

# Komunalinių atliekų deginimo metu susidarancio šlako panaudojimas kelių tiesyboje

**E**uropoje kiekvienas gyven-  
tojas per metus išmeta vi-  
dutiniškai apie pusę tonos  
atliekų. Šios atliekos, priklaus-  
somai nuo jų sudėties, yra perdirba-  
mos, kompostuojamos, deginamos ar-  
ba šalinamos sąvartyne. Kasmet, gami-  
nant šilumos ir (arba) elektros energi-  
ją, Europos Sąjungos šalyse sudegina-  
ma apie 140 milijonų tonų komunalini-  
nių atliekų. Deginant atliekas, susidaro  
tam tikros liekanos: šlakas (apie 85–95  
proc. liekanų kiekio) ir lakieji pelenai  
(5–15 proc. liekanų kiekio). Lakieji pe-

lenai dėl juose esančių sunkiųjų metalų  
praktiškai nėra taikomi civilinėje inžine-  
rijoje, todėl dažniausiai šalinami sąvar-  
tyne. Susidariusį šlaką daugelis valsty-  
bių taip pat šalina sąvartyne, tačiau dėl  
jo į natūralius užpildus panašių fizikinių  
ir mechaninių savybių vis didesnis dė-  
mesys kreipiamas į alternatyvias jo pa-  
naudojimo galimybes statinių statyboje  
ir statybos produktų gamyboje.

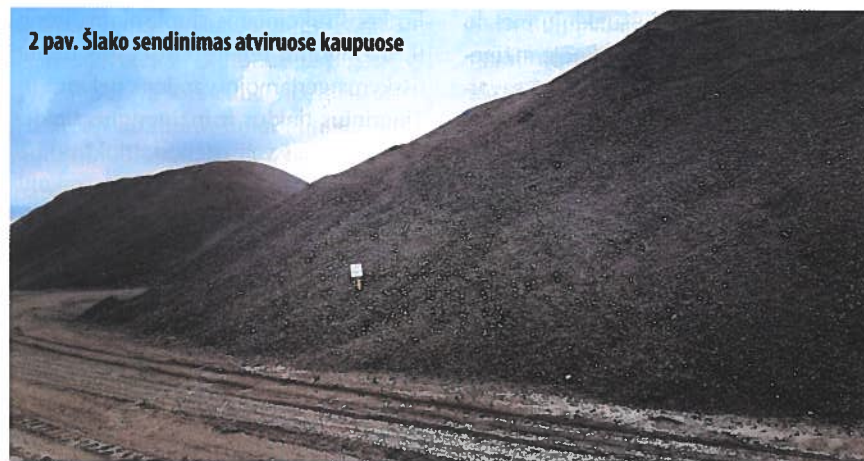
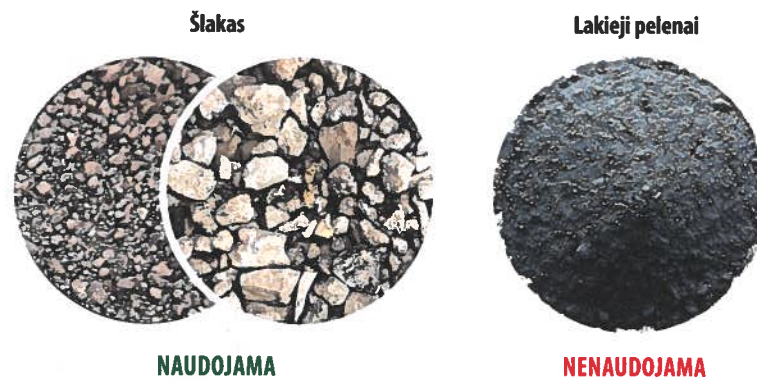
Olandija, Danija, Prancūzija ir Vo-  
kietija yra išskirtinos šlako panaudojimo  
civilinėje inžinerijoje lyderės. Šiose ša-  
lyse šlakas naudojamas pylimams ir ke-

lio konstrukciniams sluoksniams įreng-  
ti, inžinerinių tinklų tranšėjoms užpilti  
(išskyrus geriamojo vandens tiekimo in-  
žinerinius tinklus ir inžinerinius tinklus  
su metaliniais vamzdžiais), triukšmo už-  
tvaroms įrengti bei sąvartynams rekultivi-  
vuoti. Lietuvoje šlako taikymas statinių  
statyboje ir statybos produktų gamybo-  
je yra dar tik tiriamas. Tačiau, siekiant  
prisidėti prie žiedinės ekonomikos įgy-  
vendinimo principų ir Europos Komisi-  
jos iškelto tikslo iki 2030 m. sumažinti  
sąvartynuose šalinamų atliekų kiekį  
iki 10 proc. (šiuo metu Lietuvoje apie

Deginant atliekas susidarantis šlakas gali  
būti panaudojamas pylimams ir kelio  
konstrukciniams sluoksniams įrengti, inžinerinių  
tinklų tranšėjoms užpilti, triukšmo užtvaroms  
įrengti bei sąvartynams rekultivuoti.



1 pav. Šlakas ir lakieji pelenai bei jų naudojimas (nenaudojimas) civilinėje inžinerijoje



2 pav. Šlako sendinimas atviruose kaupuose

3 pav. Šlako sudėtis



Šlakas, susidarantis deginimo metu



Stiklas, keramika, porcelianas



Spalvotieji ir juodieji metalai



Nedegios mineralinės medžiagos



Nesudegusios atliekos

30 proc. susidariusių atliekų šalinama sąvartynuose), šlako panaudojimas civilinėje inžinerijoje tampa vis aktualesne tema. Tai ypač išryškėjo pastaraisiais metais, pradėjus veikti Kauno ir Vilniaus kogeneracinėms jėgainėms.

Komunalinių atliekų deginimo metu susidaręs šlakas gali būti taikomas statinių statyboje ir statybos produktų gamyboje, tik jeigu tenkinami atliekų deginimo įrenginiuose ir bendro atliekų deginimo įrenginiuose susidariusių pelenų bei šlako tvarkymo reikalavimai, patvirtinti Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2016 m. lapkričio 25 d. įsakyму Nr. D1-805 „Dėl atliekų deginimo įrenginiuose ir bendro atliekų deginimo įrenginiuose susidariusių pelenų ir šlako tvarkymo reikalavimų patvirtinimo“. Šiuose reikalavimuose nurodomos ribinės cheminių elementų (metalų) bei jų junginių išplovimo vertės. Taip pat reikalaujama, kad spalvotųjų ir juodųjų metalų kiekis šlake neviršytų 5 proc., bendros organinės anglies kiekis būtų iki 3 proc. ir iškaitinimo nuostolis nebūtų didesnis nei 6 proc.

Cheminių elementų (metalų) ir jų junginių išplovimas iš šlako apribojamas atliekant šlako sendinimą. Sendinamas šlakas laikomas atviruose kaupuose, veikiamuose kritulių ir oro. Tai sudaro palankias sąlygas šlake esantiems metalų oksidams ir hidratams reaguoti su anglies dioksidu ir vandeniu, kas lemia karbonatų susidarymą. Susidarę karbonatai užtikrina šlako stabilumą. Tai patvirtina ir šlako sendinimo metu itin sumažėjanti pH vertė. Nustatyta, kad iš degimo kameros iškritusio šlako pH vertė siekia 11–12, o po sendinimo ji sumažėja iki 8–10.

Minimalus šlako sendinimo laikotarpis yra reglamentuojamas nacionaliniu

4 pav. Metalų atskyrimas



Dar 2016 m. Lietuvos mokslininkų atliktų tyrimų metu išryškėjo, kad viena iš perspektyviausių šlako panaudojimo sričių – kelių tiesyba, todėl dar tais pačiais metais buvo inicijuota ilgametė mokslinių tyrimų programa.

lygmeniu ir skiriasi tarp valstybių. Pavyzdžiui, Ispanijoje, Prancūzijoje ir Vokietijoje šlakas sendinamas ne mažiau kaip 3 mėnesius, kai Olandijoje taikomas tik 6 savaičių sendinimo terminas, o Švedijoje šis laikotarpis siekia net 6 mėnesius. Lietuvoje šlakas sendinamas ne mažiau kaip 3 mėnesius. Praėjus minimaliam šlako sendinimo laikotarpiui ir netenkant ribinių cheminių elementų (metalų) bei jų junginių išplovimo verčių, šlakas gali būti sendinamas toliau, kol bus pasiektos reikalaujamos vertės.

Kitas, ne mažiau svarbus technologinis procesas, lemiantis šlako taikymą statinių statyboje ir statybos produktų gamyboje, – juodųjų ir spalvotųjų metalų atskyrimas. Komunalinių atlie-

kų deginimo metu susidarančiame šlaku yra 7–15 proc. juodųjų metalų (Fe) ir 1–5 proc. spalvotųjų metalų (Al, Cu, Au, Ag, Pb, Sn, Zn ir kt.). Juodųjų metalų atskyrimo efektyvumas yra didžiausias (>80 proc.). O štai spalvotųjų metalų atskyrimas, ypač smulkiojoje šlako frakcijoje (<2 mm), yra sudėtingas ir gali siekti vos 30 proc., priklausomai nuo taikomos technologijos. Tačiau, taikant pažangius metalų atskyrimo metodus, spalvotųjų metalų atskyrimo efektyvumą galima reikšmingai padidinti. Kai kuriais atvejais jis gali siekti 70 proc. ir daugiau. Metalų atskyrimui taikoma technologija lemia susidarančias šlako frakcijas, kurios, priklausomai nuo to, ar tenkina konkrečiai paskirčiai re-

liamus techninius reikalavimus, gali būti taikomos statinių statyboje ir statybos produktų gamyboje.

Lietuvoje analizuoti alternatyvias komunalinių atliekų deginimo metu susidarančio šlako taikymo galimybes pradėta dar 2016 m. UAB „Fortum Heat Lietuva“ iniciatyva Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto (toliau – VILNIUS TECH APF) Kelių tyrimo instituto, Aplinkos apsaugos instituto, Statybos fakulteto Statinių konstrukcijų mokslo instituto ir Termoizoliacijos mokslo instituto mokslininkai atliko pasaulio patirties apžvalgą dėl šlako taikymo patirties kelių tiesyboje bei statybinių skiedinių, betono ir gelžbetonio konstrukcijų, cementinio rišiklio, keraminių gaminių, kompozitinio betono ir autoklavinių gaminių gamyboje. Šio tyrimo metu išryškėjo, kad viena iš perspektyviausių šlako panaudojimo sričių – kelių tiesyba, todėl dar tais pačiais metais buvo inicijuota ilgametė (4 metų) mokslinių tyrimų programa.

VILNIUS TECH APF Kelių tyrimo instituto mokslininkų atlikti tyrimai parodė, kad šlakas jau dabar gali būti taikomas žemės sankasos ir pylimų iki 3 m



5 pav. Iš šlako atskirti metalai: juodieji metalai (viršuje) ir spalvotieji metalai (apačioje)



statytas pagal standarto LST EN 1367-1 reikalavimus, turi būti tik deklaruojamas. Taip pat, taikant šlaką, kaip užpildą nesurištiesiems mišiniams, turi būti nustatomas šlako tūrio pastovumas. Visos tirtosios šlako frakcijos tenkino šį reikalavimą. Šlakas, kaip užpildas nesurištiesiems mišiniams, gali būti taikomas gaminant mišinius, naudojamus šalčiui nejautrių medžiagų sluoksniui, apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui ir žvyro pagrindo sluoksniui (kai tenkinamas atsparumo trupinimui reikalavimas) įrengti. Šiuo atveju taip pat turi būti tenkinami techninių reikalavimų aprašo TRA SBR 19, patvirtinto Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2019 m.

Laboratoriniai tyrimai grindžia šlako taikymą kelių tiesyboje. Siekiant visuotinio šlako taikymo keliuose ir gatvėse, būtina patikrinti šių mišinių funkcionavimą veikiant realioms transporto priemonių apkrovoms ir klimato veiksniams.

aukščio įrengimui, gruntų pagerinimui, kvalifikuotam gruntų pagerinimui ir sustiprinimui, inžinerinių tinklų tranšėjų užpylimui, triukšmo užtvarų įrengimui bei sąvartynų rekultivavimui.

Tiriant šlaką, kaip užpildą nesurištiesiems mišiniams, nustatyta, kad visos tirtosios šlako frakcijos tenkina plokštumo rodiklio (F150), formos rodiklio (SI55), aprupėjusio ir skelto paviršiaus dalelių kiekio (C90/3) reikalavimus. Tačiau jų atsparumas trupinimui (LA) ir atsparumas šaldymui bei atšildymui bu-

vo mažesni nei įprastai kelių tiesyboje naudojamų užpildų. LA kito nuo 35 iki 42, o atsparumas šaldymui ir atšildymui – nuo 10,4 iki 12,7 proc. Atkreiptinas dėmesys, kad pagal techninių reikalavimų aprašą TRA UŽPILDAI 19, patvirtintą Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2019 m. birželio 17 d. įsakymu Nr. V-110 „Dėl automobilių kelių užpildų techninių reikalavimų aprašo TRA UŽPILDAI 19 patvirtinimo“ šlako atsparumas šaldymui ir atšildymui, nu-

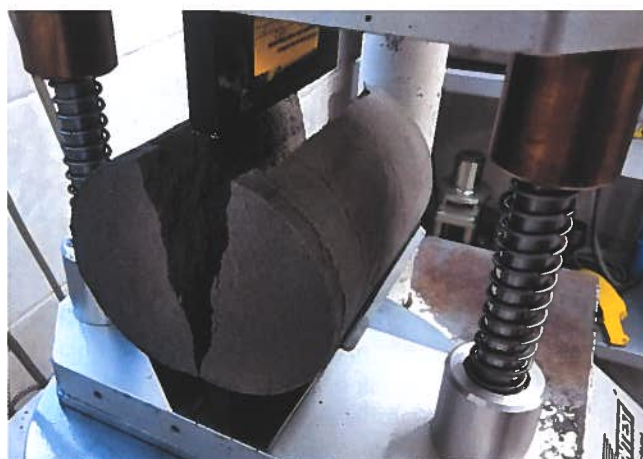
gruodžio 20 d. įsakymu Nr. V-191 „Dėl automobilių kelių nesurištųjų mišinių ir gruntų, naudojamų sluoksniams be rišiklių techninių reikalavimų aprašo TRA SBR 19 patvirtinimo“, reikalavimai.

Pagal TRA SBR 19, šlako mišinius taikant šalčiui nejautrių medžiagų sluoksniui, apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui, skaldos pagrindo sluoksniui arba žvyro pagrindo sluoksniui įrengti, be įprastų granulimetrinės sudėties, smulkiųjų dalelių kiekio, stambesniųjų dalelių kiekio ir pralaidumo vandeniui reikalavimų, turi būti įvertinamas tų mišinių atsparumas šalčiui pagal TRA SBR 19 4 priede pateiktą metodiką. Atlikti tyrimai parodė, kad suprojektuoti šlako mišiniai su pridėtinėmis medžiagomis (natūraliu užpildu) ir be jų, kuriuose <0,063 mm dydžio dalelių kiekis neviršijo 2 proc., buvo atsparūs šalčiui.

VILNIUS TECH APF Kelių tyrimo instituto mokslininkų atlikti laboratoriniai tyrimai grindžia šlako taikymą kelių tiesyboje, ypač įrengiant žemės sankasą ir pagrindo sluoksnius be rišiklių. Tačiau, siekiant visuotinio šlako taikymo Lietuvos automobilių keliuose ir gatvėse, būtina patikrinti šių mišinių funk-

6 pav. Šlako taikymo kelių tiesyboje sritys



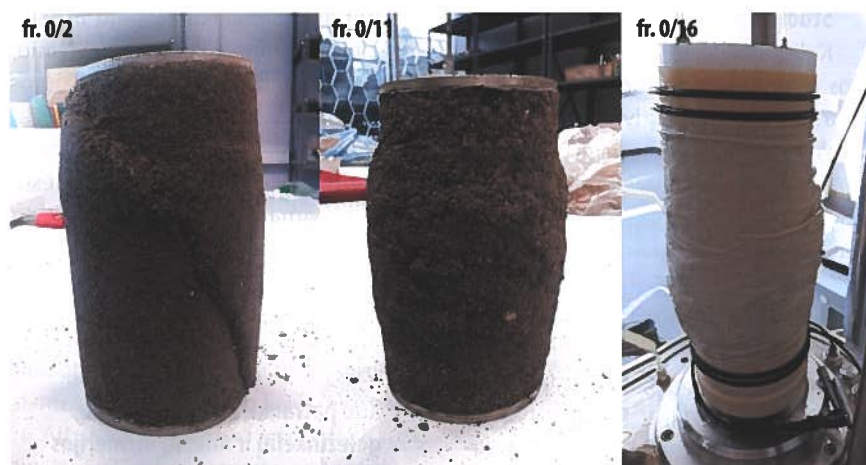


7 pav. Netiesioginio tempiamojo stiprio nustatymas



8 pav. Laikomosios gebos Kalifornijos rodiklio (CBR) nustatymas

9 pav. Šlako mišinių bandiniai po triašio bandymo (vidinės trinties kampo ir sankibos nustatymas)



cionavimą veikiant realioms transporto priemonių apkrovoms ir klimato veiksniams. Šiuo metu Kelių tyrimo instituto VĮ Lietuvos automobilių kelių direkcijos užsakymu vykdo kelio Nr. 1705 Mikutaičiai I–Vertimai ruožų nuo 0,00 iki 3,77 km ir nuo 4,379 iki 4,54 km tyrimus. Šiame kelyje, be standartizuotos dangos konstrukcijos sprendinio, numatyta įrengti dangos konstrukcijas su šlaku. Šlako mišinius numatyta taikyti šalčiui nejautrių medžiagų bei skaldos pa-

grindo sluoksniams įrengti. Skaldos pagrindo sluoksniui numatyta taikyti šlako ir skaldos fr. 16/45 kombinaciją.

Tokių eksperimentinių bandomųjų ruožų įrengimas ir tyrimas sudaro sąlygas įvertinti naujų medžiagų, prisidedančių prie beatliekės gamybos ir žiedinės ekonomikos įgyvendinimo, tinkamumą kelių tiesybai ir atnaujinimui. Komunalinių atliekų deginimo metu susidarantis šlakas yra viena iš tokių medžiagų. Jo taikymas kelių tiesyboje su-

mažintų sąvartynų augimą, leistų efektyviai panaudoti esamus alternatyvius išteklius ir taip tausotų gamtinius užpildus. Lietuvoje galiojantys normatyviniai techniniai dokumentai jau šiuo metu šlaką priskiria dirbtiniam užpildui ir, tenkinant aplinkosaugos reikalavimus, numato jo panaudojimą nesurištiesiems mišiniams, įrengiant šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnį ir apsauginį šalčiui atsparų sluoksnį DK 1–DK 0,1 dangos konstrukcijos keliuose, taip pat visus pagrindo sluoksnius be rišiklių – pėsčiųjų ir dviračių takuose.

**Dr. Judita Gražulytė,**  
**prof. dr. Audrius Vaitkus,**  
**dr. Ovidijus Šernas**  
VILNIUS TECH APF  
Kelių tyrimo institutas

**The use of municipal solid waste incinerator bottom ash in road construction**

By J. Gražulytė, A. Vaitkus, O. Šernas

More than 140 million tonnes of municipal waste is incinerated annually. The residues produced during incineration are composed of municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash (approximately 85–95%) and fly ash (approximately 5–15%). Both of them are typically landfilled. Since physical and mechanical properties of MSWI bottom ash are similar to those of natural aggregates, the possibility to use MSWI bottom ash in civil engineering gets more and more attention. In 2016, a public limited liability company "Fortum Heat Lietuva" initiated a research to identify the most promising application areas of MSWI bottom ash. The research was conducted by different departments of Vilnius Gediminas technical university. It revealed that MSWI bottom ash is the most suitable for road construction. Consequently, further research was focused on this particular area. A four year research conducted by Road research Institute of Vilnius Gediminas technical university showed that MSWI bottom ash is suitable to construct the subgrade, unbound sub-base and base courses as well as embankments up to 3 m height, improve the soil, backfill the engineering trenches and reclaim the landfill. The application of MSWI bottom ash to construct unbound sub-base and base course will be proved by the tests on site. An experimental road sections with pavement structures of natural aggregates and MSWI bottom ash is under construction. MSWI bottom ash will be used to construct layer of frost resistant material and base course of crushed stone (in this case, a crushed stone of 16–45 mm will be added).