

## IŠ ORLAIVIO ATLIEKAMO LAZERINIO SKENAVIMO DUOMENŲ NAUDOJIMAS PRIVAČIŲ MIŠKŲ VERTEI NUSTATYTI

**Mindaugas LUKENSKAS**, Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Miškų ir ekologijos fakultetas, el. paštas: [mindaugas.lukenskas@gmail.com](mailto:mindaugas.lukenskas@gmail.com)

**Gintautas MOZGERIS**, Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Miškų ir ekologijos fakultetas, el. paštas: [gintautas.mozgeris@vdu.lt](mailto:gintautas.mozgeris@vdu.lt)

### Santrauka

Privačių miškų sklypinė inventurizacija yra nutrūkusi arba vykdoma epizodiškai rengiant vidinį miškotvarkos projektą. Valstybinis miškų kadastras privačiuose miškuose iš esmės neatnaujinamas. Privataus miško savininkui, investuotojui reikia miško vertę žinoti čia ir dabar. Duomenų spragai užpildyti panaudoti LiDAR technologijos pagalba patikslinti medynų tūriai, tiriamos šių duomenų naudojimo galimybės. Keliais būdais apskaičiuota ir palyginta medynų vertė, lyginti medynų vidutiniai aukščiai. Nustatyti skirtingų medžių rūšių verčių skirtumai pagal skersmenį, amžiaus klases. Nustatyti medynų vidutinio aukščio skirtumai.

**Reikšminiai žodžiai:** miško vertė, LiDAR, valstybinis miškų kadastras.

### Įvadas

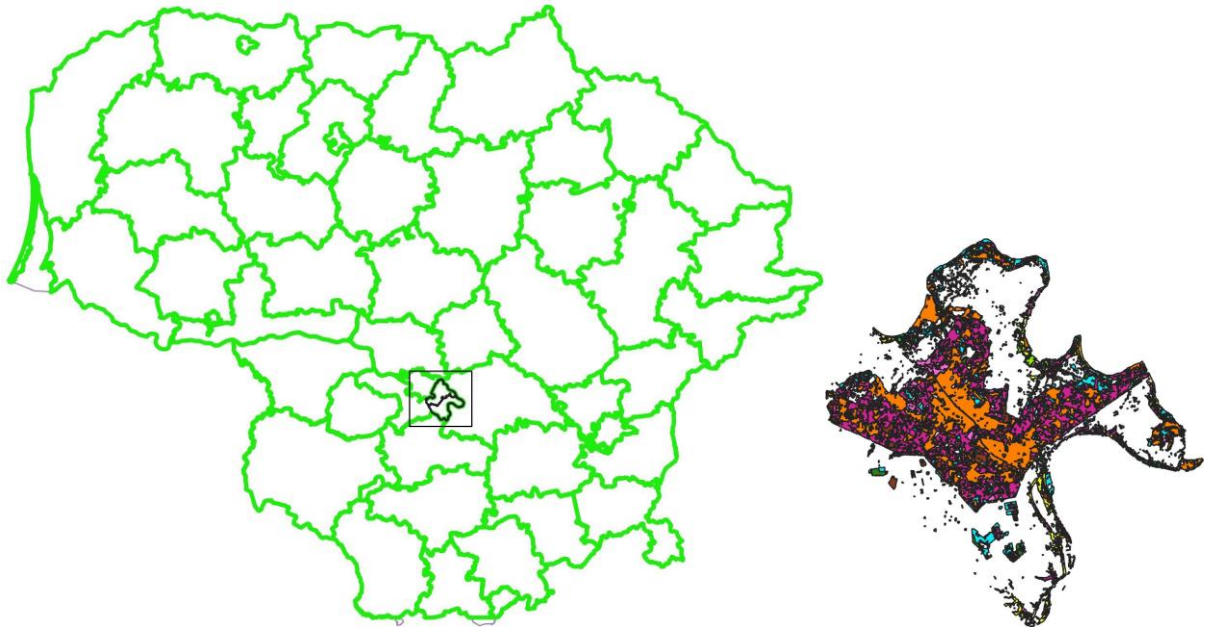
Miškas visuomet turėjo didžiulę ekonominę, socialinę ir ekologinę reikšmę. Šiuo metu pagrindinis duomenų apie miškus šaltinis yra sklypinė miškų inventurizacija bei nacionalinė miškų inventurizacija. Pastaroji daugiau skirta surinkti duomenims apie miškus visos valstybės mastu, gali būti naudojama miškų politikai formuoti ir panašiai, o ūkininkavimui atskiruose sklypuose nelabai tinkama. Pagal dabartinį teisinį reguliavimą ūkininkavimui vis dėlto reikalinga sklypinė miškų inventurizacija ir pagal ją parengtas vidinės miškotvarkos projektas. Sklypinė miškų inventurizacija vykdoma naudojant vizualinį su matavimo elementais metodą. Nuo praėjusio šimtmečio pradėjus naudoti aerofotonuotraukas ir kosminius vaizdus, galim laikyti, kad miškams tirti buvo pradėti taikyti nuotoliniai tyrimo metodai. Lyginant su praeityje taikytais vizualiniais ir instrumentiniais metodais nuotoliniai tyrimo metodai labai pagreitino inventurizacijos procesą. Paskutiniiais dešimtmečiais, atsiradus priemonėms ir nedideliems padėties nustatymo įtaisams, sklypų ribas tapo įmanoma nustatyti daug greičiau ir tiksliau. Bet sklypinė miškų inventurizacija labai priklauso nuo ją atliekančių žmonių pasirengimo, išsilavinimo, patirties. Didėjant darbo patirčiai, paklaidų santykinis kiekis mažėja (Červokas, 2015). Privačių miškų sklypinė inventurizacija buvo atliekama kas 10 metų, o valstybinėms miškų urėdijoms 2018 m. susijungus į vieną įmonę, visiškai nutrūko. Valstybinė įmonė „Valstybinių miškų urėdija“ ir toliau vykdo sklypinę ir nenutrūkstamą miškų inventurizaciją, bet inventurizuoja tik valstybinius miškus. Aplinkos ministerija nebeskelbia pirkimų privačių miškų inventurizacijai atlikti. Dabar privatūs miškai inventurizuojami tik rengiant vidinį miškotvarkos projektą, o miškų kadastro duomenys iš esmės neatnaujinami. Miškų inventurizacijos duomenys iš patvirtinto privačių miškų vidinės miškotvarkos projekto perkeliama į miškų kadastrą tik parašius prašymą Valstybinės miškų tarnybos miškų kadastro skyriui. Pagal 2020 m. sausio 1 d. Nekilnojamojo turto registro duomenis, Lietuvoje vidutinė privataus miško valda tesiekė 2,76 ha (amvmt.lt). Didžioji dalis smulkiųjų miško savininkų naudoti mišką jį kirsdami gali ir be miškotvarkos projekto – iki 3ha dydžio valdai jis nėra privalomas, panaudojama sena inventurizacija arba ruošiant biržę miškas matuojamas ištisinio matavimo būdu. Privataus miško savininkas nėra įpareigotas įstatymu periodiškai atlikti turimo miško inventurizacijos, tačiau bet kuriam investuotojui, valdytojui reikia žinoti aktualią miško vertę dabar, todėl reikia ieškoti alternatyvių informacijos apie miškus šaltinių. Poreikis tobulinti miškų inventurizacijos metodus siejamas su didėjančia informacijos apie miškus svarba priimant optimalius miško auginimo ir miško naudojimo sprendimus, optimizuojant daugiatislijo miško naudojimo uždavinius (Kuliešis et al., 2010). Lazerinis skenavimas (LiDAR) šiuo metu yra viena perspektyviausių miškų inventurizacijos duomenims surinkti technologijų, sėkmingai taikoma Šiaurės šalyse. LiDAR technologija – specialus prietaisas, įmontuotas orlaivyje, siunčia į žemę lazerio pulsus, kurie, atsispindėję nuo paviršiaus, grįžta atgal, o pagal laiko trukmę nuo išspinduliavimo iki grįžimo atgal sužinomas atstumas iki paviršiaus. GPS ir INS (inercinės sistemos) pagalba sužinome tikslią orlaivio padėtį impulso metu ir lazerio spindulio kryptį. Taip nustatoma tiksli paviršiaus, nuo kurio atsispindėjo lazeris, koordinatė. Mūsų šalyje buvo įgyvendinta keletas projektų, kurių metu surinkti LiDAR duomenys. Tai 2007m. Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos užsakytu padaryta Vilniaus, Kauno, Marijampolės, Alytaus, Klaipėdos, Tauragės, Telsių, Šiaulių, Panevėžio ir Utenos LiDAR nuotrauka. Gautieji lazerio impulsų taškų aukščių standartinių nuokrypių nuo geodezinių reikšmių įverčiai yra 0,005–0,11m (Žalnierukas et al.,

2009). Darbas buvo skirtas sukurti trimačius erdvinius miestų modelius. Lietuvoje lazerinis skenavimas miškų tyrimų tikslais vykdytas 2008 m. Dubravos regioninio padalinio Vaišvydavos ir Šilėnų girininkijose. Bendras medyno tūris tyrimo objekte – pagrindinio naudojimo kirtimams paruošose biržėse Dubravos miške – nustatytas lazerinio skenavimo duomenų pagrindu ir tiesiogiai vertinant visame biržės plote, skyrėsi nuo rodiklio, gauto ištinio medžių matavimo būdu, – 0,9 %, o vidutinis medyno tūris 1 ha – 0,1% (Bikuvienė, 2012). Ši technologija turi didžiulį potencialą greitai surinkti ir atnaujinti informaciją apie miškų charakteristikas, taip pat apie jų vertę. Naujausia nuotolinių metodų technologija – lazerinis skenavimas, pasižymi aukšta surenkamų duomenų kokybe (Bikuvienė, 2012). LiDAR pagalba galima operatyviai gauti duomenis apie medžių aukštį, jų skaičių ploto vienetu, lajų dydį, defoliaciją. Taip pat LiDAR technologija leidžia šiuos parametrus gauti greitai ir didelėje teritorijoje.

**Darbo tikslas** – ištirti iš orlaivio atliekamo lazerinio skenavimo duomenų naudojimo miškų vertei operatyviai nustatyti galimybes. Tam tikslui pasiekti reikia palyginti miško vertes, nustatytas tik iš valstybinio miškų kadastro duomenų, ir vertes, nustatytas remiantis LiDAR duomenimis.

## Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimo objektas – Valstybinės miškų urėdijos Dubravos regioninio padalinio Dubravos miško medynų vertė. Dubravos miškas apima dalį Vaišvydavos ir Šilėnų girininkijų, yra centrinėje šalies dalyje, išsidėstęs Nemuno vidurio plynaukštėje. Dubravos miško geografinė padėtis ~24° 4' rytų ilgumos ir 54° 50' šiaurės platumos (1 pav.).



**1 pav.** Tyrimo objektas: Dubravos miško geografinė padėtis, paryškintos Šilėnų ir Vaišvydavos girininkijos; Šilėnų ir Vaišvydavos girininkijų medynų vertė. Žalios linijos – Valstybinės įmonės „Valstybiniu miškų urėdija“ regioninių padalinių ribos

Orlaivio skridimo aukštis 1500 m, lazerio pulso išspinduliavimo dažnis 70 kHz, gauta daugiau kaip du atspindžiai /1m<sup>2</sup>. Iš viso atlikta 11 skrydžio maršrutų, praktiškai padengiančių Dubravos miško teritoriją, skenavimo juostos vietovėje plotis – 1092 m. Pirminių duomenų apdorojimą atliko vykdytojai Blom Kartta Oy. Jį sudarė GPS/INS atskaitų apdorojimas, lazerinio skenavimo taškų masyvo sukūrimas, per aukštų ir per žemų atspindžių filtravimas iš taškų masyvo, atspindžių nuo žemės paviršiaus atskyrimas iš visų lazerio skenavimo taškų masyvo, koordinacių sistemų perskaičiavimas, aukščio skirtumo modelių sukūrimas. LiDAR duomenų pagrindu sukurti žemėlapiai, kur visa teritorija suskirstyta į 25x25 m kvadratus, o kiekvienam kvadratui pagal H2020 projekto „MySustainableForest“ metodiką nustatytas bendras medyno tūris 1ha. Vyraujanti medžių rūšis nustatyta pagal Sentinel2 ir WorldView kosminius vaizdus, gauti iš H2020 projekto „MySustainableForest“ (vykdė Lietuvos miško ir žemės savininkų asociacija). Iš šių duomenų naudotas patikslintas medynų tūris, iš valstybinio miškų kadastro naudota vyraujanti medžių rūšis, skersmuo ir medynų tūris. Medynų vertė apskaičiuota pagal skersmenį Excel pagalba dviem būdais pagal formulę:

$$K_r = a_0 + a_1 \times Dr + a_2 \times D_r^2 \quad (1)$$

čia  $K_r$  – medyno vertė r rūšims;  $a_0$ ,  $a_1$  ir  $a_2$  parametrai, apibrėžiantys santykį tarp medienos kainos, medžių rūšies ir skersmens (1 lentelė).

Pirmam būdai naudoti tokie valstybinio miškų kadastro duomenys: vyraujanti medžių rūšis, skersmuo ir lha tūris. Antram būdai naudoti šie duomenys: vyraujanti medžių rūšis ir skersmuo iš valstybinio miškų kadastro, o lha tūris patikslintas pagal LiDAR (3 lentelė). Vertės pagal skersmenį formulė paimta iš straipsnio „Protection on Special Protectio Areas“ ( autoriai Mozgeris,G., Treinys, R. ir Činga, G.,2015).

**1 lentelė.** Parametrai, apibrėžiantys santykį tarp medienos kainos pagal medžių rūšis ir skersmenį

Rūšis	a2	a1	A 0
P	-0.112	8.0935	-40.161
E	-0.0847	6.7595	-29.049
B	-0.0821	6.7511	-33.619
J	-0.0466	3.8786	-9.2487

Buvo palyginti medyno aukščiai, nustatyti LiDAR pagalba, su tų metų aktualizuotais miškų kadastro duomenimis. Medynų vertei nustatyti nenaudoti duomenys, nenustatyti LiDAR pagalba ir kurie yra visiems nustatymo būdams tokie patys, t. y. augavietės. Dėmesys akcentuotas į medynų tūrį.

**2 lentelė.** Dviem būdais apskaičiuota vertė eur/ha

Skersmuo, cm	P		E		B		J	
	Vmi	LiDAR	Vmi	LiDAR	Vmi	LiDAR	Vmi	LiDAR
12	1751.929	2102.245	5184.043	6447.597	1387.475	2507.035	1932.764	3954.036
14			5557.512	5653.32	5487.746	7179.442	3542.765	3983.035
16	3102.677	3258.768	7236.228	7135.969	7175.29	18127.3	6764.749	12552.6
18	4330.635	5827.944	6919.575	7592.661	5392.772	6332.935	5553.795	6532.603
20	9590.043	11673.9	6655.296	7231.825	9336.085	12193.92	15789.19	18068.93
22	9536.046	11369.78	6526.815	6579.533	25018.28	31112.4	15222.89	19957.47
24	8916.493	11515.87	8197.235	8760.544	9816.338	12287.14	5114.363	4917.679
26	6878.082	7249.822	12015.91	12620.86	13523.54	18109.02	8614.401	10663.68
28	10489.02	11241.42	12384.24	13381.5	15571.3	19070.33	13108.05	13964.95
30	9718.825	10093.74	12736.6	14426.23	10607.87	13084.46	9520.352	8098.16
32	14933.72	15245.47	11209.03	13256.8	10214.74	12361.73		
34	11270.06	12442.94	13910.73	15692.96				
36	9995.24	10083.53	21236.23	24512.24				
38	9940.837	10859.26	13155.46	14180.77				
40	14176.64	15481.85						
42	20163.34	18356.63						
44	47634.46	41697.74						
46	35337.3	34708.79						
54	99734.22	104119.8						

Pastaba. Vmi – tik miškų kadastro duomenys, LiDAR –tūris, patikslintas lazerinio skenavimo duomenimis

## Rezultatai ir jų aptarimas

Didžiausi vertės skirtumai amžiaus klasėse yra beržynuose, siekia 58 % šeštoje amžiaus klasėje (3 lentelė).

**3 lentelė.** Vertės, apskaičiuotos dviem būdais, skirtumai % amžiaus klasėse

Vertės skirtumai % pagal amžiaus klases				
Amžiaus klasė	Medžių rūšis	Vertė MK	Vertė LiD	Skirtumas %
6	B	25138.4	39731.0	58
7	B	28696.7	44189.2	54
5	B	18651.3	28251.9	51
8	B	37560.5	56618.0	51
10	B	12976.9	18520.3	43
4	B	15792.7	22180.5	40
9	B	15814.7	21844.7	38
11	B	18296.5	24054.1	31

Pastaba. MK – tik miškų kadastro duomenys, LiD – tūris, pakoreguotas pagal LiDAR

Medynų vertė, nustatyta pagal LiDAR patikslintą medynų tūrį, lyginant su verte, nustatyta iš miškų kadastro duomenų, visų nagrinėtų rūšių vidutiniškai yra didesnė nuo 8 iki 42 %. Pušynų ir eglynų skirtumas buvo atitinkamai 8 ir 9 %, o beržynų ir juodalksnynų atitinkamai 42 ir 28 %. Didžiausias skirtumas procentais nustatytas 12–16 cm

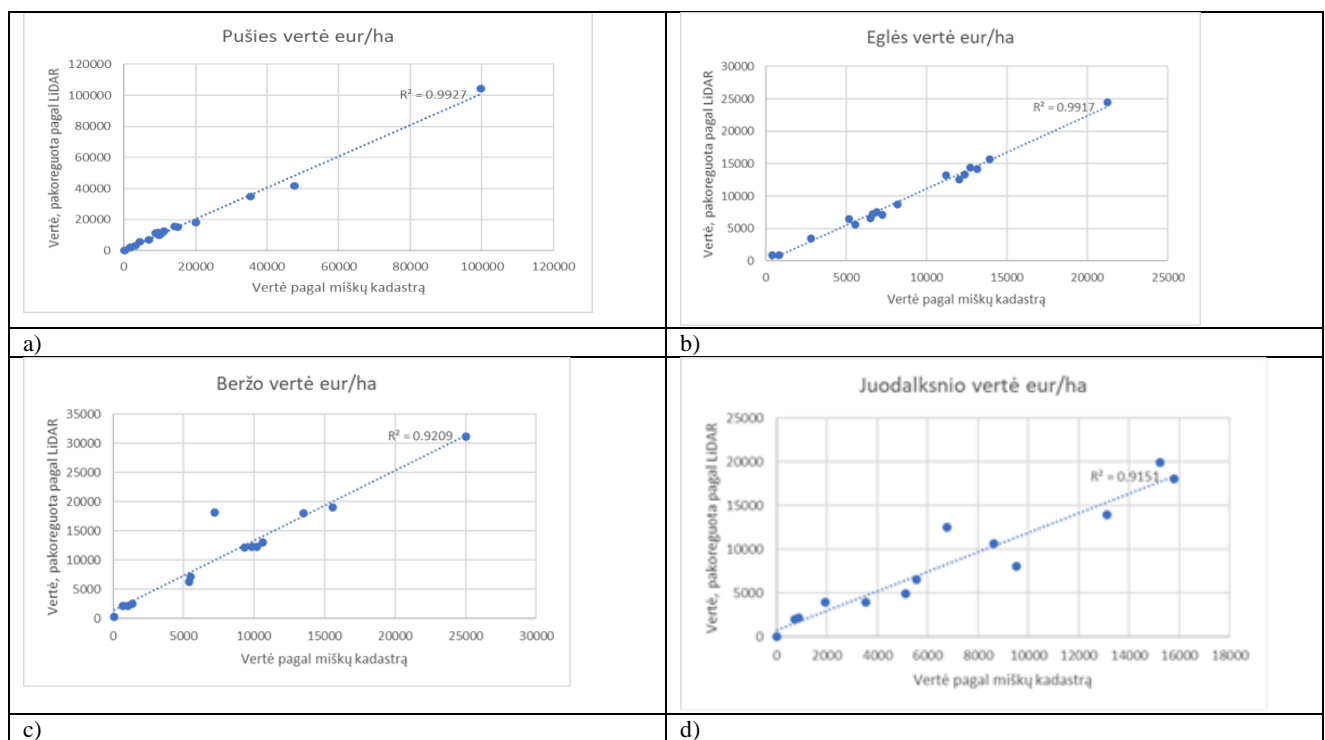
skersmens beržynų ir juodalksnyų, siekė 153 %. 18– Taip pat dideli skirtumai buvo 24 cm skersmens pušynų (4 lentelė.).

**4 lentelė.** Vertės, apskaičiuotos naudojant LiDAR pakoreguotą tūrį, skirtumas procentais nuo vertės, apskaičiuotos tik iš valstybės miškų kadastro duomenų.

Skersmuo cm	P	E	B	J
12	20	24	81	105
14	0	2	31	12
16	5	-1	153	86
18	35	10	17	18
20	22	9	31	14
22	19	1	24	31
24	29	7	25	-4
26	5	5	34	24
28	7	8	22	7
30	4	13	23	-15
32	2	18	21	
34	10	13		
36	1	15		
38	9	8		
40	9			
42	-9			
44	-12			
46	-2			
54	4			
<b>Vid. skirtumas %</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>42</b>	<b>28</b>

Pastaba. P – pušynai, E – eglynai, B – beržynai ir J – juodalksnynai

Lyginant vertę, pakoreguotą pagal LiDAR, su verte iš miškų kadastro duomenų, visais atvejais pakoreguota vertė buvo didesnė (2 pav.).



**2 pav.** Pagrindinių medžių rūšių vertė, gauta panaudojus miškų kadastro ir pakoreguotus pagal LiDAR duomenis a) pušies vertė; b) eglės vertė; c) beržo vertė; d) juodalksnio vertė

LiDAR pagalba nustatytų aukščių, lyginant su miškų kadastro duomenimis, leistina paklaida svyravo nuo 23 iki 45 % priklausomai nuo bendro atskirų medžių rūšių ploto. Kuo mažesnis aukštis lyginamas, tuo mažiau medynų ploto o

buvo nustatyta leistina paklaida. Lyginant didesnius nei 20 m aukščius, daugiau nei pusės medynų paklaida buvo leistina, o . 10 m aukščio – mažiau nei 50 % medynų (5 lentelė).

**5 lentelė** Vidutinio aukščio (H) nustatymo paklaida lyginant su VMT kadastro duomenimis

a)

Vidutinio aukščio (H) nustatymo paklaida lyginant su VMT kadastro duomenimis						
	Plotas iš viso ha	Plotas su leistina paklaida ha H paklaida	Leistinos paklaidos ploto dalis %	Plotas, kai H >10 m ha	Plotas, kai H >10 m leistina paklaida	Leistinos paklaidos ploto dalis %
P	2.248	1.013	45	2.010	1.013	50
E	2.461	889	36	2.021	889	44
B	534	206	39	441	206	47
J	437	101	23	287	101	35

b)

Vidutinio aukščio (H) nustatymo paklaida lyginant su VMT kadastro duomenimis						
	Plotas iš viso ha	Plotas su leistina paklaida ha	Leistinos paklaidos ploto dalis %	Plotas, kai H >20 m ha	Plotas, kai H >20 m leistina paklaida	Leistinos paklaidos ploto dalis %
P	2.248	1.013	45	1.513	930	61
E	2.461	889	36	1.472	849	58
B	534	206	39	307	189	62
J	437	101	23	157	85	54

Pastaba. a) aukštis >10m, b) aukštis >20m

Absoliuti svartinė aukščio paklaida mažiausia pušynuose ir beržynuose (6 lentelė).

**6 lentelė** Absoliuti aukščio paklaida metrais

Absoliuti svartinė aukščio paklaida m		
	H >10 m	H >20 m
J	4,06	4,62
B	1,24	1,82
E	2,85	3,60
P	0,72	0,96

Pastaba. P – pušynai, E – eglynai, B – beržynai ir J – juodalksnynai

## Išvados

Beveik visų nagrinėtų pagrindinių medžių rūšių medynų vertė, nustatyta naudojant LiDAR duomenis, buvo didesnė nei naudojant tik miškų kadastro duomenis. Mažesnė vertė gauta tik didesnę vidutinį skersmenį turinčiuose medynuose. Didesni skirtumai gauti lapuotynuose ir visų medžių rūšių jaunuolynuose. Jaunuolynuose skirtumai galėjo atsirasti dėl naudotų aktualizuotų miškų kadastro duomenų – greičiausiai juos aktualizuojant nepakankamai „priauginamas“ aukštis, ir dėl sklypinės inventorizacijos ypatumų, kai naudojamas tik vizualinis metodas. Taip pat mažesnio skersmens medynuose inventorizuojant beveik niekada nenaudojamas supaprastintas atrankinis instrumentinis metodas, greičiausiai dėl nepakankamai tikslios taksacijos ir gaunami tokie skirtumai. Supaprastinto atrankinio instrumentinio metodo pasirinkimą medynų inventorizacijoje lemia ir medynų amžius, galbūt dėl to, pavyzdžiui, 24 cm skersmens pušynuose vertės skirtumai didesni nei to paties skersmens beržynuose (beržynai prastesnėse augavietėse tokio skersmens būna tik brandos amžiuje ir tada šį metodą naudoti privaloma). Pušynuose ir eglynuose nustatyti ne didesni nei 10 % vidutiniai verčių skirtumai, taiga paklaida leistina, naudojama vertinti sklypinės miškų inventorizacijos kokybei, taigi LiDAR duomenys tokiuose medynuose yra naudotini. Lapuočių medynuose gaunami verčių skirtumai per dideli, kad juos būtų galima naudoti.

## Literatūra

1. Mozgeris, G., Treinys, R. ir Činga, G. 2015. Comprehension of Conservation Cost in the Context of Wood Economy: a Case Study on Lesser Spotted Eagle Protection on Special Protection Areas. *Baltic Forestry*, Vol. 21(1), p. 28–37.
2. Bikuvienė, I. 2012. Miškų inventorizacijos teorinis ir praktinis tobulinimas, naudojant lazerinį skenavimą. *LŽŪU daktaro disertacija*.
3. Kuliešis, A., Kulbokas, G., Kasperavičius, A., Kuliešis, A.A., 2010. Miškų inventorizacijos Sistema ir jos tobulinimas pagal intensyvios miškininkystės reikmes. *Miškininkystė*, Vol. 2 (68), p.61–67.
4. Červokas, G. 2015. Sklypinės miškų inventorizacijos lauko darbų kokybės vertinimas ir analizė. *Jaunasis mokslininkas-2015*, p.14–18.
5. Žalnieriukas, A., Ruzgienė, B., Kalantaitė, A., Valaitienė, R., 2009. Miestų skenavimo lidar metodu tikslumo analizė. *Geodezija ir kartografija*, Vol. 35 (2), p. 55–60.
6. [http://www.amvmt.lt/images/veikla/stat/Privaciu\\_misku\\_statistika/2020\\_01\\_01/1.KS\\_sav.pdf](http://www.amvmt.lt/images/veikla/stat/Privaciu_misku_statistika/2020_01_01/1.KS_sav.pdf)

## USE OF LASER SCANNING DATA FROM AIRCRAFT TO DETERMINE THE VALUE OF PRIVATE FORESTS

### Summary

The plot inventory of private forests has been interrupted or carried out episodically during the preparation of the internal forest management plan. The state forest cadastre in private forests is not substantially updated. A private forest owner, an investor, needs to know the value of the forest here and now. To fill the data gap, use the help of LiDAR technology, revised in the field of media tourism, to study the possibilities of using this data.

**Keywords:** forest value, LiDAR, state forest cadastre.