

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

MINERALINIŲ MEDŽIAGŲ MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAI, ANALIZĖ IR VERTINIMAS

Lina ŠNEIDERAITIENĖ*, Daiva ŽILIONIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. kovo 19 d.; priimta 2018 m. balandžio 2 d.

Santrauka. Dvi Baltijos šalys, Lietuva ir Latvija, asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti naudoja asfalto mišinius su granito skalda, kuri importuojama iš kitų šalių, o tai gana brangu. Vienas iš reikalavimų mineralinėms medžiagoms, naudojamoms kelių tiesyboje, yra mechaninės savybės. Jos minėtose šalyse pagal nacionalinius normatyvinius reikalavimus šiek tiek skiriasi. Straipsnyje pateikti mineralinių medžiagų mechaninių savybių nustatymo bandymo metodų aprašai. Pagal juos atlikti skaldų mechaninių savybių bandymai: atsparumas smūgiams, trupinimui, dėvėjimuisi, poliruojamumui (LST EN 1097-8:2009. Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 8 dalis. Akmens poliruojamumo nustatymas) bei dygliuotoms padangoms. Ištirtos skaldos yra Lietuvos dolomito karjero skalda, pagaminta pagal patobulintą ir įprastą technologijas, bei granito skalda iš Ukrainos. Atlikta gautų bandymų rezultatų analizė bei vertinimas pagal Lietuvos ir Latvijos reikalavimus mineralinėms medžiagoms.

Reikšminiai žodžiai: atsparumas smūgiams, trupinimui, dėvėjimuisi, poliruojamumui bei dygliuotoms padangoms, dolomitas, granitas, mechaninės savybės.

Įvadas

Automobilių kelių tinklą Lietuvoje sudaro 85 tūkst. km. kelių, 73 tūkst. km. Latvijoje, jie nuolatos tobulinami, kad būtų ne tik saugūs, bet ir ekonomiškai naudingi. Kelių tiesyboje naudojamos gamtinės ir dirbtinės, organinės ir neorganinės kilmės medžiagos. Viena iš pagrindinių kelių tiesybos medžiagų yra mineralinės medžiagos. Asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti naudojami asfalto mišiniai su granito skalda, kuri importuojama iš kitų šalių, o tai pakelia kainą, nors Baltijos šalys turi šimtus milijonų tonų vietinių mineralinių medžiagų (Gulevičs, Bashkite ir Iskūl, 2010; Šernas, Vorobjovas, Šneideraitienė ir Vaitkus, 2016). Parenkant mineralinės medžiagos rūšį atsižvelgiama į medžiagos fizikinių ir mechaninių savybių atitiktį normatyvinių techninių dokumentų reikalavimams (Vorobjovas, Šernas, Žilionienė, Šneideraitienė ir Filotenkovas, 2017). Pagal galiojančius Europos Sąjungos standartus, statybinių biriųjų mineralinių medžiagų (skaldos, žvyro ir pan.) savybės suskirstytos į 5 grupes, kurias apibūdina skirtingi, kiekvienai grupei būdingi, medžiagos savybių nustatymo būdai (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006):

- fizikinės savybės (savitasis tankis, piltinis tankis, tūrinis tankis, poringumas, vandens įgeriamumas, brinckimas, traukimasis ir pan.);

- mechaninės savybės (stiprumas, atsparumas smūgiams, dėvėjimuisi, tamprumas, skalumas ir pan.);
- geometrinės savybės (granulimetrinė sudėtis, smulkiųjų dalelių kiekis, dalelių paviršiaus forma ir pan.);
- cheminės savybės (cheminė sudėtis, atsparumas cheminiams poveikiams, sąveika su aplinka, tirpumas ir pan.);
- savybės, apibūdinančios ilgą amžių išlikimą (atsparumas šalčiui, atsparumas dulėjimui ir kitiems atmosferos poveikiams ir pan.).

Kelių statyboje naudojamos vietinės mineralinės medžiagos, kurių mechaninės ir fizikinės savybės nustatomos pagal europinių bandymų standartų reikalavimus (Dagilienė ir Mykolaitienė, 2012; Gulevičs et al., 2010; Karu, Notton, Gulevičs, Valgma ir Rahe, 2015; Klizas, Gadeikis ir Žilionienė, 2015; Skrinskas, Gasiūniene, Laurinavičius ir Podagėlis, 2010; Šneideraitienė, Stasytis ir Žilionienė, 2016). Dėl greito kelių statybinių medžiagų kainų augimo atsiranda būtinybė ieškoti naujų pigesnių galimybių naudoti vietines medžiagas ir jų mišinius kelių, gatvių tiesimo, rekonstravimo ir remonto darbuose (Aavik, 2006; Cygas, Laurinavičius ir Skrinskas, 2005; Gulevičs et al., 2010).

*Autorius susirašinėti. El. paštas lina.sneideraitiene@vgtu.lt

Viena iš mineralinių medžiagų, naudojamų kelių tiesyboje, yra dolomito skalda (Haritonovs ir Tihonovs, 2014; Šernas et al., 2016; Vaitkus ir Vorobjovas, 2015). Pastaruoju metu taikant specialiąsias kasimo technologija Lietuvoje išgaunama stipresnė dolomito skalda, kurios mechaninės savybės panašios į granito (Šernas et al., 2016).

Nustatant mineralinių medžiagų tinkamumą automobilių keliams tiesti reglamentuojamos ir nustatomos ne visos medžiagų savybės, o tik turinčios įtaką kelio konstrukcijos ilgaamžiškumui, tinkamam eismo dalyvių saugumo užtikrinimui. Šneideraitienės ir Žilionienės (2017), Vaitkaus, Vorobjovo, Kleizienės, Šerno ir Gražulytės (2017), Vorobjovo, Šerno, Žilionienės, Šneideraitienės ir Filotenkovo (2017) teigimu, šiuo metu pagrindinės Lietuvoje kelio dangos konstrukcijose naudojamų mineralinių medžiagų mechaninės savybės: atsparumas smūgiams (toliau – angl. *SZ*), atsparumas trupinimui (toliau – angl. *Los Angeles coefficient (LA)*), atsparumas poliruojamumui (toliau – angl. *Polished Stone Value (PSV)*). Mechaninė mineralinių medžiagų savybė atsparumas dėvėjimuisi (M_{DE}) buvo 2007 metais galiojusiame Lietuvoje TRA MIN 07 (TRA MIN 07, 2007). Latvijoje kelių tiesyboje naudojamų mineralinių medžiagų mechaninės savybės: atsparumas trupinimui (*LA*), atsparumas dygliuotoms padangoms (A_N) (Haritonovs ir Tihonovs, 2014; Izaks, Haritonovs, Klasa ir Zaumanis, 2015). Pagal Lietuvoje ir Latvijoje galiojančius normatyvinius dokumentus, mineralinių medžiagų mechaninių savybių reikalavimai ir kategorijos pateiktos 1 lentelėje.

Straipsnio tikslas – atlikti Lietuvoje pagamintų dviejų dolomito skaldų ir importuojamo granito skaldos iš Ukrainos mechaninių savybių bandymus. Pagal europinių standartų reikalavimus ištirti atsparumą smūgiams, trupinimui, dėvėjimuisi, poliruojamumui bei dygliuotoms padangoms. Gautus bandymų rezultatus įvertinti pagal Lietuvos ir Latvijos valstybių kelių tiesimo mineralinių medžiagų mechaninėms savybėms keliamus reikalavimus.

1. Mineralinių medžiagų mechaninių savybių bandymų metodai

Pagal galiojančius Europos Sąjungos standartus, statybinių birijų mineralinių medžiagų (skaldos, žvyro) *mechaninės savybės* (stiprumą, atsparumą smūgiams, dėvėjimuisi, tamprumą, skalumą) apibūdina skirtingi, kiekvienai grupei būdingi, medžiagos savybių nustatymo būdai (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006).

1.1. Atsparumas trupinimui (*LA*)

Los Andželo koeficientas nustatomas pagal standarto LST EN 1097-2:2010 5 skyriaus reikalavimus.

Atliekant bandymą, kai nustatomas atsparumas trupinimui, skaičiuojamas Los Andželo (*LA*) koeficientas. Jį apibūdina liekana ant 1,6 mm sieto, kuri susidaro po bandymo. Bandymo metu medžiaga padedama į metalinį būgną kartu su metaliniais (plieniniais) rutuliais ir sukama ratu. Šiame procese bandinys veikiamas ne tik smūginės jėgos, bet ir trinties tarp metalinių rutulių bei vidinių būgno sienelių.

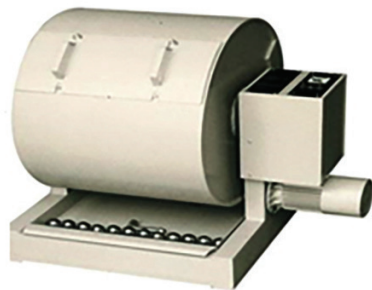
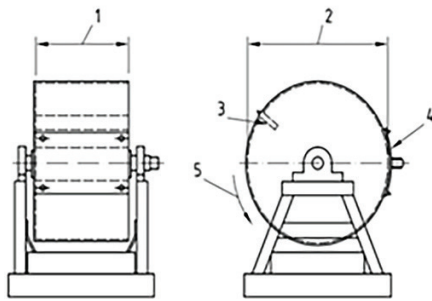
Bandymui atlikti reikalinga įranga susideda iš: ventiliuojamos krosnies, kuri skirta bandiniui išdžiovinti, svarstyklių bandiniui pasverti, bandinių plovimo įrangos, sietų rinkinio, kuris parenkamas pagal tiriamą medžiagos frakciją, ir Los Andželo bandymų įrenginio (1 paveikslas) su šratais.

Atliekant bandymą, naudojant sietus atrenkama ne mažiau kaip 15 kg medžiagos, kurios grūdelių dydis nuo 10 mm iki 14 mm (pagal LST EN 1097-2:2010 standarto B priedo 1 lentelę galima parinkti kitas frakcijas). Medžiagos atskiriamos į dvi frakcijas: 10/11,2 ir 11,2/14, bendra bandinio masė – 5000 g. Nesumaišant šių medžiagų tarpusavio frakcijų, jos, vadovaujantis atitinkamais standartais, švariai nuplaunamos, išdžiovinamos ventiliuojamoje krosnyje ir padedamos į švarų Los Andželo įrenginio būgną. Atskirai padedama medžiaga ir 11 metalinių rutulių, kurių bendra masė 4690–4860 g. Užsandarintas būgnas paleidžiamas suktis apie savo ašį 500 kartų 31–33 min⁻¹

1 lentelė. Mineralinių medžiagų mechaninių savybių reikalavimai ir kategorijos
Table 1. Requirements and categories for mechanical properties of aggregates

Reikalavimai	Atsparumas trupinimui		Atsparumas smūgiams		Atsparumas dėvėjimuisi*		Atsparumas poliruojamumui		Atsparumas dygliuotoms padangoms	
	vertė	kategorija	vertė, %	kategorija	vertė, %	kategorija	vertė, %	kategorija	vertė, %	kategorija
TRA MIN 07, 2007 (Lietuva)	≤20	LA ₂₀	≤18	SZ ₁₈	≤15	M _{DE} 15	≤44	PSV ₄₄	–	–
	≤25	LA ₂₅	≤22	SZ ₂₂	–	–	≤48	PSV _{deklar. (48)}	–	–
	≤30	LA ₃₀	≤26	SZ ₂₆	–	–	≤50	PSV ₅₀	–	–
Ceļu specifikācijas, 2017 (Latvija)	≤20	LA ₂₀	–	–	–	–	–	–	≤10	A _N 10
	≤25	LA ₂₅	–	–	–	–	–	–	≤14	A _N 14
	≤30	LA ₃₀	–	–	–	–	–	–	≤19	A _N 19
	≤40	LA ₄₀	–	–	–	–	–	–	≤30	A _N 30

Pastaba: *TRA MIN 07 2007 pirmasis leidimas.



1 – būgno ilgis; 2 – būgno skersmuo; 3 – lentyna bandiniui maišyti; 4 – anga ir dangtis; 5 – sukimosi kryptis

1 paveikslas. Los Andželo mašina (LST EN 1097-2:2010)
Figure 1. Los Angeles machine (LST EN 1097-2:2010)

greičiu. Po bandymo visos medžiagos dalelės išimamos iš būgno ir naudojant 1,6 mm sietą plaunamos po tekančiu vandeniu. Ant sieto likusi medžiaga išdžiovinama ir sveriama.

LA koeficientui apskaičiuoti taikoma (1) formulė:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}, \quad (1)$$

čia m – masė medžiagos, likusios ant 1,6 mm sieto, g.

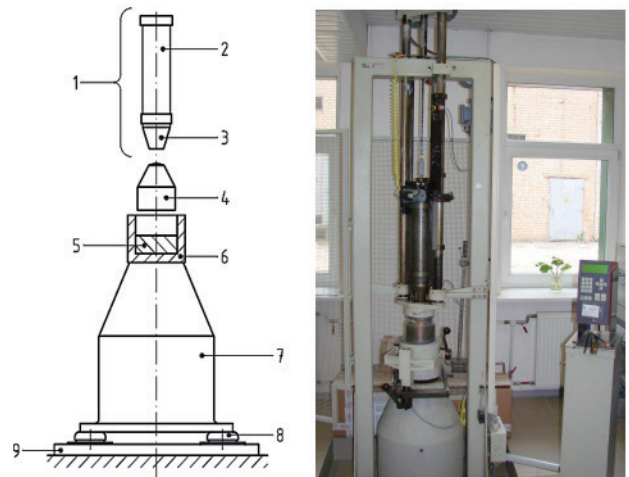
Gautas LA koeficiento rezultatas suapvalinamas iki sveikojo skaičiaus, be matavimo vienetų.

1.2. Atsparumo smūgiams SZ

Atsparumas smūgiams nustatomas pagal standarto LST EN 1097-2:2010 6 skyriuje pateiktą metodiką. Pagal šį standarto skyrių bei su juo susijusius priedus nustatomas mineralinių medžiagų atsparumas smūgiams.

Bandymui atlikti reikalinga įranga susideda iš: ventiliuojamos krosnies, kuri skirta bandiniui išdžiovinti, svarstyklių bandiniui pasverti, bandinių plovimo įrangos, sietų rinkinio, kuris susideda iš 8 mm, 10 mm, 11,2 mm ir 12,5 mm akelių dydžio sietų, bei atsparumo smūgiams nustatymo įrenginio (2 paveikslas).

Bandymo metu, kai nustatomas atsparumas smūgiams, bandinys veikiamas smūgine jėga. Visų pirma paruošiamas 5 kg bandinys, kurį sudaro išplauta ir išdžiovinta medžiaga. Naudojant sietus bandomoji medžiaga išskirstoma į frakcijas – 8/10, 10/11,2 ir 11,2/12,5, iš kurių sudaromi mažiausiai 3 bandiniai. 8/11,2 frakcijos mišinys susideda iš 50 % – 8/10 frakcijos dalelių, 25 % – 10/11,2 frakcijos dalelių



1 – krintantis kūjis; 2 – kamienas; 3 – galva; 4 – grūstuvai; 5 – bandinys; 6 – mortyra; 7 – priekalas; 8 – slopintuvai; 9 – pagrindas

2 paveikslas. Atsparumo smūgiams (SZ) nustatymo įrenginys (LST EN 1097-2:2010)

Figure 2. Impact Resistance (SZ) setup device (LST EN 1097-2:2010)

ir 25 % – 11,2/12,5 frakcijos dalelių. Bandinys, sudarytas iš visų 3 dalių, turi būti gerai sumaišytas, bandinio masė kilogramais turi būti 0,5 dalelių tankio megagramais kubiniam metrui dalelių tankio vertės, kuri nustatoma pagal EN 1097-6. Atskirų frakcijų bandinių masė kilogramais:

- nuo 8 mm iki 10 mm frakcijos užpildų kiekis turi būti 0,25 dalelių tankio dalis;
- frakcijos nuo 10 mm iki 11,2 mm turi būti 0,125 dalelių tankio dalis;
- frakcijos nuo 11,2 mm iki 12,5 mm turi būti 0,125 dalelių tankio dalis.

Paruošti bandiniai dedami į metalinį cilindro formos indą (motyrą). Bandinys įstatomas į atsparumo smūgiams nustatymo įrenginį (2 paveikslas), ant jų įtaisomi grūstuvai ir smūgiuojami 10 kartų 50 kg masės kūju (plūktuvu). Kūjis pakeliamas iki 370 mm aukščio ir paleidžiamas kristi laisvai, be pradinio pagreičio.

Po 10 smūgių bandinys su visa motyra išimamas iš įrenginio. Smūginės jėgos paveikta medžiaga kruopščiai išvaloma iš motyro, pasveriam ir siojama per 5 sietų rinkinį, kurį sudaro 0,2 mm, 0,63 mm, 2 mm, 5 mm ir 8 mm sietai. Ant kiekvieno sieto (ir dugno) likusi medžiaga pasveriam. Apskaičiuojama bendra masė ant visų sietų, ji išreiškiama procentais ir žymima M . Taip pat įvertinama, ar medžiagos nuostolis prieš siojimą ir po jo neviršija 0,5 % nuo bendros bandinio masės. Tiriamų birųjų nerūdinių mineralinių medžiagų atsparumas smūgiams apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$SZ = \frac{M}{5}, \quad (2)$$

čia M – išbirų per 5 analitinius sietus masės dalių suma procentais.

1.3. Akmens poliruojamumas

LST EN 1097-8:2009 standartas reglamentuoja akmens poliruojamumo (PSV) reikšmės nustatymą. Šiuo bandymo metodu gauta reikšmė rodo užpildo dalelių atsparumą poliruojamumui, sukuriant vienodas sąlygas, atsirandančias dėl transporto priemonės padangos ir dangos užpildo dalelių tarpusavio sąveikos – trinties jėgos.

Bandymas su dalelėmis, kurių frakcija yra nuo 7,2 mm iki 10 mm, atliekamas dviem etapais:

1. bandinys veikiamas poliravimo įrenginiu;
2. matuojama gauto bandinio trintis ir apskaičiuojama PSV reikšmė.

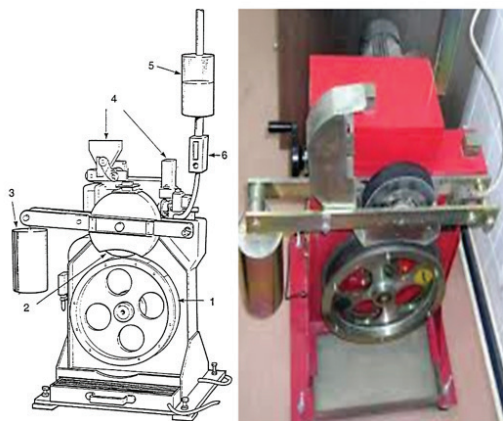
Bandymui atlikti reikalingi du įrenginiai: poliravimo mašina (3 paveikslas) ir trinties matavimo prietaisais (4 paveikslas), sietų rinkinys bei įranga ir medžiagos bandiniui paruošti.

Pagrindiniai reikalavimai poliravimo mašinai:

- kelio ratas bandymo metu sukasi apie savo ašį (320 ± 5) min^{-1} ;
- kelio rato dydis turi atitikti 14-os bandinių dydį ir būti (406 ± 3) mm skersmens bei apribotas tvirtinimo žiedais ($44,5 \pm 0,5$) mm;
- du kietos gumos ratai, kurių skersmuo (200 ± 3) mm ir plotis (38 ± 2) mm. Jų spalvos turi būti skirtingos, tamsus – grūdėtajam, šviesus – smulkiąjam užpildui. Gumos kietumas (69 ± 3) IRDH matuojant pagal ISO 7619-1:2010 standartą;
- svertas su svoriu kelio ratui prispausti prie kietos gumos rato (725 ± 10) N jėga.

Pagrindiniai reikalavimai trinties matavimo prietaisui:

- laikiklis turi paleisti švytuoklę, jog ši judėtų laisvai;
- bendra švytuoklės ir gumos laikiklio masė turi būti ($1,50 \pm 0,03$) kg. Svorio centras turi būti (410 ± 5) mm atstumu nuo švytuoklės tvirtinimo ašies;
- gumos laikiklyje turi būti įtaisytas gumos padas, kurio plotis ($31,75 \pm 0,50$) mm, ilgis ($25,4 \pm 1,0$) mm (judėjimo kryptimi) ir storis ($6,35 \pm 0,50$) mm;



1 – kelio ratas; 2 – padangos ratas; 3 – svoris; 4 – tiekimo įrenginys; 5 – vandens talpa; 6 – tiekimo matuoklis

3 paveikslas. Poliravimo mašina (LST EN 1097-8:2009)
Figure 3. Polishing machine (LST EN 1097-8:2009)

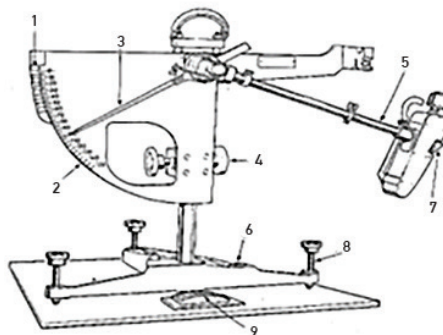
- gumos laikiklis su gumos padu žemiausiame taške, sąlytyje su bandiniu, turi sudaryti (26 ± 3)° kampą;
- rezultatų skalė, kurios ilgis 76 mm, sužymėta nuo 0 iki 100 dvejų dydžių intervalu.

Laboratorinis ėminys sumažinamas, kaip nurodyta EN 932-2, iki tokios masės, kad jį sijojant mažiausiai būtų paruošta 2 kg. Pastaba: šeši skirtingi užpildai gali būti išbandomi tuo pačiu metu.

Sumažinto ėminio dalelės sijojamos per 10 mm analizinį sietą ir 7,2 mm strypinį sietą. Dalelės, prabyrėjusios pro 10 mm sietą ir likusios ant 7,2 mm sieta, plaunamos, džiovinamos ir pašalinamos pailgos dalelės, kurios nustatomos naudojant formos rodiklio matuoklį arba slankmatį. PSV kontrolinio akmens turi būti paruošta mažiausiai 1 kg, paruošti keturi bandiniai kiekvienam užpildui ir keturi bandiniai iš kontrolinio akmens.

Kiekvieną bandinį turi sudaryti nuo 36 iki 46 užpildo dalelių.

Bandymas atliekamas kambario temperatūroje (20 ± 5) °C. 14 bandinių (kartu su kontroliniais bandiniais) sunumeruojami ir sudedami į rato kelią. Tarpai tarp bandinių užpildomi taip, jog nebūtų nelygumų ir guminis ratas suktųsi tolygiai. Kelio ratui pasiekus (320 ± 5) min^{-1} greitį, prispaudžiamas padangos ratas (tamsus) ir paleidžiamas tiekimo įrenginys, beriantis stambųjį užpil-



1 – F skalė; 2 – kalibravimo skalė; 3 – rodyklė; 4 – vertikalumo reguliatorius; 5 – švytuoklė; 6 – gulsčiukas; 7 – gumos laikiklis; 8 – aukščio lygiavimo sraigtas; 9 – bandinio laikiklis

4 paveikslas. Trinties matavimo prietaisais (LST EN 1097-8:2009)

Figure 4. Device to measure the polishing (LST EN 1097-8:2009)

dą (27 ± 7) g/min greičiu (180 ± 1) min. Vandens kiekis turi būti minimalus, kad išsklaidytų užpildą, įprastai toks pat kaip ir užpildo.

Įrenginys sustabdomas po (60 ± 5) min ir (120 ± 5) min siekiant išvalyti susikaupusį užpildo perteklių. Po (180 ± 1) min įrenginys sustabdomas ir kelio ratas išimamas siekiant pašalinti visą stambųjį užpildą ir išplauti įrenginį. Veiksmas kartojamas pakeitus rato paviršių (šviesiu) ir naudojant smulkųjį užpildą, kuris tiekiamas ($3,0 \pm 1,0$) g/min greičiu kartu su vandeniu $\pm 1,0$ g/min nuo užpildo kiekio.

Atlikus poliravimą bandiniai išimami, išplaunami ir laikomi didesnėje nei (20 ± 2) °C temperatūros vandenyje nuo 30 min iki 120 min. Trinties bandymas švytuokle atliekamas iškart, užtikrinant, jog bandiniai neišdžiūtų. Į sukalibruotą paviršiaus trinties matavimo įrenginį įtvirtinamas bandinys ir įrenginio švytuoklė paleidžiama judėti laisvai, be pradinio pagreičio. Perėjusi bandinį ir pakreipusi rodyklę į maksimalią poziciją švytuoklė sustabdoma. Naudojant skalę fiksuojami duomenys. Rodyklė pastatoma į pradinę padėtį ir bandymas kartojamas. Kiekvieno bandinio duomenys matuojami 5 kartus, o rezultatai užrašomi 0,1 tikslumu, išvedant paskutinių trijų rodmenų vidurkį. PSV reikšmė apskaičiuojama iš gautų duomenų, pateikiant dvi reikšmes 0,1 tikslumu.

PSV reikšmė apskaičiuojama pagal (3) formulę:

$$PSV = S + (52,5) - C, \quad (3)$$

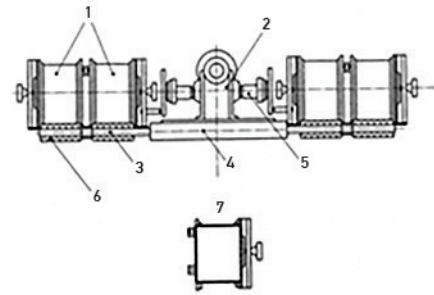
čia S – keturių bandinių rezultatų vidurkis; C – keturių PSV kontrolinių bandinių rezultatų vidurkis.

Pateikiant rezultatus nurodoma ne tik užpildo PSV reikšmė, bet ir kontrolinio akmens PSV vidurkio reikšmė, kiekvieno iš keturių užpildo bandinių bei kiekvieno iš keturių PSV kontrolinio akmens bandinių atskiros reikšmės ir vidurkiai, aiškiai suprantant reikšmių ir bandinių ryšį.

1.4. Atsparumas dėvėjimuisi (M_{DE})

Atsparumo dėvėjimuisi (M_{DE}) bandymas atliekamas pagal standarto LST EN 1097-1:2011 reikalavimus. Šiuo bandymų metodu nustatomas dalelių atsparumas dėvėjimuisi dėl trinties. Bandymui atlikti reikalinga Micro Devalio mašina (5 paveikslas) ir sietų rinkinys bei įranga ir medžiaga bandiniui paruošti. Atsparumas dėvėjimuisi įvertinamas Devalio M_{DE} rodikliu, kurį taikant apskaičiuojamas pagal smulkesnių negu 1,6 mm dalelių, kurios susidaro bandant medžiagą standartiniame būgne, santykinį kiekį.

2 kg masės ėminys, kurio frakcijos dalelės nuo 10 mm iki 14 mm, bandymui nuplaunamas ir (110 ± 5) °C temperatūros krosnyje iki pastoviosios masės išdžiovinamas. Ėminį turi sudaryti nuo 30 % iki 40 % dalelių nuo 10 mm iki 11,2 mm (arba 12,5 mm) ir nuo 60 % iki 70 % dalelių nuo 11,2 mm (arba 12,5 mm) iki 14 mm. Devalio mašina gali būti vieno, dviejų arba keturių būgnų. Jų skersmuo – (200 ± 1) mm. Į kiekvieną būgną dedama po ($5\,000 \pm 5$) g plieninių ($10 \pm 0,5$) mm skersmens rutulių.



1 – būgnas; 2 – elektrinis variklis su reduktoriumi; 3 – tvirtinimo velenas; 4 – rėmas; 5 – lanksti mova; 6 – atraminiai ritiniai; 7 – būgno skersinis pjūvis

5 paveikslas. Micro Devalio mašina bei schema (LST EN 1097-1:2011)

Figure 5. Micro-Deval machine and scheme (LST EN 1097-1:2011)

Bandymui paruošiami du po (500 ± 2) g bandiniai. Į būgnus subėrus bandinius, į kiekvieną dar įpilama po ($2,5 \pm 0,05$) l vandens. Būgnai sukami (100 ± 5) min^{-1} greičiu ($12\,000 \pm 10$) sūkių. Po bandymo surenkama visa medžiaga ir sijojama per 1,6 mm akelių sietą. Dalelės, likusios ant 1,6 mm akelių sieto, išdžiovinamos (110 ± 5) °C temperatūros krosnyje iki pastoviosios masės ir nustatoma jų masė.

Kiekvienam bandiniui apskaičiuojamas medžiagų atsparumas smūgiams taikant Devalio rodiklį M_{DE} , suapvalinant 0,1 tikslumu, pagal (4) formulę:

$$M_{DE} = \frac{5000 - m}{5}, \quad (4)$$

čia m – stambesniosios frakcijos, likusios ant 1,6 mm akelių sieto, g.

1.5. Atsparumas dygliuotoms padangoms (A_N)

Atsparumo dygliuotoms padangoms (A_N) bandymas atliekamas pagal standarto LST EN 1097-9:2014 reikalavimus. Šiuo bandymų metodu nustatomas atsparumas dėvėjimuisi nuo dygliuotų padangų poveikio (Šiaurės šalių metodas).

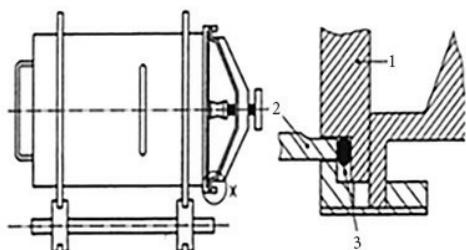
Bandymui atlikti reikalinga atsparumo dygliuotoms padangoms mašina (6 paveikslas), metalinių rutulių įkrova, sietų rinkinys bei įranga ir medžiaga keturiems bandiniams paruošti.

Bandomos nuo 11,2 mm iki 16,0 mm stambumo skal-
dos frakcijos dalelės. Bandinį sudaro (65±1) % išbirų pro
14,0 mm sietą ir (35±1) % išbirų pro 16,0 mm sietą. Kie-
kvienas bandinys turi turėti pradinę sausą masę M_1 gra-
mais pagal (5) formulę:

$$M_1 = \frac{1000\rho_P}{2,65} \pm 5, \quad (5)$$

čia M_1 – pradinė sauso bandinio masė, g; ρ_P – sausų da-
lelių tankis, nustatytas pagal EN 1097-6:2013 priedą A,
Mg/m³.

Bandinys išplaunamas per 2 mm sietą ir išdžiovi-
namas iki pastoviosios masės ventiliuojamoje krosnyje
(110±5) °C temperatūroje. Atvėsintas aplinkos tempera-
tūroje bandinys sijojamas iki dviejų bandinių masės nau-
dojant 11,2 mm, 14,0 mm ir 16,0 mm sietus, kad būtų
gautos dvi, 11,2/14 mm ir 14/16 mm, išsijotų dalelių dy-
džio frakcijos. Bandymas atliekamas įdėjus (7000±10) g
metalinių rutulių įkrovą į būgną ir paruoštą bandinį bei
įpylus (2,00±0,01) l vandens. Uždėjus dangtį, būgnas pa-
leidžiamas sukintis (90±3) r/min greičiu, iš viso (5400±10)
sūkių. Riedant būgnui, medžiaga trinasi. Būgnui sustojus
sukintis po nustatyto sūkių skaičiaus, medžiaga išpilama iš
būgno ir sijojama per 2 mm akelių sietą, išdžiovinama iki
pastoviosios masės ventiliuojamoje krosnyje (110±5) °C
temperatūroje. Atvėsintas aplinkos temperatūroje bandi-
nys pasveriamas ir gaunama M_2 bandinio masė. Paskui
bandymas kartojamas su antru bandiniu, kaip aprašyta
anksčiau. Atsparumas dėvėjimuisi apskaičiuojamas pagal



1 – dangtis; 2 – cilindras; 3 – guminis tarpiklis;
x – tipinė dangčio konstrukcija

6 paveikslas. Atsparumo dėvėjimuisi dėl dygliuotų padangų
poveikio mašina ir jos schema (LST EN 1097-9:2014)

Figure 6. Machine and its design of resistance to wear by
abrasion from studded tyre (LST EN 1097-9:2014)

bandinio masės santykinius nuostolius, suapvalinant 0,1
tikslumu, pagal (6) formulę:

$$A_N = 100(M_1 - M_2) / M_1, \quad (6)$$

čia M_1 – pradinė sauso bandinio masė, g; M_2 – sausų dale-
lių, didesnių kaip 2 mm, gautų po trinties būgne, bandinio
masė, g.

Bandymo rezultatas pateikiamas išvedus vidurkį iš dvie-
jų gautų A_N bandymų rezultatų suapvalinant 0,1 tikslumu.

2. Eksperimentinis tyrimas

2.1. Tyrimo objektas ir metodika

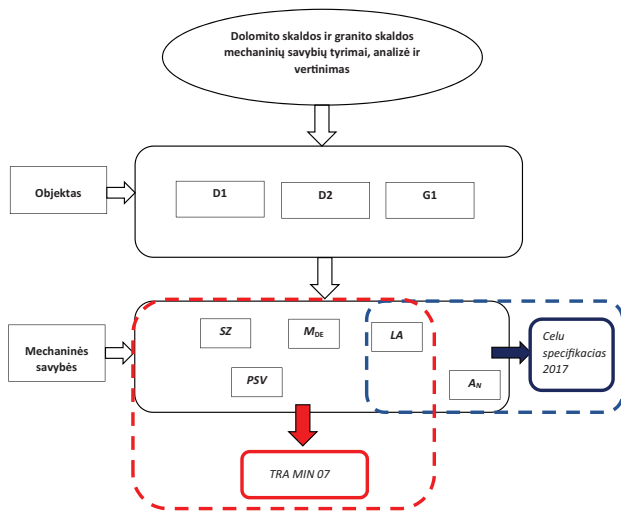
Siekiant nustatyti bei įvertinti iš skirtingų uolienuų paga-
mintų mineralinių skaldų mechanines savybes, AB „Do-
lomit“ laboratorijoje (DL) atlikti standartizuoti eksperi-
mentiniai bandymai pagal galiojančius europinius bandy-
mų metodus (2 lentelė). Eksperimentiniams bandymams
2016–2017 metais buvo atrinkta ir DL laboratorijoje iš-
tirta dolomito skalda (D1), išgauta telkinyje „Petrašiūnai
2“ ir pagaminta naudojant kasybos bei skaldos gavybos
technologiją. Gamintojas D1 skaldą dėl kitokių fizikinių,
mechaninių ir geometrinių rodiklių įvardija aukštesnės
kokybės dolomito skalda (Šernas, Vorobjovas, Šneiderai-
tienė ir Vaitkus, 2016). Tuo pačiu metu bandymams at-
rinkta dolomito skalda (D2), išgauta telkinyje „Petrašiūnai
2“ ir pagaminta nenaudojant specialios kasybos ir skaldos
gavybos technologijos, bei importuota granito skalda (G1)
iš telkinio „Granitnij karjer“ Ukrainoje. Atliekant skaldų
D1 ir D2 bei G1 mechaninių savybių eksperimentinius
tyrimus, bandymo metodais, aprašytais 2 skyriuje, buvo
nustatyti jų mechaniniai rodikliai: atsparumas trupinimui
(LA), atsparumas smūgiams (SZ), atsparumas dėvėjimuisi
(M_{DE}), atsparumas dygliuotoms padangoms (A_N), atspa-
rumas poliruojamumui (PSV). Eksperimentinio tyrimo
objektas, mechaninės savybės ir bandymo metodo žymuo
bei pavadinimas pateikti 2 lentelėje.

Eksperimentui atlikti sudaryta skaldų D1, D2 ir G1
mechaninių savybių nustatymo eksperimento schema
(7 paveikslas).

2 lentelė. Bandymų metodai eksperimentinio tyrimo
mineralinėms medžiagoms D1, D2 ir G1

Table 2. Test methods for the experimental study of D1, D2,
and G1 aggregates

Mechaninės savybės	Bandymo metodo žymuo
Atsparumas trupinimui (LA)	LST EN 1097-2:2010
Atsparumas smūgiams (SZ)	LST EN 1097-2:2010
Atsparumas dėvėjimuisi (M_{DE})	LST EN 1097-1:2011
Atsparumas poliruojamumui (PSV)	LST EN 1097-8:2009
Atsparumas dygliuotoms padangoms (A_N)	LST EN 1097-9:2014



7 paveikslas. Mineralinių medžiagų D1, D2, G1 mechaninių savybių eksperimento schema
Figure 7. Scheme for experiment of mechanical properties of D1, D2, and G1 aggregates

2.2. Skaldų D1, D2 ir G1 mechaninių savybių analizė ir vertinimas

Vaizduojant ir nagrinėjant laboratorinių bandymų metu gautų skaldų D1, D2 ir G1 mechaninių savybių rezultatus, braižomos histogramos bei pateikiamos normatyvinių reikalavimų linijos (rodiklio viršutinė riba pagal TRA MIN 07 ir pagal Ceļu specifikācijas (2017)).

2.2.1. Atsparumas trupinimui (LA)

Atlikus laboratorinius skaldų D1, D2 ir G1 atsparumo trupinimui bandymus (LA) su aštuoniais skaldos D1, D2 ir G1 ėminiais, nustatytos atsparumo trupinimui vertės, kurios visos atitinka TRA MIN 07 ir Ceļu specifikācijas (2017) aukščiausią kategoriją LA₂₀, kuri būtina asfalto viršutiniam sluoksniui (Haritonovs, Tihonovs ir Smirnovs, 2016; Vorobjovas et al., 2017) (8 paveikslas).

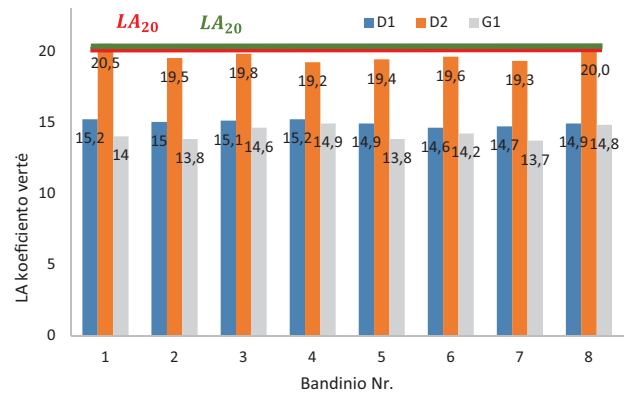
2.2.2. Atsparumas smūgiams (SZ)

Atlikus laboratorinius skaldų D1, D2 ir G1 atsparumo smūgiams bandymus (SZ) su dvylika skaldos D1, D2 ir G1 ėminių nustatytos atsparumo smūgiui vertės, iš kurių D1 ir medžiagos atsparumo smūgiams vertės ir yra būtinos įrengiant asfalto viršutinį sluoksnį (9 paveikslas). G1 atitinka TRA MIN 07 aukščiausią kategoriją SZ₁₈. Ši kategorija reikalauja ne mažesnės kaip 18 % vertės. Latvijos Ceļu specifikācijas (2017) šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija.

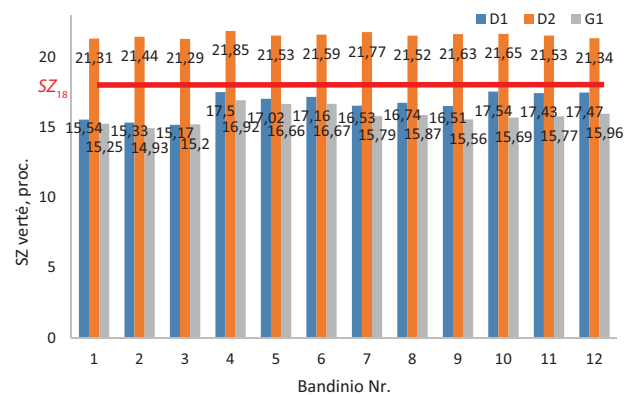
2.2.3. Atsparumas dėvėjimuisi (M_{DE})

Atlikus laboratorinius skaldų D1, D2 ir G1 atsparumo dėvėjimuisi bandymus (M_{DE}) su aštuoniais skaldos D1, D2 ir G1 ėminiais nustatytos atsparumo smūgiui vertės. Visos trys skalos D1, D2 ir G1 atitinka TRA MIN 07 2007 metų leidimo aukščiausią kategoriją M_{DE}15. Ji reikalauja ne ma-

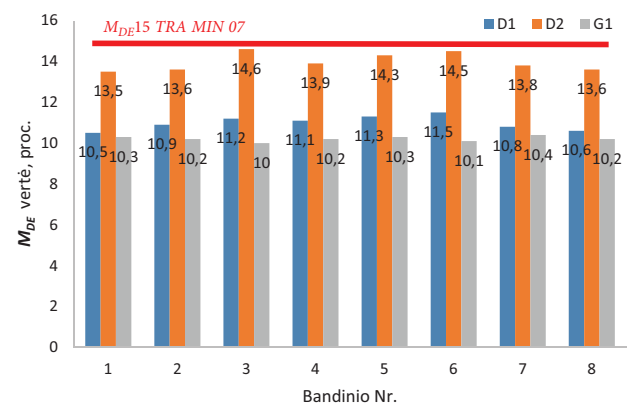
žesnės kaip 15 % atsparumo dėvėjimuisi vertės, kuri buvo būtina asfalto viršutiniam sluoksniui 2007 metais (10 paveikslas). Latvijos Ceļu specifikācijas (2017) šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija.



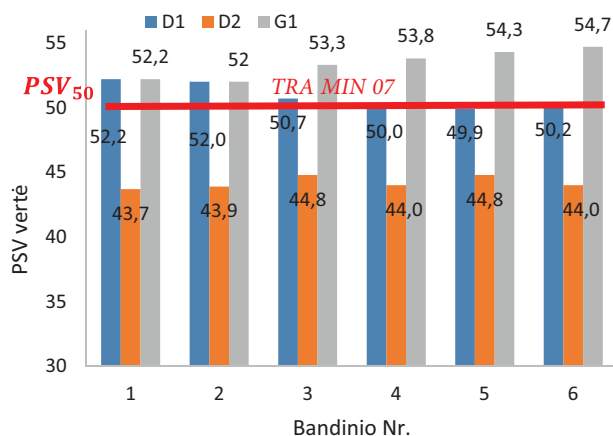
8 paveikslas. Tirtų mineralinių medžiagų Los Andželo (LA) koeficientų vertės
Figure 8. Values of Los Angeles (LA) coefficient of tested aggregates



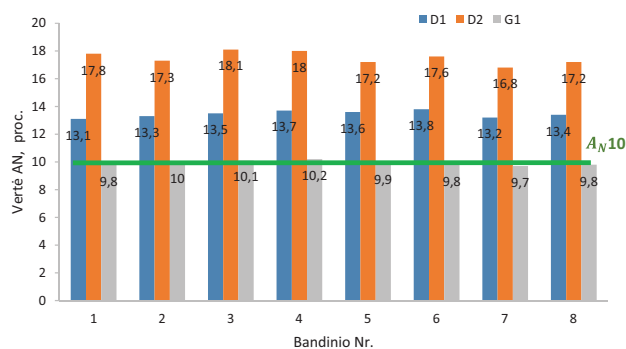
9 paveikslas. Tirtų mineralinių medžiagų atsparumo smūgiams (SZ) vertės
Figure 9. Values of resistance to fragmentation (SZ) of tested aggregates



10 paveikslas. Tirtų mineralinių medžiagų atsparumo dėvėjimuisi (M_{DE}) vertės
Figure 10. Values of resistance to wear (M_{DE}) of tested aggregates



11 paveikslas. Tirtų mineralinių medžiagų atsparumo poliruojamumui (PSV) vertės
Figure 11. Values of Polished Stone Value (PSV) of tested aggregates



12 paveikslas. Tirtų mineralinių medžiagų atsparumo dėvėjimuisi dėl dygliuotų padangų (A_N) vertės
Figure 12. Values of the resistance to wear by abrasion from studded tyre (A_N) of tested aggregates

2.2.4. Atsparumas poliruojamumui (PSV)

Atlikus laboratorinius skaldų D1, D2 ir G1 atsparumo poliruojamumui bandymus (PSV) su šešiais skaldos D1, D2 ir G1 ėminiais nustatytos atsparumo poliruojamumui vertės, iš kurių dvi, D1 ir G1, poliravimosi vertės ≥ 50 , kurios pagal TRA MIN 07 reikalavimus atitinka aukščiausią PSV kategoriją PSV_{50} . Ši kategorija būtina asfalto viršutiniam sluoksniui (Vorobjovas et al., 2017) (11 paveikslas). Ceļu specifikācijas (2017) šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija.

2.2.5. Atsparumas dygliuotoms padangoms (A_N)

Atlikus laboratorinius skaldų D1, D2 ir G1 atsparumo dygliuotoms padangoms bandymus (A_N) su aštuoniais skaldos D1, D2 ir G1 ėminiais, nustatytos atsparumo dygliuotoms padangoms vertės. Skalda G1 atitinka Ceļu specifikācijas (2017) aukščiausią kategoriją – A_N10 , kuri būtina asfalto viršutiniam sluoksniui (Haritonovs et al., 2016) (12 paveikslas). Šiai mechaninei savybei kategorija nenurodoma TRA MIN 07.

Išvados

1. Mineralinių medžiagų, naudojamų kelių tiesyboje, mechaninės savybės nustatomos pagal europinius bandymų metodus.
2. Atlikta kelių tiesyboje naudojamų mineralinių medžiagų mechaninių savybių analizė bei eksperimentiniai tyrimai ir įvertinti joms keliami reikalavimai pagal Lietuvos ir Latvijos normatyvinius dokumentus:
 - visų trijų skaldų atsparumas trupinimui (LA) atitinka TRA MIN 07 ir Ceļu specifikācijas (2017) dokumentuose nurodytą aukščiausią kategoriją LA_{20} ;
 - skaldų D1 ir G1 atsparumas smūgiams (SZ) atitinka dokumente TRA MIN 07 nurodytą aukščiausią kategoriją SZ_{18} . Latvijos dokumente Ceļu specifikācijas 2017 šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija;
 - visų trijų skaldų atsparumas dėvėjimuisi (M_{DE}) atitinka TRA MIN 07 2007 metų leidimo aukščiausią kategoriją M_{DE15} . Latvijos Ceļu specifikācijas (2017) šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija;
 - tiriant atsparumą poliruojamumui (PSV), dviejų skaldų D1 ir G1 poliravimosi vertės ≥ 50 , kurios pagal TRA MIN 07 reikalavimus atitinka aukščiausią PSV kategoriją PSV_{50} . Pagal Ceļu specifikācijas (2017) šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija;
 - skaldos G1 atsparumas dygliuotoms padangoms (A_N) atitinka Ceļu specifikācijas (2017) aukščiausią kategoriją A_N10 . TRA MIN 07 šiai mechaninei savybei nėra nurodoma kategorija.
3. Reikalingi tolesni dolomito skaldos kitų savybių tyrimai, norint plačiau įvertinti, ar ji atitinka reikalavimus asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, pakeičiant granitą.

Literatūra

- Aavik, A. (2006). Estonian road network and road management. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 1(1), 39-44.
- Ceļu specifikācijas. (2017). Apstiprinātas VAS "Latvijas Valsts ceļi" Tehniskajā komisijā 2016. gada 28. oktobrī.
- Cygas, D., Laurinavicius, A., & Skrinskas, S. (2005, May). Feasibility of application of local aggregates in asphalt concrete pavements in Lithuania. In *Proceedings of the 6th International Conference Environmental Engineering: Selected Papers* (Vol. 2, pp. 26-27). Vilnius Gediminas Technical University.
- Dagilienė, L., & Mykolaitienė, V. (2012). Public sector environmental accounting: the example of Lithuanian mineral resources. *Economics and Management*, 17(2), 425-432. <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.2.2162>
- Deltuva, J., & Vaitkevičius, V. (2006). *Statybinių nerūdinių medžiagų gavyba, perdirbimas ir naudojimas*. Kaunas: Technologija.
- EN 1097-6:2013. *Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of particle density and water absorption*.
- Gulevičs, J., Bashkite, V., & Iskül, R. (2010, June). Sustainable development of Estonian mineral resources for economical usage in roads construction. In *9th International Symposium Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineer-*

- ing and Doctoral School of Energy and Geotechnology II (pp. 77-82). Pärnu, Estonia.
- Haritonovs, V., & Tihonovs, J. (2014). Use of unconventional aggregates in hot mix asphalt concrete. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 9(4), 276-282.
- Haritonovs, V., Tihonovs, J., & Smirnovs, J. (2016). High modulus asphalt concrete with dolomite aggregates. *Transportation Research Procedia*, 14, 3485-3492. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.314>
- ISO 7619-1:2010. *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of indentation hardness – Part 1: Durometer method (Shore hardness)*.
- Izaks, R., Haritonovs, V., Klasa, I., & Zaumanis, M. (2015). Hot mix asphalt with high RAP content. *Procedia Engineering*, 114, 676-684. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.009>
- Karu, V., Notton, A., Guleviš, J., Valgma, I., & Rahe, T. (2013). Improvement of technologies for mining waste management. In *Proceedings of the 9th Scientific and Practical Conference* (pp. 127-132). Rėzeknes Augstskola.
- Klizas, P., Gadeikis, S., & Žilionienė, D. (2015). Evaluation of moraine loams' filtration properties. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 10(4), 293-298. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2015.37>
- LST EN 1097-1:2011. *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Atsparumo dėvėjimuisi nustatymas (Devalio metodas)*.
- LST EN 1097-2:2010. *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 2 dalis. Atsparumo trupinimui nustatymo metodai*.
- LST EN 1097-8:2009. *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 8 dalis. Akmens poliruojamumo nustatymas*.
- LST EN 1097-9:2014. *Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 9 dalis. Atsparumo dėvėjimuisi dėl dygliuotų padangų poveikio nustatymas. Šiaurės šalių metodas*.
- Skrinskas, S., Gasiūniene, V. E., Laurinavičius, A., & Podagėlis, I. (2010). Lithuanian mineral resources, their reserves and possibilities for their usage in road building. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 5(4), 218-228. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2010.30>
- Šernas, O., Vorobjovas, V., Šneideraitienė, L., & Vaitkus, A. (2016). Evaluation of asphalt mix with dolomite aggregates for wearing layer. *Transportation Research Procedia*, 14, 732-737. <https://doi.org/10.1007/s00603-011-0174>
- Šneideraitienė, L., & Žilionienė, D. (2017, March). Research and analysis of dolomite aggregate for resistance to fragmentation. In *Transport Infrastructure and Systems: Proceedings of the AIIT International Congress on Transport Infrastructure and Systems, Rome, Italy, 10-12 April 2017* (p. 233). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315281896-32>
- Šneideraitienė, L., Stasytis, G. ir Žilionienė, D. (2016, June). Skalda, žvyras, smėlis ir molis–vietinės kelių tiesybos medžiagos. Iš *19-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“ (Civilinė inžinerija ir geodezija)*. Vilnius: Technika.
- TRA MIN 07 2007. *Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas. Valstybės žinios*, 2007, Nr. 16-619.
- Vaitkus, A. ir Vorobjovas, V. (2015). Dolomito skaldos panaudojimas asfalto viršutinio sluoksnio mišiniam. *Lietuvos keliai*, 1(34), 57-61.
- Vaitkus, A., Vorobjovas, V., Kleizienė, R., Šernas, O., & Gražulytė, J. (2017). Modified asphalt mixtures for heavy duty pavement wearing layers. *Construction and Building Materials*, 131, 503-511. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.055>
- Vorobjovas, V., Šernas, O., Žilionienė, D., Šneideraitienė, L., & Filotenkovas, V. (2017). Evaluation of high-quality dolomite aggregate for asphalt wearing course. In *10th International Conference "Environmental Engineering"*. Vilnius Gediminas Technical University. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.157>

RESEARCH, ANALYSIS, AND EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF AGGREGATES

L. Šneideraitienė, D. Žilionienė

Abstract

The two Baltic countries, Lithuania and Latvia, use asphalt mixtures with granite slag that is imported from other countries to install the top layer of asphalt pavement, which is quite expensive. One of the requirements for aggregates used in road construction is mechanical properties. There are some differences between these countries based on national requirements. The article presents test methods for determining the mechanical properties of aggregates. According to them, the mechanical properties of aggregates were tested: resistance to fragmentation, wear, polishing and to wear by abrasion from studded tyre. Tested aggregates were Lithuanian dolomite quarry stone, which was made based on the developed and common technologies as well as imported granite from Ukraine. The analysis and evaluation of the test results have been carried out by the requirements for mineral aggregates of Lithuania and Latvia.

Keywords: abrasion, aggregate, granite, fragmentation, mechanical properties, polishing, resistance, studded tyre, wear.