeotelpiskai analīzei
izmantotie faktori**

Mainīgais	Mērvienība	Apraksts
Zemes vērtība	balles/ha (0–100)	Lauksaimniecības zemes vērtība, izteikta ballēs
Augsnes granulometriskais sastāvs	grupa	Augšņu granulometriskā sastāva grupa: smilts, mālsmilts, smilšmāls, māls, kūdra
Kadastra vienības izmērs	ha	Kadastra vienības izmērs (ha) 2016. gadā
Meliorācijas sistēmas	0/1	Meliorācijas sistēmu klātbūtne
Reljefa slīpums	0/1	Nogāze <10°/>10°
Kādreizējā lauka izmērs	ha	Masivizētā lauka izmērs vai lauka izmērs
Attālums līdz lauku centram	m	Attālums metros
Attālums līdz ceļam ar grants vai asfalta segumu	m	Attālums metros
Attālums līdz dzīvnieku novietnei	m	Attālums metros
Attālums līdz meža malai	m	Attālums metros

Statistiskā analīze tika veikta programmā R (R Core Team, 2017). Lai atbilstošāk izvēlētos analīzes modeļi, tika veikta datu aprakstošā statistiskā analīze, grafiski attēloti un aprakstīti mainīgo biežumu sadalījumi. Lai novērtētu lauksaimniecības zemes pamešanas varbūtību, tika izveidoti divi autoloģistiskās binārās regresijas modeļi programmatūrā R 3.4.0. (R Core Team, 2017). Viens modelis tika izveidots, lai salīdzinātu varbūtības attiecībā uz daļēji pamestu lauksaimniecības zemi salīdzinājumā ar lauksaimniecības zemi, ko izmanto lauksaimnieciskā ražošanā, un otrs modelis –, lai salīdzinātu pamestu lauksaimniecības zemi ar lauksaimniecības zemi, ko izmanto lauksaimnieciskajā ražošanā. Lai ņemtu vērā telpisko autokorelāciju, abos modeļos tika iekļauta attāluma svērtā autokovariante (aprēķināta R paketē *spdep* (Bivand et al. 2013)). Zemes kvalitatīvā vērtība, attālums līdz ceļam, kadastra vienības platība, iepriekšējā zemes izmantošanas veida lauka platība, augsnes granulometriskais sastāvs, nogāzes slīpums un meliorācijas sistēmu klātbūtne abos modeļos tika izmantoti kā neatkarīgi mainīgie. Neatkarīgajiem mainīgajiem netika novērota multikolinearitāte, jo vispārināto variānces ietekmes faktoru vērtības bija mazākas par 2 visiem mainīgajiem. Visi attāluma un laukuma mainīgie tika mērogoti atbilstoši vienības novirzei pirms analīzes, jo tiem bija liela amplitūdu atšķirība. Izkaidrotā novirze tika aprēķināta, lietojot *McFadden* metodi ar pseido r^2 , kas tiek izmantota vispārinātiem lineāriem modeļiem R paketē *pscl* (Jackmans, 2017).

1.4. Ekosistēmu pakalpojumu novērtēšana

Ģeotelpiskā pamatne ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanai tika veidota no lauksaimniecībā izmantojamās zemes agroekoloģisko apstākļu (zemes kvalitāte, augsne un reljefs) un zemes apsaimniekošanas veida pārklājuma. Kā agroekoloģisko apstākļu kompozitvērtība tika izmantota zemes kvalitatīvā vērtība un augsnes granulometriskā sastāva grupu redukcija divās kategorijās – minerālaugsnēs un organiskajās augsnēs (kūdraugsnēs). Zemes kvalitatīvā vērtība tika iedalīta trīs klasēs, par sliekšņa vērtībām izmantojot pētījumos (LLU, 2019) izvirzītās 25 un 50 balles, kas relatīvi norāda uz lauksaimniecības zemes auglību un marginalizācijas potencialitāti. Nogāzes slīpuma vērtības tika iedalītas trīs klasēs atkarībā no nogāzes slīpuma ietekmes uz potenciālo augsnes eroziju. Zemes apsaimniekošanas veids tika iedalīts piecās klasēs atkarībā no intensitātes, ar kādu zemes apsaimniekošana ietekmē augsnes virskārtu, un no zālaugu sugu atbilstības noteiktam biotopam. Sagrupējot ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas pamatdeterminantus, tika izšķirtas ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas kategorijas (3. tabula). Par ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas un vienlaikus arī par to sniegšanas vienību tika noteikts “lauks” – vienlaidus zemes lietojuma teritoriālā vienība, kuras robežas tika noteiktas vai nu pēc lauku reģistra datiem (deklarētie lauki), vai teritorijas apsekojuma un tālizpētes datiem ārpus deklarētajām lauksaimniecības zemēm. Katrai teritorijai (laukam), kas nodrošina ekosistēmu pakalpojumus, tika veikta zonālā statistiskā analīze un piešķirta dominējošā ekosistēmu pakalpojumu pamatdeterminanta vērtība. Apsaimniekošanas veids tika noteikts pēc lauku reģistra datiem. Atsevišķi zemes lietojuma veidi, kuru īpatsvars pētījuma teritorijā nebija liels, tika izslēgti no ekosistēmu pakalpojumu novērtējuma (piemēram, augļudārzi, ogulāji, īscirtmeta audzes).

3. tabula

Ekosistēmu pakalpojumu pamatdeterminantu klasifikācija

Ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas pamatdeterminanti			
	Augsnes	Nogāzes	Apsaimniekošanas veids
Klases	Zema kvalitāte	< 4°	Kultivētie zālāji
	Vidēja kvalitāte	4–10°	Ilggadīgie zālāji
	Augsta kvalitāte	> 10°	Daļēji dabiskie zālāji
	Organiskās augsnes		Aramzemes
			Neizmantojot lauksaimniecības zemes

Ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma potenciāls tika novērtēts ar matricas metodi (Burkhard et al., 2009) pieciem apgādes un deviņiem regulējošiem (CICES, 2015) ar agroekosistēmām saistītiem pakalpojumiem. Katram pakalpojumam tika noteikts viens indikators. Eksperti – ģeogrāfijas, bioloģijas, vides zinātnes, lauksaimniecības un augsnes zinātnes speciālisti –, balstoties

uz zinātnisko literatūru, katrai ekosistēmu pakalpojuma kategorijai veica daļēji kvantitatīvu vērtējumu skalā no 0 (pakalpojums netiek sniegts) līdz 5 (ļoti augsts pakalpojuma nodrošinājums). Piešķirtās ekosistēmu pakalpojumu vērtības ir potenciāli aizvietošanas ar faktiskām pakalpojumu vērtībām, kad šādas vērtības būs pieejamas. Kultūras ekosistēmu pakalpojumi netika vērtēti ar matricas metodi, jo šie pakalpojumi ir atkarīgi no konkrētās teritorijas ģeogrāfiskā stāvokļa saistībā ar tiem ainavas elementiem, kas nodrošina šo pakalpojumu (4. tabula).

4. tabula

Kultūras ekosistēmas pakalpojumu novērtēšanas kritēriji

Kultūras ekosistēmu pakalpojumi	Indikators / ainavas elements	Attālums (vai cits kritērijs)
Tieša un netieša, fiziska un uz pieredzi balstīta mijiedarbība (Rekreācija)	Lauku rekreācijas uzņēmumi	3 km
	Novērošanas torņi	300 m
	Tūrisma takas	100 m
	Medību teritorijas	ietilpst (0 m)
	Telts vietas, ugunsкура vietas	300 m
	Sanākšanas vietas	300 m
Intelektuāla mijiedarbība (Izglītība)	Mācību takas	100 m
	Mācību vietas (stendi)	100 m
Kultūrvēsturiskā vērtība	Kultūras pieminekļi	100 m
	Vecsaimniecības un muižas	100 m
	Tradicionālā zemes lietojuma veida lauki	300 m
Estētiskā vērtība	Ūdenstilpes un upes	300 m
	Daļēji dabiskie zālāji	100 m
	Zemes lietojuma veids "daļēji dabiskais zālājs"	ietilpst (0 m)
	Lineārie ainavu elementi (alejas, koku rindas)	300 m
	Reljefa saposmotība	standartnovirze > 10 5 × 5 km režģī
	Ainavas atklātums	mežu segums < 50% 5 × 5 km režģī

Ekosistēmu pakalpojumu kopas tika izdalītas, veicot galveno komponentu analīzi šo pakalpojumu novērtējuma kategoriju rādītājiem (novērojumi) un ekosistēmu pakalpojumiem (mainīgie) (Queiroz et al. 2015) SPSS datorprogrammā. Ekosistēmu pakalpojumu kompromiss un sinerģija¹ ārpus ekosistēmu pakalpojumu kopām tika analizēti, izmantojot katra ekosistēmu pakalpojumu pāra korelācijas analīzi. Ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma "karsto"

¹ Ekosistēmu pakalpojuma kompromiss ir situācija, kad, palielinoties viena pakalpojuma vērtībai, samazinās cita pakalpojuma vērtība; ekosistēmu pakalpojuma sinerģija ir situācija, kad, palielinoties viena pakalpojuma vērtībai, palielinās arī cita pakalpojuma vērtība.

punktu izdalīšana tika veikta, saskaitot ekosistēmu pakalpojumus ar augstām vērtībām (4, 5), savukārt “auksto” punktu izdalīšana –, saskaitot ekosistēmu pakalpojumus ar zemām vērtībām (1, 2) (Egoh et al. 2009).

1.5. Daudzkritēriju lēmumu atbalsta rīka izstrāde

Daudzkritēriju lēmumu atbalsts (DKLA) ir izstrādāts, lai virzītu lēmumu pieņemšanas procesu, ņemot vērā vairākus kritērijus situācijās, kad jāsasniedz vairāki mērķi un ir vairākas ieinteresētās personas (Belton & Stewart, 2002). Plānošanas un teritoriju pārvaldes mērķiem ir raksturīga sarežģīta struktūra, kas nav izsakāma ar atsevišķu indikatoru vai vienu datu kopu (Koschke et al., 2012). Piedāvātais DKLA rīks sniedz strukturētu shēmu, kas apvieno ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas rezultātus ar biofizikālām un sociālekonomiskām datu kopām jēgpilnā veidā, paverot iespēju integrētai izmantošanai plānošanas procesā.

Atsevišķie rīka modeļi ir konstruēti atšķirīgām funkcionalitātēm un dažādām lietotāju grupām (5. tabula). DKLA procesa pilno funkcionālo atbalstu sniedz modulis “Viva Grass plānotājs”, kura pilnvērtīgai izmantošanai ir nepieciešama ĢIS datu apstrādes procesu izpratne. “Viva Grass pārļūkam” primāri ir ekosistēmu pakalpojumu novērtējuma un ekosistēmu pakalpojumu mijiedarbības pārskata funkcija, modulis “Viva Grass bioenerģija” ir izveidots, lai plānotu zāles biomasas izmantošanu kā kurināmā avotu.

5. tabula

DKLA rīka funkcionalitātes un mērķauditorija

Rīka moduļi	Funkcionalitātes								Mērķauditorija
	Zemes izmantošanas veids (LIZ)	Ekosistēmu pakalpojumu novērtējums	Ekosistēmu pakalpojumu kopas, aukstie/karstie punkti	Biomasas potenciāls	Bioenerģijas potenciāls	Apsaūmniekošanas ieteikumi	Prioritāšu noteikšana, klasifikācija	Karšu eksportēšana	
Viva Grass pārļūks	X	X	X			X		X	Jebkurš interesents
Viva Grass bioenerģija	X			X	X	X		X	Plānotāji, pētnieki, politiku veidotāji
Viva Grass plānotājs	X	X	X			X	X	X	Plānotāji, pētnieki, politiku veidotāji

Daudzkritēriju lēmumu atbalsta shēmu (3. attēls) izstrādājusi grupa pētnieku (Langemeyer et al. 2016), un uz tās pamata promocijas darbā tika izveidots DKLA rīks. Aprobējot DKLA rīku, katra procesa posma izstrādē sevišķa uzmanība tika veltīta ieinteresētajām personām – tās tika iesaistītas pēctecīgās darba grupu sanāksmēs un šo sanāksmju rezultātu apspriedēs. Promocijas darba autors DKLA rīka aprobāciju veica vienā administratīvajā teritorijā (Cēsu novadā), sasaistot to ar novada attīstības programmas un teritorijas plāna izstrādi. Ieinteresēto personu sanāksmēs tika pārstāvēti novada telpiskās plānošanas speciālisti, Cēsu novada administratīvās pārvaldes darbinieki, lauku konsultanti, tūrisma speciālisti, zemnieku, uzņēmēju un iedzīvotāju pārstāvji. Kritēriju formulēšanas posmā tika organizēti arī izglītojoši informatīvas sanāksmes, lai dalībniekus iepazīstinātu ar ekosistēmu pakalpojumu konceptu, tā izmantošanu telpiskajā plānošanā un ar to saistītu lēmumu pieņemšanā.



3. attēls. Daudzkritēriju lēmumu atbalsta procesa shēma (pēc Langemeyer et al. 2016)

DKLA kritēriju svēršanas un alternatīvu prioritizācijas pamatā tika izmantots svērtās summas modelis (Triantaphyllou, 2000), kur atsevišķi ekosistēmu pakalpojumi tika izvēlēti kā svēršanas kritēriji, kuriem lietotājs (ieinteresēto personu kopa) piešķir noteiktas vērtības ar summāro vērtību 100. Šīs vērtības rezultējas noteikto prioritāšu svarā, kas tiek aprēķināts pēc formulas:

$$\sum_{i=0}^n \frac{Index_i}{\max(Index) * n} Weight/100$$

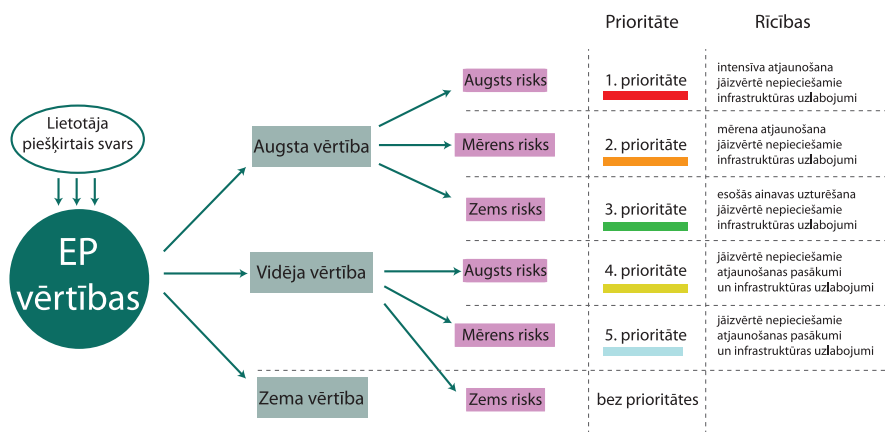
kurā *Index* ir noteiktā indeksa vērtība (ekosistēmu pakalpojumu vērtība), *max(Index)* – izvēlētā indeksa maksimālā vērtība un *Weight* – lietotāja noteiktais kritērija svars. Kopējais svara indekss ir atsevišķo komponentu summa. Tā kā svērtās summas modeli izmantojamās vērtības izteiktas atšķirīgās mērvienībās, ir nepieciešams, lai visi kritēriji tiktu normalizēti un lai DKLA rīkā ir iekļauta datu klasifikācijas iespēja, kas ļauj alternatīvu prioritizācijai pievienot atšķirīgi izteiktus datus, piemēram, “aukstā” punkta vērtību vai piederību pie kāda no ekosistēmu pakalpojumu kompromisiem, kā arī datus, kas tiek veidoti noteiktu

problēmsituāciju risināšanai, piemēram, lauksaimniecības zemes pamešanas riska indeksu. Papildus nepieciešamie rādītāji DKLA rīkā ir izmantojami kā pamatdatu atvasinājumi vai kā jauni saliktie indeksi, kas veidoti kā svērtās summas modeļi pēc formulas:

$$A_i^{SSM-vērtība} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \text{ kur } i = 1, 2, 3, \dots m$$

kur w_i ir kritērija svars, a_{ij} ir kritērija vērtība un $A_i^{SSM-vērtība}$ ir saliktā indeksa vērtība.

Cēsu novadā DKLA rīks tika aprobēts, nosakot tās lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas prioritātes, kas palīdzētu saglabāt un palielināt tūrisma potenciālu. DKLA darbplūsma (4. attēls) tika īstenota piecās secīgās ieinteresēto personu sanāksmēs. Pirmajā sanāksmē klātesošie tika iepazīstināti ar ekosistēmu pakalpojumu pieeju un to izmantošanu. Nākamajās vispirms tika apspriesti iepriekšējās sapulces rezultāti un, ja nepieciešams, veikti lēmumu labojumi.

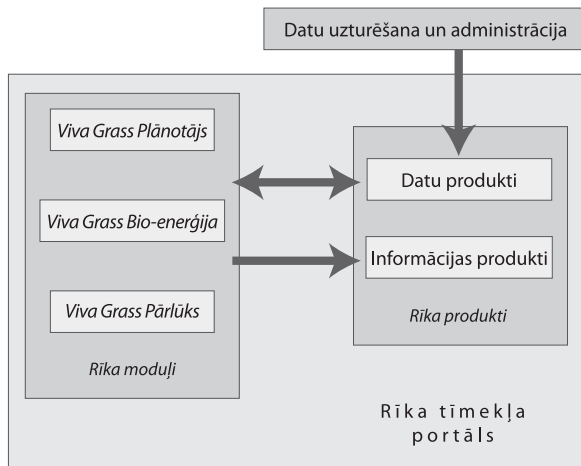


4. attēls. Lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas prioritāšu izstrādes DKLA darbplūsma

1.6. ĢIS un kartogrāfiskie risinājumi tīmekļa rīkam

DKLA tīmekļa rīka pamatā ir *ArcGIS Enterprise* platforma. Dati tiek glabāti kopējā telpiskajā datubāzē (*PostgreSQL*) un publicēti kā ĢIS pakalpojumi (kartes). Tīmeklī balstītie rīku moduļi tiek veidoti, izmantojot *ArcGIS* lietojumprogrammu veidotāju. Lai īstenotu pielāgotās prasības, tika izveidoti papildu lietojumprogrammu logriki (5. attēls). DKLA tīmekļa rīks ietver trīs galvenos

riku moduļus. Tie ir: “Viva Grass pārlūks”, “Viva Grass bioenerģija” un “Viva Grass plānotājs”, kas paredzēti konkrētiem lietotājiem un lēmumu pieņemšanai noteiktās jomās. Šie trīs moduļi izmanto dažādus datus un veido informācijas produktus, kurus var saistīt ar citām informācijas platformām.



5. attēls. DKLA tīmekļa rīka struktūra

Ģeotelpiskās analīzes rezultāti, kas iegūti ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas un/vai rīka izstrādes laikā, ir pieejami kā “datu produkti” – apveidfailu (*.shp) arhīvi, savukārt ekosistēmu pakalpojumu novērtējuma matrica, DKLA risinājumu algoritmi un ieteicamās apsaimniekošanas prakses ir pieejami kā “informācijas produkti”.

2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Šajā promocijas darba nodaļā ir aprakstīti galvenie darba rezultāti – zemes izmantošanas izmaiņu virzītājspēku analīze, ekosistēmu pakalpojumu novērtēšana un to mijiedarbības analīze, daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīka aprobēšana, kā arī ir šie rezultāti saistīti ar citiem nozarē aktuāliem pētījumiem.

2.1. Zemes izmantošanas virzītājspēku analīzes rezultāti

Promocijas darbā īstenotā metode identificēja zemes izmantošanas izmaiņu virzītājspēkus un lauksaimniecības zemes pamešanas varbūtību (risku). Apzinātās zemes izmantošanas izmaiņas ir saistāmas ar zemes reformu pēc PSRS sabrukuma un lauksaimniecības nozares pārstrukturizāciju pēc iestāšanās ES.

6. tabula

Autoloģistiskās binārās regresijas modeļa rezultāti

Zemes apsaimniekošanas veids	Mainīgais	Novērtējums	Iespējamību attiecība	Standartklūda	t vērtība	p vērtība	
Daļēji pamesta LIZ	KVP	-0,38	0,69	0,06	-6,55	< 0,001	
	KLI	-0,32	0,72	0,05	7,09	< 0,001	
	ALC	-0,07	0,93	0,04	-1,59	0,113	
	ALF	0,23	1,27	0,04	5,97	< 0,001	
	AMM	-0,26	0,77	0,05	-5,63	< 0,001	
	ACS	0,17	1,19	0,04	4,18	< 0,001	
	ZKV	-0,32	0,73	0,05	-6,36	< 0,001	
	MSK	-0,58	0,56	0,01	-5,76	< 0,001	
	NST	-0,03	0,97	0,10	-0,25	0,803	
	Augsnes granulometriskais satāvs (kūdra kā reference)						
	M	-0,55	0,58	0,21	-2,68	0,007	
	sM	-0,40	0,67	0,14	-2,85	0,004	
	S	-0,19	0,83	0,16	1,21	0,227	
	mS	-0,38	0,67	0,14	-2,85	0,004	
Pamesta LIZ	KVP	-0,09	0,91	0,02	-2,85	< 0,001	
	KLI	-0,22	0,80	0,02	-2,85	< 0,001	
	ALC	0,04	1,04	0,02	-2,85	< 0,001	
	ALF	0,24	1,27	0,02	-2,85	< 0,001	
	AMM	-0,59	0,55	0,03	-2,85	< 0,001	
	ACS	0,17	1,18	0,02	-2,85	< 0,001	
	ZKV	-0,58	0,56	0,03	-2,85	< 0,001	
	MSK	-0,40	0,67	0,05	-2,85	< 0,001	
	NST	-0,33	0,72	0,05	-2,85	< 0,001	
	Augsnes granulometriskais sastāvs (kūdra kā reference)						
	M	-0,95	0,39	0,10	-2,85	< 0,001	
	sM	-0,61	0,54	0,07	-2,85	< 0,001	
	S	-0,40	0,67	0,09	-2,85	< 0,001	
	mS	-0,72	0,49	0,06	-2,85	< 0,001	

KVP – kadastra vienības platības, KLI – kādreizējā lauka izmērs, ALC – attālums līdz lauku centram, ALF – attālums līdz dzīvnieku novietnei, AMM – attālums līdz meža malai, ACS – attālums līdz ceļam ar segumu, ZKV – zemes kvalitatīvā vērtība, MSK – meliorācijas sistēmu klātbūtne, NST – nogāzes slīpums >15°, M – māls, sM – smilšmāls, S – smilts, mS – mālsmilts.

Regresijas modeļi ierasti tiek izmantoti, lai novērtētu zemes izmantošanas izmaiņu virzītājspēkus dažādos reģionos un mērogos (Millington et al. 2007). Autoloģistiskās binārās regresijas rezultāti (6. tabula) liecina, ka Vidzemes mozaikveida ainavā augstāka zemes kvalitatīvā vērtība samazina iespēju, ka lauksaimniecībā izmantojamā zeme tiks transformēta par daļēji pamestu (neizmantotu) lauksaimniecības zemi (iespējamību attiecība 0,73, $p < 0,001$) vai pamestu lauksaimniecības zemi (iespējamību attiecība 0,56, $p < 0,001$). Augsnes granulometriskajam sastāvam nav statistiski nozīmīgas ietekmes uz varbūtību, ka lauksaimniecības zeme tiks transformēta par daļēji pamestu, savukārt varbūtība, ka lauksaimniecības zeme tiks pamesta, samazinājās visos augšnes granulometriskā sastāva variantos, kas tika aprēķināti attiecībā pret kūdru. Stāvu nogāžu neesamība (iespējamību attiecība 0,72, $p < 0,001$) samazina varbūtību, ka lauksaimniecībā izmantotā zeme tiks pamesta, savukārt meliorācijas sistēmu esamība samazināja iespēju, ka lauksaimniecības zeme tiks daļēji pamesta (iespējamību attiecība 0,56, $p < 0,001$) vai pamesta (iespējamību attiecība 0,67, $p < 0,001$). Attāluma palielināšanās līdz dzīvnieku novietnei (iespējamību attiecība 1,27, $p < 0,001$) un ceļš ar grants vai asfalta segumu (iespējamību attiecība 1,18, $p < 0,001$), kā arī attāluma samazināšanās līdz meža malai (iespējamību attiecība 0,55, $p < 0,001$) palielināja varbūtību, ka lauksaimniecības zeme tiks pamesta. Lielāks attālums līdz dzīvnieku novietnei (iespējamību attiecība 1,27, $p < 0,001$), mazāks attālums līdz meža malai (iespējamību attiecība 0,78, $p < 0,001$) palielināja varbūtību, ka lauksaimniecības zeme netiks izmantota lauksaimnieciskai ražošanai.

Kopējā izskaidrotā varbūtība Vidzemes mozaikveida ainavā autoloģistiskās binārās regresijas modelim attiecībā uz lauksaimniecības zemes pamešanu ir 29,21%, savukārt varbūtība, ka lauksaimniecības zeme kļūs daļēji pamesta, ir 40,48%. Lai arī pētāmajā teritorijā izskaidrotā varbūtība variēja, visos pagastos zemes kvalitatīvā vērtība un attālums līdz mežmalai bija nozīmīgi lauksaimniecības zemes pamešanas riska palielināšanās faktori. Lielākajā daļā teritorijas arī attālums līdz dzīvnieku novietnei palielināja lauksaimniecības zemes pamešanas risku. Modeļa neizskaidrotā varbūtība ir saistāma ar modeļi neiekļauto faktoru ietekmi. No tiem nozīmīgākie ir tādi saimnieciskā līmeņa sociālekonomiskie faktori kā saimniecības ieņēmumi un lielums, zemnieka vecums un izglītība, lauksaimniecisko prakšu pēctecība un pārmantojamība, mehanizācijas līmenis (Baldock et al. 1996; Van Doorn and Bakker, 2007; Kristensen et al. 2004; MacDonald et al. 2000, Terres et al. 2015). Svarīga nozīme ir arī reģionāla līmeņa sociālekonomiskiem un demogrāfiskiem rādītājiem (Kuemmerle et al., 2008; Prishchepov et al., 2013).

Iegūtie rezultāti ļauj veidot salikto indikatoru no vairākiem mainīgajiem, kuri modeļi uzrādīja nozīmīgu ietekmi uz zemes izmantošanas izmaiņām, piemēram, zemes kvalitatīvās vērtības, attāluma līdz lopu novietnei un attāluma līdz mežmalai izmantošana svērtās summas modeļi ļauj izveidot lauksaimniecības zemes pamešanas riska indeksu, kas tiek izmantots daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta rīkā (2.3 apakšnodaļa).

2.2. Ekosistēmu pakalpojumu novērtēšana

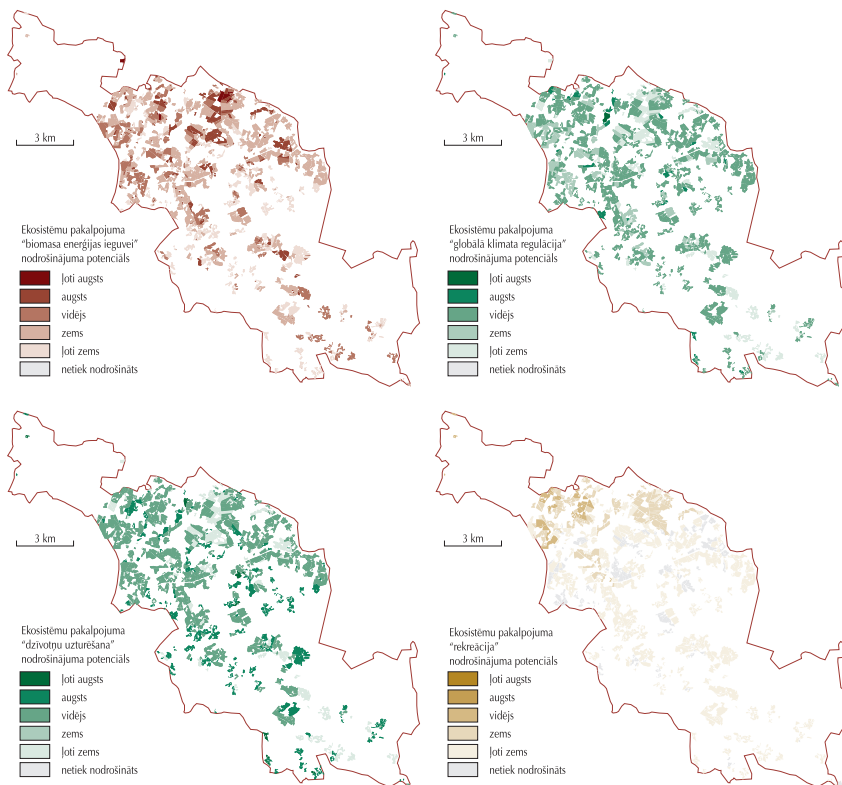
Novērtējot ekosistēmu pakalpojumus, katra pakalpojuma izteikšanai tika piemērots noteikts indikators, kas izteikts indikatora vienībās (apgādes pakalpojumiem metriskās vienībās, regulējošiem pakalpojumiem relatīvās vērtībās) un kategorizēts ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas matricas skalā (1–5). Piemēram, pakalpojumam “lopbarība” indikators ir t/ha/gadā un vērtībai “1” atbilst < 1 t/ha/gadā, “2” – 2–3 t/ha/gadā utt. Pakalpojumam “dzīvotņu uzturēšana” indikators ir sugu skaits 1 m² un vērtībai “1” atbilst “ļoti mazs sugu skaits”, savukārt “5” atbilst “ļoti liels sugu skaits” (7. tabula, 6. attēls). Novērtējuma matricas datu struktūra ļauj kategorizētos datus aizvietot ar reālajām vērtībām, kad tādas kļūst pieejamas.

7. tabula

Apgādes un regulējošo ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas matrica (fragments)

LIZ klase	Apgādes ekosistēmu pakalpojumu					Regulējošie ekosistēmu pakalpojumu							
	Kūltūraugi	Mājlopi	Lopbarība	Biomasa enerģijai	Ārstniecības augi	Bioremediācija	Filtrācija / akumulācija	Erozijas kontrole	Apputekšņošana	Dzīvotņu uzturēšana	Dēdēšana	Ūdeņu ķīmiskais stāvoklis	Globālā klimata regulācija
11. Ilggadīgie zālāji, līdzens reljefs, zema zemes vērtība	0	2	1	1	3	3	2	0	4	4	2	3	3
12. Ilggadīgie zālāji, līdzens reljefs, vidēja zemes vērtība	0	3	2	2	2	4	3	0	4	3	3	4	3
13. Ilggadīgie zālāji, līdzens reljefs, augsta zemes vērtība	0	4	3	3	2	4	4	0	4	3	4	5	3
14. Ilggadīgie zālāji, līdzens reljefs, organiskās augsnes	0	3	2	2	2	5	4	0	4	3	0	3	4
15. Ilggadīgie zālāji, lēzena nogāze, zema zemes vērtība	0	2	1	1	3	3	2	4	4	4	2	3	3
16. Ilggadīgie zālāji, lēzena nogāze, vidēja zemes vērtība	0	3	2	2	2	4	3	3	4	3	3	4	3
17. Ilggadīgie zālāji, lēzena nogāze, augsta zemes vērtība	0	4	3	3	2	4	4	3	4	3	4	5	3
18. Ilggadīgie zālāji, lēzena nogāze, organiskās augsnes	0	3	2	2	2	5	4	0	4	3	0	3	4
19. Ilggadīgie zālāji, līdzens reljefs, zema zemes vērtība	0	2	1	1	3	3	2	5	4	4	2	3	3
20. Ilggadīgie zālāji, līdzens reljefs, vidēja zemes vērtība	0	3	2	2	2	4	3	5	4	3	2	4	3

Promocijas darba laikā izstrādātā ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas metode identificē pakalpojuma nodrošinājuma potenciālu konkrētajos agroekoloģiskajos apstākļos, ņemot vērā zemes apsaimniekošanas intensitāti. Piemēram, aramzemē sēts zālājs, t. i., vismaz reizi piecos gados uzarta, piesēta, mēsloja agroekosistēma, jebkuros agroekoloģiskajos apstākļos nodrošinās augstāku apgādes pakalpojumu vērtību nekā ilggadīgie zālāji. Savukārt daļēji dabiskie zālāji, neintensīvi apsaimniekota un dabiskām sugām bagāta agroekosistēma, jebkuros agroekoloģiskajos apstākļos nodrošinās augstāku regulējošo pakalpojumu vērtību.



6. attēls. Ekosistēmu pakalpojumu novērtējuma piemērs pētījuma teritorijas fragmentam (Cēsu novads)

Galveno komponentu analīzes rezultātā (8. tabula) ekosistēmu pakalpojumu novērtējuma matricā var izdalīt 3 komponentes, kas izskaidro 90,53% variānci. Pirmā komponente izskaidro 48,18%, un tajā pozitīvi korelē tādi pakalpojumi kā "ārstniecības augi", "apputeksnēšana", "dzīvotņu uzturēšana" un "globālā klimata regulācija", savukārt negatīvi korelē tādi pakalpojumi kā "mājlopi", "lopbarība"

un “biomasa enerģijai”. Šajā komponentē parādās izteikta ekosistēmu pakalpojumu savstarpēja konkurence. Otrā komponente izskaidro 28,1%, trešā komponente izskaidro 14, 25%, un tās ir saistāmas ar pakalpojumiem, ko sniedz augsnes procesi.

8. tabula

Galveno komponentu analīzes rezultāti

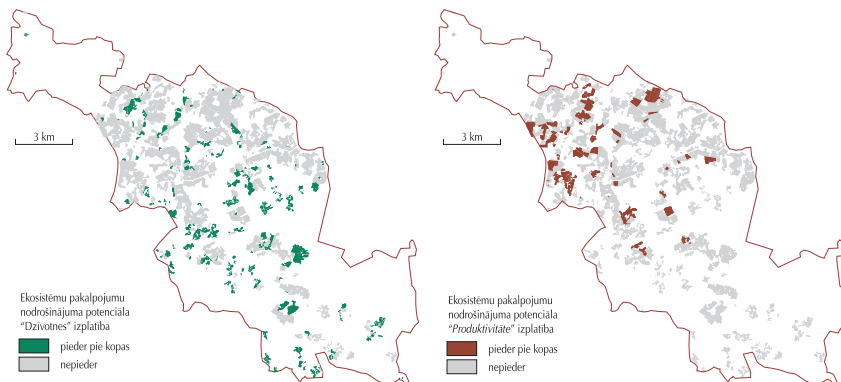
Ekosistēmu pakalpojumi	1. komponente	2. komponente	3. komponente
Mājlopi	-0,958		
Lopbarība	-0,807		
Biomasa enerģijai	-0,808		
Ārstniecības augi	0,921		
Apputeksnēšana	0,846		
Dzīvotņu uzturēšana	0,953		
Globālā klimata regulācija	0,726		
Bioremediācija		0,839	
Filtrācija/akumulācija		0,845	
Ūdeņu ķīmiskais stāvoklis		0,766	
Erozijas kontrole			0,608
Dēdēšana			0,902

Balstoties uz galveno komponentu analīzes rezultātiem, ir iespējams izdalīt ekosistēmu pakalpojumu kopas – sava veida pakalpojumu grupas, kurās pakalpojumi veido sinerģiju, kad, palielinoties viena pakalpojuma vērtībai, palielinās visu citu kopā esošo pakalpojumu vērtība, vai konkurenci, kad, palielinoties viena pakalpojuma vērtībai, samazinās visu citu kopā esošo pakalpojumu vērtība (Mochet et al. 2014; Spake et al. 2017). Tā kā pirmajā komponentē izšķiramas divas polaritātes, tika izdalītas divas kopas atbilstoši katrai polaritātei, tādējādi nodrošinot, ka kopā ekosistēmu pakalpojumu starpā ir tikai sinerģiskas attiecības. Pētījumā kopām tika piešķirti nosaukumi, kas ataino to funkcionalitāti un skaidrāk atklāj to būtību:

- “Dzīvotņu kopa”. Sinerģiski mijiedarbojas šādi pakalpojumi: “ārstniecības augi”, “apputeksnēšana”, “dzīvotņu uzturēšana” un “globālā klimata regulācija”;
- “Ražošanas kopa”. Sinerģiski mijiedarbojas šādi pakalpojumi: “mājlopi”, “lopbarība”, “biomasa enerģijai”. Funkcionāli šai kopai pieder arī pakalpojums “kultūraugi”, kas faktiski var tikt īstenots tikai aramzemēs, aizvietojojot pakalpojumu “mājlopi”;
- “Augsnes kopa”. Sinerģiski mijiedarbojas šādi pakalpojumi: “bioremediācija”, “filtrācija/akumulācija”, “ūdeņu ķīmiskais stāvoklis”, “erozijas kontrole” un “dēdēšana”.

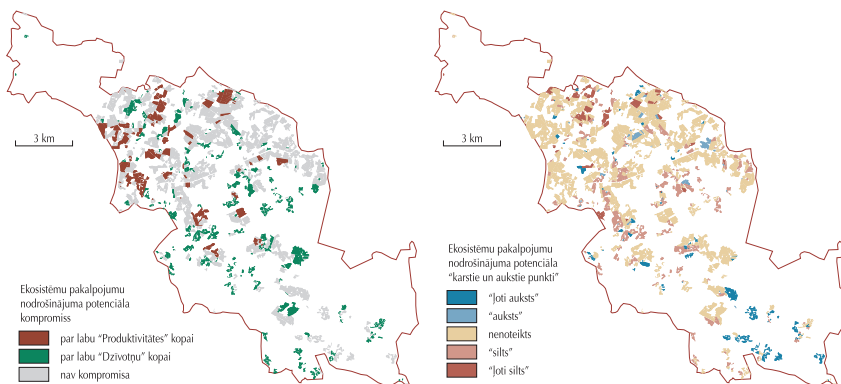
Konkrētā lauka piederība konkrētai ekosistēmu pakalpojumu kopai tika noteikta, ja kopā esošo ekosistēmu pakalpojumu vidējā vērtība pārsniedza sliekšņa

vērtību 3 – proti, pakalpojumu potenciāls tika novērtēts virs vidējās iespējamās vērtības (7. attēls).



7. attēls. Ekosistēmu pakalpojumu "Dzīvotņu kopa" un "Ražošanas kopa" izplatība pētījuma teritorijas daļā (Cēsu novads)

Ekosistēmu pakalpojumu kopu analīzes kartēšana nodrošina pamatinformāciju par pakalpojumu telpisko mijiedarbību, tādējādi sniedzot pamatinformāciju tālākai lēmumu pieņemšanai attiecībā uz lauksaimnieciskās zemes turpmāko izmantošanu. Situācija, ja konkrētajā laukā "dzīvotņu kopas" pakalpojumi tiek sniegti augstās vērtībās, bet "produktivitātes kopas" pakalpojumi tiek sniegti zemās vērtībās, tiek saukta par "kompromisu par labu dzīvotnes kopai", savukārt situācija, ja konkrētajā laukā "produktivitātes kopas" pakalpojumi tiek sniegti augstās vērtībās, bet "dzīvotņu kopas" pakalpojumi tiek sniegti zemās vērtībās, tiek saukta "kompromiss par labu produktivitātes kopai" (8. attēls).



8. attēls. Ekosistēmu pakalpojumu kompromisi un karstie/aukstie punkti pētījuma teritorijas daļā (Cēsu novads)

Pētījuma teritorijā faktiski tika identificētas situācijas, kurās vidējā vērtība abās kopās bija vai nu augsta, vai tieši otrādi – zema, pirmajā gadījumā konkrētie lauki tiek saukti par ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma “karstajiem” punktiem, otrajā – par “aukstajiem” punktiem.

Ekosistēmu pakalpojumu kompromisu izpēte ainavu ekoloģiskos pētījumos ir aktualizējusi nopietnus jautājumus, proti, agroekosistēmas ir lielā mērā atkarīgas no vidi regulējošo pakalpojumu nodrošinājuma (piemēram, apputeksnēšanas, kaitēkļu un slimību ierobežošanas, augsnes auglības uzturēšanas), bet tajā pašā laikā agroekosistēmas ir arī svarīgu ekosistēmu pakalpojumu nodrošinātājas (pirmkārt jau, apgādes pakalpojumu, bet arī atsevišķu regulējošo un kultūras pakalpojumu) (Garbach et al. 2014; Willemen et al. 2017). Tomēr lauksaimniecības intensifikācijas rezultātā noris koncentrēšanās tikai uz apgādes pakalpojumiem, kas ir saistāmi ar nopietniem kompromisiem (Kirchner et al. 2015). Zinātniskajā literatūrā ir detāli aprakstīti kompromisi starp lauksaimniecisko produkciju un vidi regulējošiem pakalpojumiem (Haines-Young et al. 2012; Maes et al. 2012), piemēram, oglekļa piesaistīšanu (Schulze et al. 2005; Glendell & Brazier, 2014), apputeksnēšanu (Power, 2010; Cole et al. 2017), dzīvotņu uzturēšanu ((McLaughlin & Mineau 1995; Tschardt et al., 2005). Pētījums pamato, ka vienādos agroekoloģiskos apstākļos, intensificējot lauksaimnieciskās darbības veidu, palielināsies “produktivitātes kopas” pakalpojumu vērtības un samazināsies “dzīvotnes kopas” pakalpojumu vērtības.

2.3. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsts

Daudzkritēriju lēmumu pieņemšana ietilpst lēmumu pieņemšanas sistēmā (*decision making systems*), kas ļauj īstenot lēmumu pieņemšanas procesu atšķirīgām problēmsituācijām. Promocijas darba kopsavilkumā ir prezentēta teritoriju apsaimniekošanas prioritāšu noteikšana ainavas uzturēšanas kontekstā Cēsu novada Vaives pagastā.

Ekspertu un ieinteresēto personu diskusijā tika identificēti kritēriji ainaviski vērtīgo un tūrismam nozīmīgo teritoriju atlasei: kultūras ekosistēmu pakalpojumi (estētiskā vērtība, rekreācijas vērtība, izglītojošā vērtība, kultūrvēsturiskā vērtība) un ekoloģiskā vērtība (“dzīvotņu kopas” ekosistēmu pakalpojumu vidējā vērtība). Riska teritoriju atlasei tika identificētas un izmantotas divas kompozītvērtības: “latvāņu izvāzijas risks”, ko veido teritoriju atrašanās attiecībā pret ar Sosnovska latvāni invadētām teritorijām, un “lauksaimniecības zemes pamešanas risks”, ko veido svērtā vērtība no zemes kvalitatīvas vērtības (50%) attāluma no liellopu novietnes (30%) un attālums līdz ceļam (20%).

Kritēriju svēršanas rezultātā tika izveidota uz ekosistēmu pakalpojumiem balstīto kritēriju svaru matrica, kas saistīta ar Cēsu novada ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030. gadam noteiktām iedzīvotāju dzīves kvalitātes dimensijām: kvalitatīva dzīves telpa un vide, nodarbinātības iespējas, veselība, drošība, kultūras pieejamība, izglītības un mūžizglītības pieejamība, attīstīta infrastruktūra,

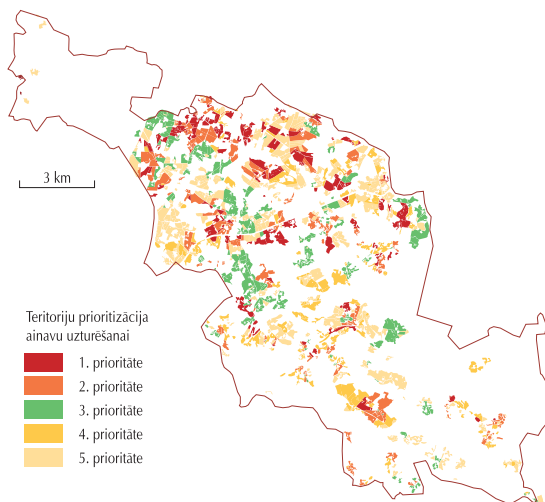
sociālā drošība un aprūpe. Katra kritērija prioritāšu vidējais rādītājs, pārrēķinot procentos, tika izteikts kā “svars”, kas tika izmantots DKLA rīka prioritāšu noteikšanas aprēķinos (9. tabula).

9. tabula

Ekspertu un ieinteresēto personu nolemtais kritēriju būtiskums

Kritērijs	Svars (%)
Ainavas estētiskā vērtība	25
Rekreācijas vērtība	18
Izglītojošā vērtība	12
Kultūrvēsturiskā vērtība	22
Ekoloģiskā vērtība	23

DKLA rīkā prioritātes tiek noteiktas, piešķirot katrai teritoriālai vienībai kārtas skaitli, un šo kopu pēc noklusējuma ataino, dalot piecās kategorijās pēc dabiskās sliekšņa vērtības (*natural brakes*). Tāpat var izmantot dalījumu kvantīlēs un aritmētisko dalījumu vienāda skaita grupās. Šis dalījums tiek kategorizēts trīs kategorijās jeb ainaviskās vērtības kategorijās – augsta, vidēja un zema. Vērtības kategorijām piemērojot riska kategorijas, tiek izveidotas noslēdzošās teritoriju apsaimniekošanas prioritātes (9. attēls)



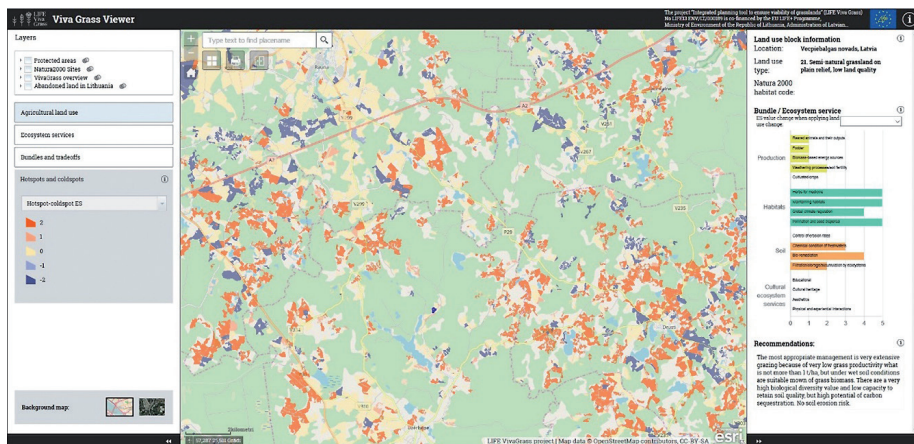
9. attēls. Ainavas uzturēšanai noteiktās teritoriju prioritātes Cēsu novadā

Aprakstītajā daudzkritēriju lēmumu atbalsta īstenošanas plānošanas procesā, lai izvairītos no riskiem, ka neliela ieinteresēto personu kopa var

būtiski ietekmēt noteiktas vērtības jeb svarus (Stirling, 2006), tika izmantots konsultatīvs daudzkritēriju novērtējums (*deliberative multi-criteria evaluation*) (Mavrommati et al. 2017), kas ļauj sasniegt plašāku izpratni un sabiedrības iesaisti plānošanas procesā.

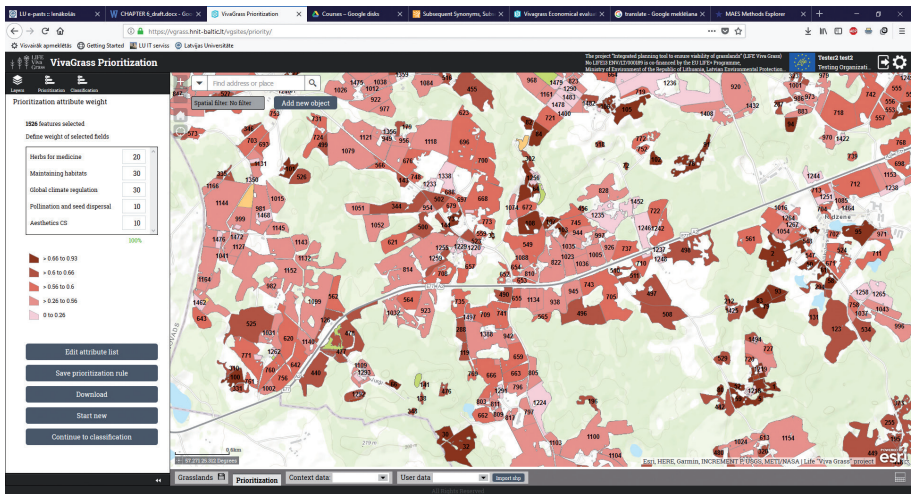
2.4. ĢIS un kartogrāfiskie risinājumi tīmekļa rīkam

“Viva Grass pārlūks” ir DKLA pamatmodulis, kas pieejams ikvienam lietotājam. Tas veidots kā tematisko karšu (kontekstuālo slāņu) pārlūks (10. attēls) ar ierobežotām rediģēšanas iespējām – lietotājs var potenciāli mainīt lauksaimnieciskās zemes izmantošanas veidu izvēlētam laukam un noskaidrot, kādas izmaiņas tas radīs ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma potenciālā, piederībā pie ekosistēmu pakalpojumu kopām, kompromisiem un ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma “karstajiem”/“aukstajiem” punktiem, kā arī var iegūt rekomendācijas par ieteicamo lauksaimniecības zemes apsaimniekošanu konkrētajos agroekoloģiskajos apstākļos.



10. attēls. “Viva Grass pārlūks”, ekrānuzņēmums

“Viva Grass plānotājs” ir DKLA galvenais modulis, kas pieejams tikai reģistrētiem lietotājiem, un tā lietošanai ir nepieciešamas ĢIS zināšanas. Šajā modulī ir pieejami visi ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas un mijiedarbības kontekstuālie slāņi (11. attēls), kā arī ir iespēja augšupielādēt citus lēmumu pieņemšanai nepieciešamos telpiskos datus. Šis modulis strādā kā tiešsaistes ĢIS programmatūra, kurā iespējams veikt telpiski analītiskas pamatdarbības, attēlot un eksportēt to rezultātus.



11. attēls. “Viva Grass plānotājs”, ekrānuzņēmums

SECINĀJUMI

Promocijas darbā tika īstenoti trīs secīgi pētījumi, kuru mērķis bija izstrādāt un aprobēt jaunu, ekosistēmu pakalpojumu pieejā balstītu agroekosistēmu pārvaldības risinājumu mozaikveida ainavā.

1. pētījums. Zemes izmantošanas izmaiņu virzītājspēku apzināšana un novērtēšana mozaikveida ainavā.

Promocijas darbā ir parādīta autoloģistiskās binārās regresijas modeļu efektivitāte ainavu izmaiņu virzītājspēku novērtēšanā. Pētījumu rezultātā ir noskaidrots, ka nozīmīgākie biofizikālie un novietojuma faktori jeb virzītājspēki, kas nosaka lauksaimniecībā izmantojamās zemes pamešanu mozaikveida ainavā Vidzemē, ir zemes kvalitatīvā vērtība, attālums līdz lopu novietnei, attālums līdz ceļam un meža malai. Pētījums parādīja, ka precīzāku zemes izmantošanas scenāriju izstrādei ABR modelis ir papildināms ar saimniecības līmeņa sociāl-ekonomiskiem datiem.

2. pētījums. Biofizikālās ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas un kartēšanas metodes izstrāde Vidzemes augstienē un aprobācija Baltijas valstīs, to skaitā Latvijā.

Promocijas darba laikā ir izstrādāta un aprobēta ekosistēmu pakalpojumu novērtēšanas un kartēšanas metode lauksaimniecībā izmantojamām zemēm un tajās veikta ekosistēmu pakalpojumu mijiedarbības analīze. Pētījumā noskaidrots, ka līdzīgos agroekoloģiskos apstākļos zemes apsaimniekošanas intensifikācija palielina apgādes pakalpojumu vērtības un samazina regulējošo pakalpojumu vērtības, tādējādi veidojot kompromisa situācijas. Savukārt nelabvēlīgos agroekoloģiskos apstākļos, piemēram, nabadzīgās augsnēs vai stāvās nogāzēs, intensifikācijas rezultātā samazinās arī apgādes pakalpojumi un izveidojas ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma “aukstie” punkti. Promocijas darbā prezentētā metode ir izmantota ekosistēmu pakalpojumu nodrošinājuma kartēšanai lauksaimniecības zemēs Baltijas valstīs.

3. pētījums. Ekosistēmu pakalpojumu un zemes izmantošanas virzītājspēku integrēšana daudzkritēriju lēmumu atbalstā agroekosistēmu plānošanā un pārvaldībā.

Zemes izmantošanas maiņas virzītājspēki un ekosistēmu pakalpojumu novērtējums ir izmantojami daudzkritēriju lēmuma atbalstā kā svērtie kritēriji zemes pārvaldības uzlabošanai, ja zeme atrodas perifērijā. Promocijas darba laikā ir izstrādāta un aprobēta integrētās plānošanas shēma lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas prioritāšu noteikšanai ainavas estētisko un tūrisma vērtību uzturēšanas un uzlabošanas kontekstā. Izstrādātā pieeja ir iekļauta integrētās plānošanas rīkā *Viva Grass Tool*.

Promocijas darba rezultāti ir izmantojami lauksaimniecības zemes izmantošanas un ekosistēmu pakalpojumu izmaiņu prognožu izstrādei un īstenoto

lauksaimniecības politikas ietekmju analīzei. Ekosistēmu pakalpojumu novērtējums ir izmantojams kā MAES (*Mapping and Assessment of Ecosystem Services*) integrāla sastāvdaļa.

Tālākai promocijas darba rezultātu attīstībai ir nepieciešams papildināt izstrādātos modeļus ar meža zemju un ūdens objektu datiem, tādējādi iegūstot efektīvu instrumentu lēmumu atbalstam lauku teritoriju plānošanai un pārvaldībai.

PATEICĪBAS

Promocijas darba autors izsaka pateicību darba vadītājam prof. Oļģertam Nikodemum, Latvijas Universitātes kolēģiem un zinātnisko rakstu līdzautoriem Raimondam Kasparinskim, Didzim Elfertam, Guntim Brūmelim un Anitai Zariņai, Baltijas Vides Foruma kolēģēm un zinātnisko rakstu līdzautorēm Andai Ruskulei, Kristīnai Veidemani un Danai Prižavoitei, Igaunijas Dzīvības zinātņu universitātes kolēģiem un zinātnisko rakstu līdzautoriem Miguel Villoslada, prof. Kalev Sepp, Henri Järv un Jaak Klimask, Baltijas Vides Foruma (Lietuva) kolēģiem un zinātnisko rakstu līdzautoriem Justas Gulbinas, Kestutis Navickas, Arvydas Dotas un Žymantas Morkvenas, Hnit Baltic kolēģim un zinātnisko rakstu līdzautoram Audrius Kryžanauskas.

REFERENCES / LITERATŪRAS SARAKSTS

- Baldock, D., Beaufoy, G., Brouwer, F., 1996. Godeschalk (1996). Farming at the Margins: Abandonment or Redeployment of Agricultural Land in Europe. *The Institute for European Environmental Policy*, London/ The Hague.
- Bagstad, K. J., Villa, F., Johnson, G. W., & Voigt, B. (2011). ARIES–Artificial Intelligence for Ecosystem Services: a guide to models and data, version 1.0. *ARIES report series*, 1.
- Balmford, A., Green, R., & Phalan, B. (2012). What conservationists need to know about farming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1739), 2714–2724.
- Batáry, P., Dicks, L. V., Kleijn, D., & Sutherland, W. J. (2015). The role of agri–environment schemes in conservation and environmental management. *Conservation Biology*, 29(4), 1006–1016.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. *Springer Science & Business Media*.
- Bivand, R., Hauke, J., Kossowski, T. (2013). Computing the Jacobian in Gaussian spatial autoregressive models: an illustrated comparison of available methods. *Geographical Analysis*. 45, 150–179.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services—a concept for land–cover based assessments. *Landscape online*, 15(1), 1–22.
- Burkhard, B., & Maes, J. (2017). Mapping ecosystem services. Advanced Books, 1, e12837.
- Cole, L. J., Brocklehurst, S., Robertson, D., Harrison, W., & McCracken, D. I. (2017). Exploring the interactions between resource availability and the utilisation of semi–natural habitats by insect pollinators in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, ecosystems & environment*, 246, 157–167.
- CICES (2015). Version 4.3 towards a common classification of ecosystem services. <http://cices.eu/>. Accessed on: 2018–5–10.
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., Ricketts, T. H., Salzman, J. and Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), pp. 21–28.
- Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Bode, M., & Richardson, D. M. (2009). Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological conservation*, 142(3), 553–562.
- Ellis, E. C., & Ramankutty, N. (2008). Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(8), 439–447.
- European Commission (2019). Integrating environmental concerns into the CAP. [pieejams https://ec.europa.eu/agriculture/envir/cap_en](https://ec.europa.eu/agriculture/envir/cap_en), accessed 19.09.2019.
- Farber, S. C., Costanza, R., & Wilson, M. A. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological economics*, 41(3), 375–392.

- Fürst, C., König, H., Pietzsch, K., Ende, H. P., & Makeschin, F. (2010). Pimp your landscape—a generic approach for integrating regional stakeholder needs into land use planning. *Ecology and Society*, 15(3).
- Garbach, K., Milder, J. C., Montenegro, M., Karp, D. S., & DeClerck, F. A. J. (2014). Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. *Encyclopedia of agriculture and food systems*, 2, 21–40.
- Glendell, M., & Brazier, R. E. (2014). Accelerated export of sediment and carbon from a landscape under intensive agriculture. *Science of the Total Environment*, 476, 643–656.
- Grêt-Regamey, A., Altwegg, J., Sirén, E. A., van Strien, M. J., & Weibel, B. (2017). Integrating ecosystem services into spatial planning—A spatial decision support tool. *Landscape and Urban Planning*, 165, 206–219.
- Haines-Young, R., Potschin, M., & Kienast, F. (2012). Indicators of ecosystem service potential at European scales: mapping marginal changes and trade-offs. *Ecological Indicators*, 21, 39–53.
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 43(4), 516–529.
- Jackmans, S., 2017. Pscl: Classes and Methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory. United States Stud. Centre, Univ. Sydney, Sydney, New South Wales Aust. R Packag. version 1 5.1.
- Jackson, B., Pagella, T., Sinclair, F., Orellana, B., Reynold, B., ... & Eycott, A. (2013). Polyscape: A GIS mapping framework providing efficient and spatially explicit landscape-scale valuation of multiple ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 112, 74–88.
- Kirchner, M., Schmidt, J., Kindermann, G., Kulmer, V., Mitter, H., Prettenhaler, F., ... & Tappeiner, U. (2015). Ecosystem services and economic development in Austrian agricultural landscapes—The impact of policy and climate change scenarios on trade-offs and synergies. *Ecological Economics*, 109, 161–174.
- Koschke, L., Fürst, C., Frank, S., & Makeschin, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological indicators*, 21, 54–66.
- Kristensen, L. S., Thenail, C., Kristensen, S. P. (2004). Landscape changes in agrarian landscapes in the 1990: the interaction between farmers and the farmed landscape. A case study from Jutland, Denmark. *The Journal of Environmental Management*, 71, 231–244.
- Kuemmerle, T., Müller, D., Griffiths, P., Rusu, M. (2009). Land use change in Southern Romania after the collapse of socialism. *Regional Environmental Change* 9, 1–12.
- Langemeyer, J., Gómez-Baggethun, E., Haase, D., Scheuer, S., & Elmqvist, T. (2016). Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *Environmental Science & Policy*, 62, 45–56.
- LLU (2019). Zemes izmantošanas optimizācijas iespēju novērtējums Latvijas klimata politikas kontekstā. Nipers, A. (proj. vad.) Zinātniskā pētījuma gala atskaite, pieejama: <https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/LVM%20petijums%202.pdf>.

- MacDonald, D., Crabtree, J., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Gutierrez Lazpita, J., Gibon, A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response. *The Journal of Environmental Management* 59, 47–69.
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., ... & Bouraoui, F. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1(1), 31–39.
- Mavrommati, G., Borsuk, M., & Howarth, R. (2017). A novel deliberative multicriteria evaluation approach to ecosystem service valuation. *Ecology and Society*, 22(2).
- McLaughlin, A., & Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55(3), 201–212.
- Millington, J. D. A., Perry, G. L. W., Romero–Calcerrada, R. (2007). Regression techniques for examining land use/cover change: a case study of a mediterranean landscape. *Ecosystems* 10, 562–578.
- Mouchet, M., Lamarque, P., Martín–López, B., Crouzat, E., Gos P., Byczek, C., Lavorel, S. (2014). An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Global Environmental Change* 28: 298–308.
- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... & Day, J. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45.
- Nikodemus, O., Bell, S., Grīne, I., & Liepiņš, I. (2005). The impact of economic, social and political factors on the landscape structure of the Vidzeme Uplands in Latvia. *Landscape and Urban Planning*, 70(1–2), 57–67.
- Nikodemus, O., Bell, S., Penēze, Z., & Krūze, I. (2010). The influence of European Union single area payments and less favoured area payments on the Latvian landscape. *European Countryside*, 2(1), 25–41.
- Peh, K. S. H., Balmford, A., Bradbury, R. B., Brown, C., Butchart, S. H., Hughes, F. M., Stattersfield, A., Thomas, D. H., Walpole, M., Bayliss, J. and Gowing, D. (2013). TESSA: a toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance. *Ecosystem Services*, 5, pp. 51–57.
- Pickard, B. R., Daniel, J., Mehaffey, M., Jackson, L. E., & Neale, A. (2015). EnviroAtlas: A new geospatial tool to foster ecosystem services science and resource management. *Ecosystem Services*, 14, 45–55.
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros–Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land use policy*, 33, 118–129.
- Plieninger, T., Kizos, T., Bieling, C., Dů–Blayo, L., Budniok, M. A., Bürgi, M., Kuemmerle, T. (2015). Exploring ecosystem–change and society through a landscape lens: recent progress in European landscape research. *Ecology and Society*, 20(2).
- Pointereau, P., Coulon, F., Girard, P., Lambotte, M., Stuczynski, T., Sanchez Ortega, V., & Del Rio, A. (2008). Analysis of farmland abandonment and the extent and location of agricultural areas that are actually abandoned or are in risk to be abandoned. European Commission Joint Research Centre. *Institute for Environment and Sustainability*.

- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959–2971.
- Prishchepov, A. V., Müller, D., Dubinin, M., Baumann, M., Radeloff, V. C., 2013. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. *Land Use Policy* 30, 873–884.
- Queiroz, C., Meacham, M., Richter, K., Norström, A. V., Andersson, E., Norberg, J., & Peterson, G. (2015). Mapping bundles of ecosystem services reveals distinct types of multifunctionality within a Swedish landscape. *Ambio*, 44(1), 89–101.
- R. Core Team, 2017. A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria.
- Rienks, W., Balkema, A., Banse, M., Eickhout, B., Geijzendorffer, I., van den Heiligenberg, H., ... & Prins, A. G. (2008). The future of rural Europe: An anthology based on the results of the Eururalis 2.0 scenario study. *Alterra Wageningen UR*.
- Rozas-Vásquez, D., Fürst, C., & Geneletti, D. (2019). Integrating ecosystem services in spatial planning and strategic environmental assessment: The role of the cascade model. *Environmental Impact Assessment Review*, 78, 106291.
- Ruskule, A., Nikodemus, O., Kasparinska, Z., Kasparinskis, R., & Brūmelis, G. (2012). Patterns of afforestation on abandoned agriculture land in Latvia. *Agroforestry systems*, 85(2), 215–231.
- Ruskule, A., Nikodemus, O., Kasparinskis, R., Bell, S., & Urtane, I. (2013). The perception of abandoned farmland by local people and experts: Landscape value and perspectives on future land use. *Landscape and Urban Planning*, 115, 49–61.
- Schneider, U. A., Havlík, P., Schmid, E., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., ... & Fritz, S. (2011). Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. *Agricultural Systems*, 104(2), 204–215.
- Schulze, E. D., & Freibauer, A. (2005). Environmental science: Carbon unlocked from soils. *Nature*, 437(7056), 205.
- Spake, R., Lasseur, R., Crouzat, E., Bullock, J., Lavorel, S., Parks, K., Schaafsma, M., Bennett, E., Maes, J., Mulligan, M., Mouchet, M., Peterson, G., Schulp, C.E., Thuiller, W., Turner, M., Verburg, P., Eigenbrod, F. (2017) Unpacking ecosystem service bundles: Towards predictive mapping of synergies and trade-offs between ecosystem services. *Global Environmental Change* 47: 37–50.
- Stirling, A. (2006). Analysis, participation and power: justification and closure in participatory multi-criteria analysis. *Land use policy*, 23(1), 95–107.
- Terres, J., Nisini, L., Wania, A., Ambar, M., Anguiano, E., Buckwell, A., Coppola, A., Gocht, A., Nordström, H., Pointereau, P., Strijker, D., Visek, L., Vranken, L., Zobena, A., 2015. Farmland abandonment in Europe: identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk. *Land Use Policy* 49, 20–34.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260–20264.

- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (pp. 5–21). Springer, Boston, MA.
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology letters*, 8(8), 857–874.
- Van Doorn, A. M., Bakker, Æ. M. M. (2007). The destination of arable land in a marginal agricultural landscape in South Portugal: an exploration of land use change determinants. *Landscape Ecology* 1073–1087.
- Vanwambeke, S. O., Meyfroidt, P., & Nikodemus, O. (2012). From USSR to EU: 20 years of rural landscape changes in Vidzeme, Latvia. *Landscape and Urban Planning*, 105(3), 241–249.
- Villoslada, M., Vinogradovs, I., Ruskule, A., Veidemane, K., Nikodemus, O., Kasparinskis, R., Sepp, K. and Gulbinas, J. (2018). A multitiered approach for grassland ecosystem services mapping and assessment: The Viva Grass tool. *One Ecosystem*, 3, p.e25380.
- Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Elferts, D., & Brūmelis, G. (2018). Assessment of site-specific drivers of farmland abandonment in mosaic-type landscapes: A case study in Vidzeme, Latvia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 113–121.
- Vinogradovs, I., Nikodemus, O., Villoslada, M., Ruskule, A., Veidemane, K., Gulbinas, J., Morknenas, Ž., Kasparinskis, R., Sepp, K., Järv, H., Kliimask, J., Zariņa, A., Brūmelis, G. (*In press*) Integrating ecosystem services into decision support for management of agroecosystems: Viva Grass tool. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*.
- Van Zanten, B. T., Verburg, P. H., Espinosa, M., Gomez-y-Paloma, S., Galimberti, G., Kantelhardt, J., Raggi, M. (2014). European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review. *Agronomy for sustainable development*, 34(2), 309–325.
- Willemsen, L., Jones, S., Carmona, N. E. and DeClerck, F. (2017). 7.3. 2. Ecosystem service maps in agriculture. *Mapping Ecosystem Services*, p. 318.
- Zariņa, A., Vinogradovs, I., & Šķiņķis, P. (2018). Towards (dis) continuity of agricultural wetlands: Latvia's polder landscapes after Soviet productivism. *Landscape Research*, 43(3), 455–469.