



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO DANGOS VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI VERTINIMAS

Pranas Varaneckas¹, Robertas Želvys², Ovidijus Šernas³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹pranas.varaneckas@vgtu.lt; ²robertas.zelvys@vgtu.lt; ³ovidijus.sernas@vgtu.lt

Santrauka. Lietuvoje viršutinio asfalto sluoksnio įrengimui naudojamų asfalto mišinių gamybai dažniausiai naudojamos granito mineralinės medžiagos, kurios yra importuojamos iš užsienio šalių. Vienas iš Lietuvos mineralinių medžiagų gamintojų, pritaikius specialią technologiją, išgauna aukštos kokybės dolomito skaldą, kurios mechaninės savybės ne prastesnės, nei granito. Šiame straipsnyje pateikiami aukštos kokybės dolomito skaldos kaip asfalto viršutinio sluoksnio mišinio mineralinės medžiagos tyrimai. Taip pat, suprojektuoti ir pagaminti AC 11 VS asfalto mišiniai su granito ir dolomito (aukštos kokybės) mineralinėmis medžiagomis. AC 11 VS asfalto mišiniams nustatytos tipinės ir eksploatacinės savybės, laboratorijoje imituojant transporto apkrovų ir aplinkos sąlygas. Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis mechaninės savybės geresnės, negu asfalto mišinio AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis. Remiantis tyrimo rezultatais pateikiamos išvados ir rekomendacijos dėl aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo asfalto viršutinio sluoksnio asfaltbetonio mišiniams.

Reikšminiai žodžiai: dolomitas, asfalto mišinys, santykinė deformacija, mineralinė medžiaga, mechaninės savybės, fizikinės savybės.

Įvadas

Kelio dangos konstrukcijos laikomoji geba ir ilgą amžių priklausoma nuo projekcinio sprendinio, apkrovos sąlygų, aplinkos veiksnių, panaudotų medžiagų ir įrengimo kokybės. Mineralinių medžiagų mišinio savybės tiesiogiai įtakoja asfalto mišinio eksploatacines charakteristikas.

Panaudotos medžiagos ir jų tinkamumas yra vienas svarbiausių veiksnių. Remiantis norminio dokumento „Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas TRA MIN 07“ reikalavimais, viršutinio asfalto sluoksnio asfalto mišinių gamybai gali būti naudojamos medžiagos iš trupinto granito, porfiro, bazalto, diabazo, gatro ir kitų magminių uolienų. Lietuvoje asfalto viršutinio sluoksnio mišinių mineralinė medžiaga dažniausiai yra granito skalda, kuri importuojama iš užsienio šalių. Tačiau Lietuvoje taikant specialią gamybos technologiją yra išgaunama ir gaminama aukštos kokybės dolomito skalda, kurios mechaninės savybės ne prastesnės nei granito. Todėl iškyla aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo viršutinio asfalto dangos sluoksnio mišinių gamybai tinkamumo klausimas. VGTU AIF KTI Automobilių kelių mokslo laboratorijoje buvo atliktas laboratorinis tyrimas, kurio tikslas – įvertinti aukštos

kokybės dolomito skaldos panaudojimą ir tinkamumą automobilių kelių asfalto dangos viršutinio sluoksnio įrengimui.

Asfalto mišinio mineralinių medžiagų užpildo įtaka eksploatacinėms savybėms

Mineralinės medžiagos sudaro apie 80–90 % viso asfalto mišinio tūrio, arba 90–96 % visos asfalto mišinio masės.

Klaus (2003) tyrimais nustatė, kad asfalto mišinių atsparumas liekamųjų deformacijų susidarymui priklauso nuo mineralinės medžiagos užpildo struktūros asfalto mišinyje – mineralinės medžiagos užpildo granulometrinė sudėtis ir formos rodiklis pripažinti kaip svarbiausi veiksniai, kurie įtakoja asfalto mišinių atsparumą liekamosioms deformacijoms.

Mineralinių medžiagų įtaka asfalto mišiniui yra labai didelė, tačiau yra sunku atskirti atskirų savybių įtaką asfalto mišinio eksploatacinėms charakteristikoms. Taip pat, galima daryti prielaidą, kad mineralinių medžiagų savybių trūkumus galima kompensuoti privalumais. Tarpusavyje sąveikaujant trupintiems mineralinių medžiagų užpildo paviršiams, atsiranda papildoma sukibimo jėga. Todėl, padidinus trupintų/skaldytų dalelių kiekį, taip pat

padidėja asfalto mišinio atsparumas liekamosioms deformacijoms. Tą patį efektą galima išgauti keičiant stambiojo mineralinių medžiagų užpildo oro tuštymių kiekį. Jos padidina dalelių formos, kampuotumo ir tekstūros sukibimo efektą, mažinant asfalto mišinyje esančių dalelių judėjimą tarpusavyje, didinant dalelių tarpusavio sukibimą (Prowell *et al.* 2005).

Jayawickrama (1996) nustatė, kad skaldytų mineralinių medžiagų naudojimas asfalto mišinių gamybai pagerina ne tik trintį tarp dalelių, bet ir sukibimą tarp transporto priemonės ratų ir kelio asfalto dangos.

Stambiojo užpildo formos rodiklis – viena svarbiausių mineralinių medžiagų užpildo asfalte savybė, siekiant gauti atsparų liekamosioms deformacijoms mišinį. Prowell *et al.* (2005) teigia, kad mineralinės medžiagos dalelių, kurių formos santykis – 5:1, kiekis mišinyje neturėtų viršyti daugiau, nei 10 % masės. Kai šis kiekis viršina minėtą reikalavimą, eksploatacijos metu ženkliai pagausėja sutrupėjusių mišinio dalelių.

Remiantis standartu LST EN 933-4 „Dalelių formos nustatymas. Formos rodiklis“, Lietuvoje formos rodiklis nustatomas tik 3:1 dalelėms, tačiau remiantis užsienio literatūra matyti, kad šį rodiklį vertėtų nustatyti ir 2:1 bei 5:1 dalelių formos santykiui. Turint šiuos duomenis būtų galima labiau kontroliuoti provėžų susidarymą, atsirandantį asfalto dangoje.

McGennis *et al.* (1994) atlikti tyrimai parodė, kad mineralinės medžiagos užpildo apvalios arba su mažesniu skelto paviršiumi užpildo dalelės slenka viena kitos atžvilgiu, todėl tarp jų neužtikrinama pakankama vidinė trintis, o tai lemia asfalto mišinių šlyties stiprio praradimą ir nepakankamą atsparumą provėžoms. Tyrimais įrodyta, kad siekiant asfalto mišinių atsparumo provėžų susidarymui mineralinės medžiagos užpildas turi būti kuo didesniu skeltu paviršiumi, dalelės kubinės, tolydzios granulometrinės sudėties, kad užtikrintų tinkamą užpildo dalelių vidinę trintį (Button *et al.* 1990; Sousa *et al.* 1991; Brown and Bassett 1990; Ahlrich 1996; Kandhal ir Mallick 2001; Marks *et al.* 2001).

Arasan *et al.* (2012) nagrinėjo, kaip mineralinės medžiagos dalelių formos įtaką asfalto mišinio mechanines savybes. Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio su kampuotos formos mineralinių medžiagų mišiniu pastovumas pagal Maršalą didesnis nei asfalto mišinio su lygaus paviršius mineralinėmis medžiagomis. Panašūs rezultatai gauti Chen *et al.* (2001) ir Siswosoebrotho *et al.* (2005) atliktais tyrimais, kur nustatyta, kad dėl lygaus paviršiaus mineralinių medžiagų asfalto mišinių pastovumas pagal Maršalą mažesnis nei su kitų formų dalelėmis.

Ne ką mažiau svarbus ir asfalto mišinio smulkusis užpildas. Įvairūs tyrimai parodė, kad smulkiojo užpildo komponentų savybės gali turėti netgi dominuojančią įtaką asfalto mišinio provėžų susidarymo atsparumui ir nuovargio plyšių susidarymui (Kandha *et al.* 1998; Huber *et al.* 1998). Smulkojo užpildo įtaką asfalto mišinio kokybei lemia 2 pagrindinės jo savybės: tekstūra ir dalelių kampuotumas. Didesnis dalelių kampuotumas nulemia didesnę trintį. Keičiantis šiai savybei gali ženkliai pakisti ir asfalto mišinio oro tuštymių kiekis. Tuo tarpu, kintant medžiagos tekstūrai, oro tuštymių kiekis

nekinta, o atsparumas provėžoms ženkliai padidėja (Prowell *et al.* 2005).

Turint omenyje visas šias savybes yra aišku, kad asfalto mišinio projektavimas sudėtingas procesas, kurio esmė ne tik tenkinti granulometrinės sudėties ir oro tuštymių, bei bitumo kiekio reikalavimus, bet taip pat naudoti tinkamas mineralines medžiagas, kurių pagalba būtų galima suprojektuoti ne tik ilgaamžes bet ir patvarias dangas.

Eksperimentinis tyrimas

Dažniausiai asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti naudojamas skaldos ir mastikos asfalto mišinys SMA 11 S ir AC 11 VS, priklausomai nuo dangos konstrukcijos klasės. Šių mišinių gamybai naudojamos aukštos kokybės mineralinės medžiagos, dažniausiai – granito. Pagal dokumentą „Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės IT ASFALTAS 08“ skaldos ir mastikos asfalto mišinio SMA 11 S gamybai dažniausiai naudojamas polimerais modifikuotas bitumas PMB 45/80-55, o asfaltbetonio mišinio AC 11 VS – kelių bitumas 50/70 arba polimerais modifikuotas bitumas PMB 45/80-55. Tyrimo objektu pasirinktas asfaltbetonio mišinys AC 11 VS su polimerais modifikuotu bitumu PMB 45/80-55, kaip labiausiai tikėtinas asfalto mišinys, kuriam galima naudoti aukšto kokybės dolomito mineralines medžiagas.

Siekiant įvertinti aukštos kokybės dolomito skaldos tinkamumą gaminant asfalto viršutinio sluoksniu mišinius, bei palyginti šių asfalto mišinių fizikines ir mechanines savybes, laboratoriniams eksperimentiniams tyrimams atlikti pasirinkta aukštos kokybės dolomito skalda ir įprastai asfalto viršutinio sluoksniu mišiniams gaminti naudojama granito skalda.

Laboratorijoje suprojektuoti ir pagaminti 2 asfalto mišiniai: AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis (toliau – AC 11 VS dol.) ir AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis (toliau – AC 11 VS gr.).

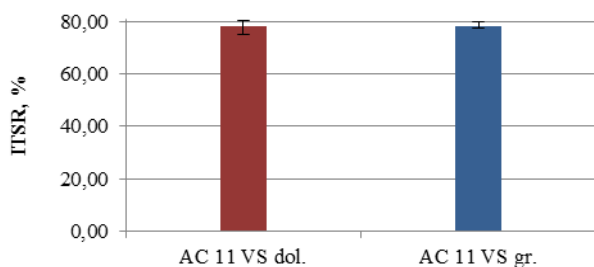
Tyrimams atlikti naudota metodika pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Tyrimo metu naudota metodika

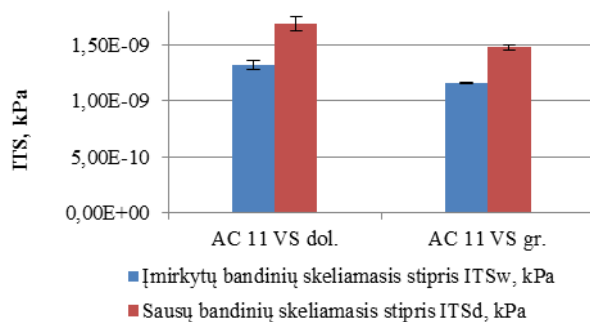
Savybė	Bandymo metodas
Oro tuštymių kiekis	LST EN 12697-8:2003
Skeliamasis stipris	LST EN 12697-23:2003
Jautrumas vandeniui (netiesioginio tempiamojo stiprio rodiklis)	LST EN 12697-12:2008
Standis	LST EN 12697-26:2012, B priedas, 20 °C
Atsparumas nuovargiui	LST EN 12697-24:2012, D priedas

Asfalto mišiniai AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. laboratorijoje suprojektuoti taip, kad tenkintų dokumente TRA ASFALTAS 08 nurodytus reikalavimus oro tuštymių kiekiui, kuris yra 2,0–4,0 %. Asfalto mišinio AC 11 VS dol. gautas oro tuštymių kiekis – 2,1 %, o AC 11 VS gr. – 2,4 %.

Jautrumo vandeniui bandymo rezultatai parodė, kad asfalto mišiniai AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis yra praktiškai vienodai jautrūs vandeniui, tačiau analizuojant atskiras įmirkytų ir sausų bandinių skeliamą stiprį, pastebėta, kad asfalto mišinio AC 11 VS dol. įmirkytų ir sausų bandinių skeliamą stiprį yra daugiau kaip 12,0 % didesnės nei asfalto mišinio AC 11 VS gr. Taip pat nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų bandinių jautrumo vandeniui reikšmės kinta platesnėse ribose (75,23–80,16 %), nei su granito mineralinėmis medžiagomis (77,27–79,64 %). Panaši tendencija nustatyta analizuojant asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. atskirų įmirkytų ir drėgnų bandinių skeliamą stiprį – asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų įmirkytų bandinių skeliamasis stipris kinta nuo $1,281 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,366 \times 10^{-9}$ kPa, su granito mineralinėmis medžiagomis nuo $1,156 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,172 \times 10^{-9}$ kPa. Asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų sausų bandinių skeliamasis stipris kinta nuo $1,623 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,760 \times 10^{-9}$ kPa, o su granito mineralinėmis medžiagomis nuo $1,454 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,500 \times 10^{-9}$ kPa.



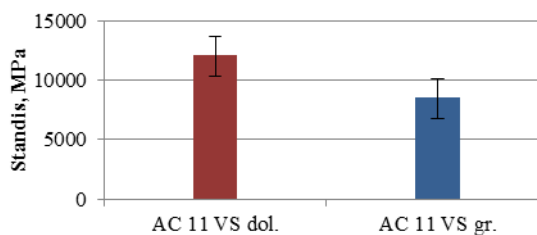
1 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. jautrumo vandeniui rezultatai



2 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. įmirkytų ir sausų bandinių skeliamą stiprį rezultatai

Vertinant asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir su granito mineralinėmis medžiagomis standį (3 pav.) nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS dol. standis yra 30,0 % didesnis nei asfalto mišinio AC 11 VS gr.

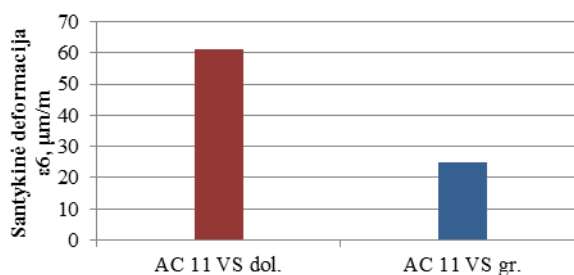
Asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų bandinių standis kinta nuo 10303 MPa iki 13684 MPa, su granito mineralinėmis medžiagomis – nuo 6827 MPa iki 10102 MPa.



3 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. apskaičiuoti standumo modulio rezultatai

Nustatant asfalto mišinio atsparumą nuovargiui bandiniai apkraunami cikline apkrova. Dėl jos, bandinyje atsiranda deformacijos. Bandymas tęsiamas iki bandinio suirimo. Kuo didesnė bandinio santykinė deformacija, tuo jis yra atsparesnis nuovargiui.

Analizuojant asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir su granito mineralinėmis medžiagomis nuovargio bandymo rezultatus (4 pav.) nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS dol. santykinė deformacija ϵ_6 yra 59,0 % didesnė nei asfalto mišinio AC 11 VS gr.



4 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. apskaičiuoti nuovargio rezultatai

Santykinė deformacija ϵ_6 parodo, kokie įlinkiai gali susidaryti asfalto bandinyje po 10^6 ciklų (imituojančių transporto priemonių pravažiamų ciklus). 4 paveiksle matyti, kad bandiniuose, pagamintuose iš asfalto mišinio AC 11 VS dol. gali susidaryti beveik dvigubai didesni įlinkiai, nei bandiniuose, pagamintuose iš asfalto mišinio AC 11 VS gr.

Rezultatų analizė

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad asfalto mišiniai AC 11 VS dol. gali būti naudojami asfalto viršutinio sluoksnio įrengimui.

Asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos klasės dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis jautrumo vandeniui rodikliai panašūs, tačiau asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos klasės dolomito mineralinėmis medžiagomis įmirkytų ir sausų bandinių skeliamasis stipris apie 12,0 % didesnis nei su granito mineralinėmis medžiagomis.

Atsižvelgiant į aukštą standumo modulį asfalto mišiniai su aukštos klasės dolomito mineralinėmis medžiagomis gali būti vertinami kaip didesnės laikomosios gebos asfalto mišiniai, kurie gali būti naudojami optimizuotose dangos konstrukcijose.

Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad asfalto mišinių AC 11 VS, su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis, mechaninės savybės (standis ir skeliamasis stipris) geresnės nei su granito mineraline medžiaga.

Išvados

Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis šios mechaninės savybių vertės yra didesnės nei asfalto mišinio AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis:

- skeliamasis stipris – 10,4 %;
- atsparumas nuovargiui – 59 %;

Literatūra

- Ahlich, R. C. 1996. Influence of Aggregate Properties on Performance of Heavy-Duty Hot-Mix Asphalt Pavements, *Transportation Research Record* 1547: 7–14.
- Arasan, S.; Yenera, E.; Hattatoglu, F.; Hinislioglu, S.; Akbuluta, S. 2011. Correlation Between Shape of Aggregate and Mechanical Properties of Asphalt Concrete, *Road Materials and Pavement Design* 12(2): 239–262.
- Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas. TRA ASFALTAS 08.* Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2009. 61 p.
- Automobilių kelių bitumų ir polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų aprašas. TRA BITUMAS 08/14.* Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2014. 18 p.
- Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas. TRA MIN 07.* Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2007. 27 p.
- Brown, R. R.; Bassett, C. E. 1990. Effects of Maximum Aggregate Size on Rutting Potential and Other Properties of Asphalt – Aggregate Mixtures, *Transportation Research Record* 1259: 107–119.
- Button, J. W.; Perdomo, D.; Lytton, R. L. 1990. Influence of Aggregate on Rutting in Asphalt Concrete Pavements, *Transportation Research Record* 1259: 141–152.
- Chen, J. S.; Shiah, M. S.; Chen, H. J. 2001. Quantification of Coarse Aggregate Shape and Its Effect on Engineering Properties of Hot-Mix Asphalt Mixtures, *Journal of Testing and Evaluation* 29(6): 513–519.
- Huber, G. A.; Jones, J. C.; Messersmith, P. E.; Jackson, N. M. 1998. Contribution of Fine Aggregate Angularity and Particle Shape to Superpave Mixture Performance, *Transportation Research Board*. Washington, DC, pp. 28–35.
- Jayawickrama, P. W.; Prasanna, R.; Senadheera, R. P. 1996. Survey of State Practices to Control Skid Resistance on Hot-Mix Asphalt Concrete Pavements, *Transportation Research Record* 1536: 52–58.
- Kandhal, P. S.; Parker, F. Jr. 1998. Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements, *Transportation Research Board*. Washington, DC.
- Kandhal, S. P.; Mallick, R. B. 2001. Effects of Mix Gradation on Rutting Potential of Dense-Graded Asphalt Mixtures, *Transportation Research Record* 1767: 146–151.
- Klaus, D. 2003. Asphalt Flow Improvers – A New Technology for Reducing Mixing Temperature of Asphalt Concrete Mixes with High-Resistance Against Permanent Deformation. *Proceedings of the 22nd PIARC World Road Congress*. 7 p.
- LST EN 12697-12:2008 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 12 dalis. Bituminių bandinių jauktumo vandeniui nustatymas“.
- LST EN 12697-22+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 22 dalis. Rato riedėjimo vėžė“.
- LST EN 12697-23:2003 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 23 dalis. Bituminių bandinių skeliamojo stiprio nustatymas“.
- LST EN 12697-24:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 24 dalis. Atsparumas nuovargiui“.
- LST EN 12697-26:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 26 dalis. Standis“.
- LST EN 12697-33+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 33 dalis. Bandinio paruošimas voliniu tankintuvu“.
- LST EN 12697-35+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 35 dalis. Maišymas laboratorijoje“.
- LST EN 12697-8:2003 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 8 dalis. Bituminių bandinių tuštymetumo rodiklių nustatymas“.

– standis – 30,0 %.

Asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito ir su granito mineralinėmis medžiagomis jauktumo vandeniui rodikliai panašūs, tačiau asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos klasės dolomito mineralinėmis medžiagomis įmirkytų ir sausų bandinių skeliamasis stipris apie 12,0 % didesnis nei su granito mineralinėmis medžiagomis.

Atsižvelgiant į aukštą standumo modulį asfalto mišiniai su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis gali būti vertinami kaip didesnės laikomosios gebos asfalto mišiniai, kurie gali būti naudojami optimizuotose dangos konstrukcijose.

- LST EN 933-4:2012 „Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai. 4 dalis. Dalelių formos nustatymas. Formos rodiklis“.
- Marks, V. J.; Monroe, R. W.; Adam, J. F. 2001. Relating Creep Testing to Rutting of Asphalt Concrete Mixes, *For presentation at the Transportation Research Board 7-th Annual Meeting January 13–17*. Washington, D.C.
- McGennis, R. B.; Anderson, R. M.; Kennedy, T. W.; Solaimanian, M. 1994. *Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis. Report SA-95-003*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Prowell, D. B.; Zhang, J.; Brown, E. R. 2005. *Aggregate Properties and the Performance of Superpave - Designed Hot Mix Asphalt. Transportation Research Board*. Washington, D.C. 101 p.
- Siswosoebrotho, B. I.; Ginting, K.; Soedirdjo, T. L. 2005. Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregate Shape, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 1302–1312.
- Sousa, J. B.; Craus, J.; Monismith, C. L. 1991. Summary Report on Permanent Deformation in Asphalt Concrete. Strategic Highways Research Program IR-91-104.