

TRANSPORTO PRIEMONIŲ NAUDOTŲ PADANGŲ UTILIZAVIMO IR REGENERAVIMO TECHNOLOGIJŲ ANALIZĖ

Jevgenij Gavrilov¹, Henrikas Sivilevičius²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹titi@vgtu.lt; ²henrikas@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjamos naudotų padangų regeneravimo ir utilizavimo technologijos. Remiantis užsienio šalių ir Lietuvoje atliktais tyrimais, pateikiamos pozityvios ir negatyvios metodų savybės. Pateikta informacija ir duomenys, gauti deginant gumą klinkerio krosnyse. Taip pat duomenys apie gumos panaudojimą betone ir poveikį kelio dangos konstrukcijai. Suformuluotos išvados.

Reikšminiai žodžiai: padangų perdirbimas, guma, deginimas, termolizė, modifikuotasis betonas, utilizavimas, akustinės charakteristikos, lenkimo deformacija, pirolizė.

Įvadas

Senkantys neatsinaujinantys energiniai išteklių, pasaulinėje rinkoje nuolat kylančios degalų kainos ir didėjantys atliekų kiekiai verčia ieškoti naujų galimybių panaudoti atliekų potencialą. Kiekvienais metais pasaulyje gaminama daug padangų, kurios, pasibaigus eksploatacijos laikui, papildo atliekų sankaupas. Lietuvoje kasmet surenkama 12–14 tūkst. t padangų ir tik dešimtadalis jų regeneruojama ar utilizuojama. Kadangi padangos pasižymi didele energetine verte, jos įvairiose pramonės šakose gali būti naudojamos kurui. Vienas realiausių senų padangų tvarkymo būdų – jų naudojimas alternatyviam kurui cemento pramonėje klinkerio gamybos krosnyse.

Dėl išskirtinių padangų savybių – mažo tankio ir menko biodegradacijos laipsnio – jų laidojimas sąvartyne yra nepageidaujamas. Ypač didelę grėsmę aplinkai ir žmonių sveikatai kelia savaiminiai ar tyčiniai didelių padangų sankaupų gaisrai, kurie sunkiai užgesinami dėl aukšto padangų kaloringumo bei sudėtingo jų gesinimo vandeniu. Atvirų padangų gaisrų metu išsiskiria nekontroliuojami pavojingi teršalai, kurių poveikis ir žala juntami tiek vietiniu, tiek ir regioniniu mastu.

Gumos atliekos yra vertinga žaliava modifikuojant statybose naudojamas medžiagas susmulkintomis guminėmis atliekomis, keičiančiomis jų savybes.

Šiuo metu taikomi svarbiausi metodai ir technologijos utilizuojant ir regeneruojant naudotas padangas, yra:

- panaudojimas nekeičiant jų formos;
- naudotų padangų restauravimas;

- smulkinimo operacijos, leidžiančios gauti miltelių ar gabaliukų formos gumos granules;
- terminis apdorojimas, siekiant gauti energiją;
- panaudojimas statyboje;
- kaupimas sąvartyne.

Sprendžiant naudotų padangų utilizacijos problemas, taikomos pagrindinės trys kryptys: gumos atliekų pakartotinis panaudojimas, deginimas arba laikymas specialiai tam pritaikytuose sąvartynuose (Daukšas *et al.* 2004).

Babu (2006) nustatė, kad sudeginus 1 toną panaudotų padangų į atmosferos orą išsiskiria: CO – 0,1 t, NO_x – 0,007 t, SO₂ – 0,14 t, sunkiųjų dalelių – 0,1 t (sunkiosios dalelės yra priskirtos prie II teršimo grupės (Kizinievič *et al.* 2006).

Buvo nustatyta, kad dalis naudojamo smėlio gali būti pakeista susmulkintomis gumos atliekomis gaminant gaminius iš betono (Kerševičius, Skripkiūnas 2001; Reda Taha *et al.* 2008). Tokia priemonė sumažina betono elastingumą ir pagerina struktūrinius parametrus.

Eldin ir Senouci (1992), Serge ir Joekes (2000), Kerševičius (2001) nustatė, kad gumos atliekomis modifikuoto cemento standumas ir elastingumas yra visada didesnis nei paprastojo betono. Lyginant su paprastuoju betonu, modifikuotas betonas yra dar ir atsparesnis šalčiui.

Per pastaruosius metus gumos atliekos vis dažniau naudojamos kaip priemaiša kelių grindiniams ir asfalto dangai (Tunsan 2003; Khalid, Artamendi 2004; Weidong 2006; Chui-Te, Li-Cheng 2007). Tyrimai parodė, kad modifikuoti kelių asfaltą ar betoną galima ir naudojant padangų gumą, prieš tai pašalinus plieno ir kitų polimerų medžiagų priedus.

Susmulkintos gumos atliekos gali būti panaudotos gaminant bitumo vašką (mastiką) (Reznichenko *et al.* 1975; Хрулев 1970). Naudojant bitumo-gumos mastiką stogams dengti, gumos užpildas pagerina jos deformacines savybes. Tačiau yra ir neigiamas poveikis – maža užsidegimo temperatūra bei pastovus tirpiklio garavimas. Šie neigiami veiksniai yra nereikšmingi, jei tokią mastiką naudosime pamatų vandens izoliacijai. Gumos atliekų utilizavimas mastikų gamyboje reikalauja daug energetinių sąnaudų, nes šios atliekos turi būti itin smulkios ir devulkanizuotos aukštoje temperatūroje. Tai kelia daug technologinių ir darbų saugos problemų.

Yra bandymų naudoti susmulkintą padangų gumą keramikoje (Kizinievič *et al.* 2006). Buvo nustatyta, kad guminės priemaišos keičia ir fizikines, ir mechanines keramikos savybes. Atsiranda daugiau kapiliarų bei porų, sumažėja masė ir stiprumo savybės. Keramika keičia spalvą, tamsėja ir gali būti naudojama tik specialiems projektams.

Stankevičius *et al.* (2007) ištyrė panaudotų padangų gumos poveikį akustinėms tinko charakteristikoms. Jie taip pat išnagrinėjo fizines ir mechanines modifikuotojo tinko savybes. Buvo nustatyta, kad gumos priemaišos (gumos koncentracija siekė 30 %) dėl bandinio didesnio poringumo ir mažesnio tankio visame dažnio diapazone absorbcijos

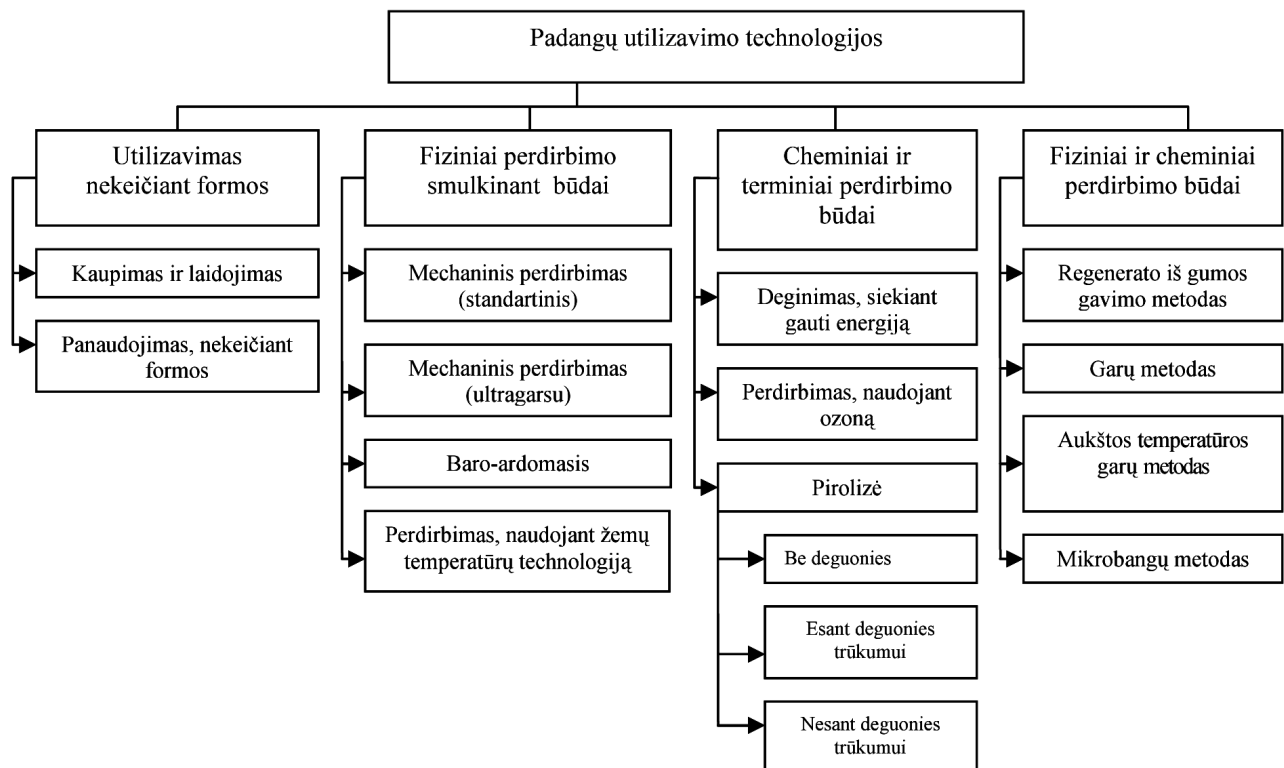
koeficientą pakeitė nedaug. Pritaikius Sheikin kriterijų K_p , buvo gautas rezultatas, kuris reiškė, kad guma modifikuoto tinko užšalimo ir atšilimo pasipriešinimas yra 7–8 kartus didesnis negu paprastojo tinko. Modifikuotojo tinko stiprumo savybės buvo 3–4 kartus blogesnės, palyginti su tinku be gumos priemaišų.

Dažniausiai perdirbtų guminių padangų atliekos naudojamos kaip degalai cemento pramonėje, krosnyse. (Kerševičius 2002; Silvestravičiūtė, Šlėnotaitė-Budrienė 2002). Besisukanti krosnis turi labai didelę temperatūrą, kuriai esant visi padangos elementai sudega, kordas lydosi, pakeisdamas svarbiausią priedą klinkeryje – geležį. Be to, efektyviai panaudojama proceso metu degančių gumos atliekų šiluma.

Straipsnyje analizuosime naudotų padangų utilizavimo ir regeneravimo technologijas, kurios technologiškai bei ekonomiškai yra galimos ir racionalios.

Termolizės, mechaninio perdirbimo (standartinio ir ultragarsu) bei baro-ardomasis metodas

Siekdami paprastumo ir geresnio supratimo, čia susisteminiame žinomas padangų utilizavimo (perdirbimo technologijas (1 pav.).



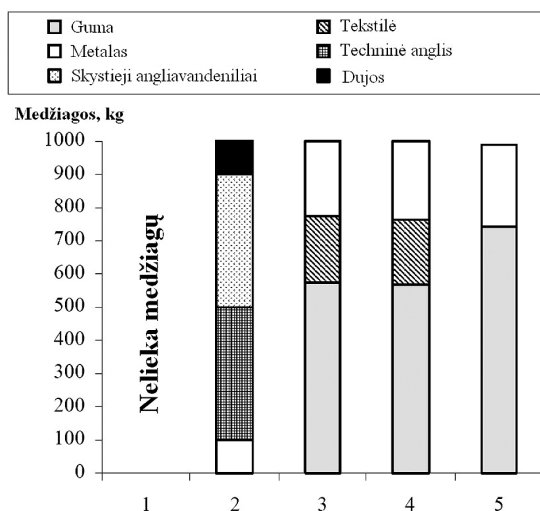
1 pav. Žinomos padangų utilizavimo technologijos

Fig. 1. Known tyre recycling technologies

Bus įvertintos ir palygintos penkios populiarios padangų perdirbimo technologijos ir jų poveikis aplinkai.

Naudotų padangų būvio ciklo analizė buvo atlikta pagal būvio ciklo vertinimo (BCV) reikalavimus (EN ISO 14041:1998). BCV pateikia visuminį požiūrį į gaminio poveikį aplinkai ir leidžia priimti sprendimus, kaip gaminti švaresnį produktą.

Mechaninio perdirbimo, termolizės ir naudotų padangų sudeginimo metu gaunama energija ir medžiagos: dujos, skystasis kuras, guma, metalas, tekstilė ir techninė anglis. Lyginamieji šais metodais gaunami medžiagų kiekio duomenys pateikti 2 pav.



2 pav. Medžiagos, gautos perdirbus 1 t naudotų padangų: 1 – sudeginant cemento krosnyje; 2 – termolizė; 3 – mechaninis perdirbimas (paprastasis); 4 – baro-ardomasis perdirbimas; 5 – mechaninis perdirbimas (ultragarsu)

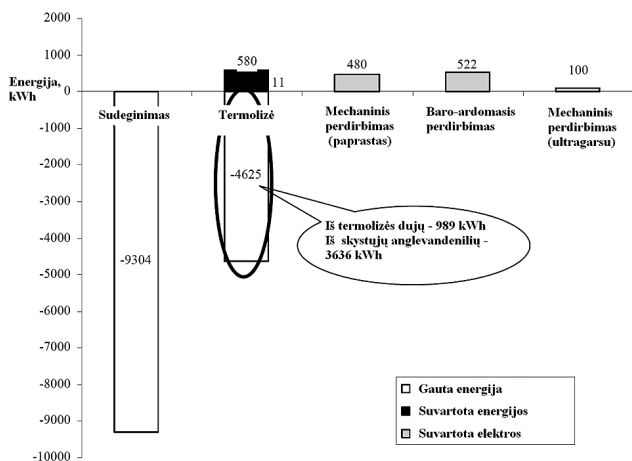
Fig. 2. Material outputs per functional unit (from recovery of 1 tonne of tyres): 1 – co-incineration in cement kiln; 2 – thermolysis; 3 – mechanical recycling (conventional); 4 – bar-destructive recycling; 5 – mechanical recycling (ultrasound)

Palyginus visų išanalizuotų technologijų suvartojamus ir gaunamus energijos kiekius (2 pav.), matyti, kad daugiausia energijos suvartoja baro-ardomasis naudotų padangų perdirbimo metodas, o daugiausia energijos gaunama tiesiogiai deginant padangas.

Baro-ardomasis metodas (3 pav.) reikalauja daugiausia elektros energijos (522 kWh vienai tonai padangų). Daugiausia energijos sukuria tiesioginis padangų sudeginimas (9304 kWh vienai tonai padangų). Energijos požiūriu padangų sudeginimas cemento krosnyse sukuria 2 kartus daugiau energijos negu termolizės atveju.

Padangų sudeginimas išskiria į atmosferos orą daugiausia teršalų, palyginti su kitais metodais. Naudojant anglį be priemaišų, teršalų kiekis irgi labai didelis. Mechaninio apdirbimo metu (paprastojo) buvo išgauta

daugiausia produktų, kurie vėliau galės būti regeneruojami ir panaudojami statyboje.



3 pav. Gaunamos ir suvartojamos energijos palyginimas, sudeginant 1 t padangų

Fig. 3. Comparison of energy consumption and production per functional unit (recovery of 1 tonne of tyres)

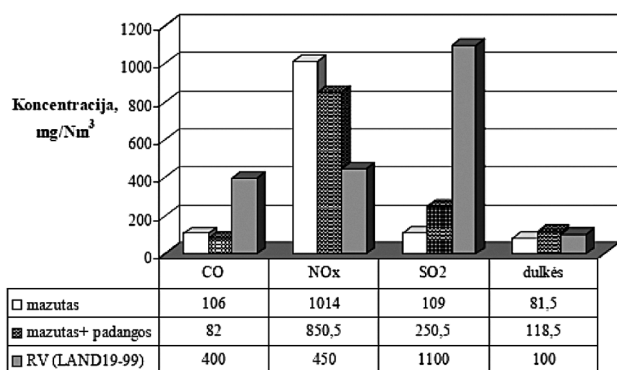
Padangų naudojimo kurui galimybė

2001 m. birželio 19–20 d. AB „Akmenės cementas“ buvo atliktas ekeperimentas pagal įmonės specialistų parengtą ir su Aplinkos ministerija suderintą technologinį reglamentą. Eksperimento metu klinkerio degimo sukamojoje krosnyje buvo deginama 10,5 t/h mazuto ir 0,5 t/h smulkintų padangų.

Krosnies emisijų tyrimai parodė, kad didžioji emisijų dalis – dulksės ir mazuto degimo produktai: SO₂, NO_x ir CO. Azoto oksidų ir anglies monoksido išsiskyrimas į aplinkos orą nežymiai sumažėjo, o cemento dulkių ir sieros dioksido – padidėjo (4 pav.). Nevisiško degimo produktų – polichlorbifenilų, furanų, policiklinių aromatinių angliavandenilių ir kitų chlororganinių junginių – nerasta; cemento gamybos dulkių, cemento ir klinkerio toksiškumo padidėjimo irgi nenustatyta.

Rezultatai parodė, kad priemaišų kiekiai cimente, naudojant kurui padangų gumą, praktiškai nepakito, palyginti su priemaišų kiekiais, esančiais cimente, pagamintame naudojant kurui vien tik mazutą (Aplinkos tyrimo ataskaita 2001).

Padangų deginimo klinkerio sukamosiose krosnyse eksperimentai rodo, kad emisijos neviršija atliekų deginimo normatyvų. Netgi pastebimas teigiamas efektas – gerokai sumažėja NO_x emisija, o tai ypač svarbu cemento pramonėje. Galime pasidžiaugti ir ekonomine šio metodo nauda. Mokėstis, taikomas už aplinkos teršimą iš stacionariųjų taršos šaltinių NO_x tarifas yra 587 Lt/t (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Alytaus regiono aplinkos apsaugos departamentas 2009).



4 pav. Eksperimento emisijų matavimų rezultatai sukamojoje klinkerio krosnyje, kuriai naudojant mazutą ir padangas, bei jų palyginimas su LAND 19-99 ribinėmis vertėmis (RV)

Fig. 4. Results of experiments using tyres as alternative to fuel in chamber and comparison to LAND 19-99 critical values.

1 lentelė. Eksperimento emisijų matavimų rezultatai kuriai, naudojant mazutą ir padangas

Table 1. Emission experiment results using tyre as alternative to fuel

Teršalas	Koncentracija, mg/Nm ³		Išrinkti teršalų ribinė vertė, mg/Nm ³ pagal LAND 19-99 reikalavimus
	Deginant mazutą	Deginant mazutą ir padangas	
Neorganiniai chloro junginiai (HCl)	0,81	1,1	100
Neorganiniai fluoro junginiai (HF)	0,135	0,121	8
Pb+Cr+Cu+Mn	0,049	0,77	5
Ni+As	0,039	0,017	1
Hg+Cd	0,0003	0,0008	0,2
Dioksinai ir foranai	nerasta	nerasta	Pavojingom atliekom 0,1 ng/m ³

Gumos poveikis kelio dangos konstrukcijai

Betonas, modifikuotas perdirbta guma (BMPG), sudomino daugelį per pastaruosius metus, kadangi parodė gerus tyrimų rezultatus ir yra viena iš padangų utilizavimo alternatyvų (Kerševičius, Skripkiūnas 2001). Ši nauja medžiaga suteikia geras mechanines statines ir dinamines charakteristikas ir yra naudojama kelių dangoms.

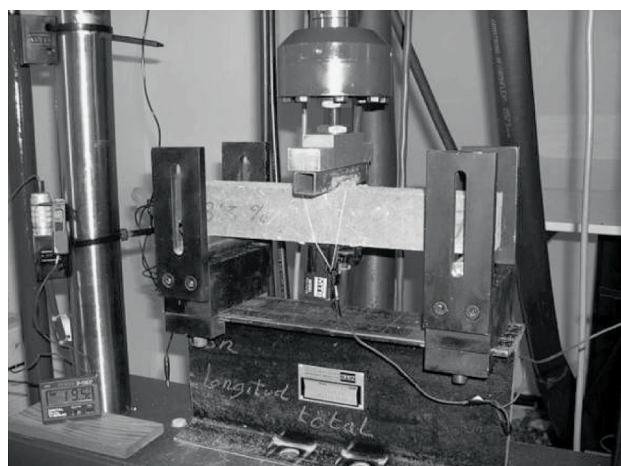
Hernandez-Olivares *et al.* (2006) tyrimai atlikti su prizmės formos bandiniais 90×60×5 cm (5 pav.). Šie bandiniai visus metus buvo veikiami natūralių oro sąlygų (Madridas, Ispanija). Remiantis tyrimo rezultatais, buvo atlikta analizė pagal „Westergaard“ teoriją apie plokščias plytas su elastiniu pagrindu. Ši teorija buvo modifikuota ir pritaikyta tyrimams, kad būtų įmanoma apskaičiuoti minimalų storį BMPG kelių dangoms. Dangos yra veikiamos didelio automobilių srauto. Nustatant jų patvarumą, šios kelio dangos su ašies apkrova 13 t buvo veikiamos ciklų skaičiaus – 10⁶, o tai atitinka AASHTO standartus (*American Association of State Highway and Transportation Officials* 1993).

Sijelių lankstymo tyrimai atlikti CEDEX (Kelių tyrimų centro) laboratorijoje (Ispanija). Bandymai buvo atliekami MTS 810 hidrodinaminio įrenginiu (6 pav.).



5 pav. BMGP bandinys (90×60×5 cm³) veikiamas vėjo, atliekant Kraai testą

Fig. 5. CMBTR (concrete modified by tyre rubber) 90×60×5 cm under wind during the Kraai test.



6 pav. Dinaminis MTS 810 įrenginys iš CEDEX laboratorijos (Madridas)

Fig. 6. Dynamic MTS 810 facility from CEDEX Laboratory (Madrid)

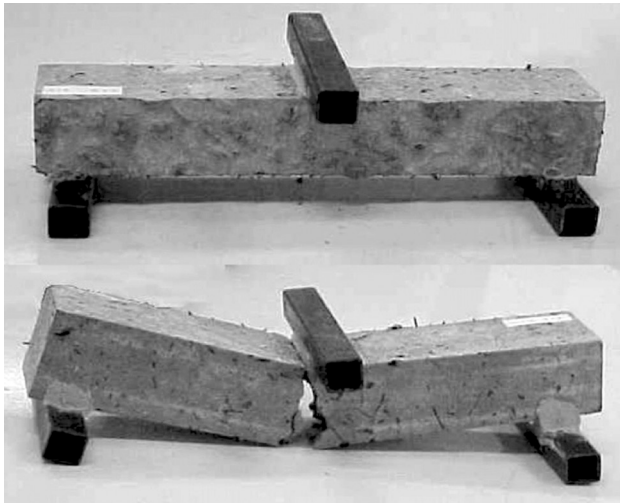
Trys atsparumo lenkimui bandymai buvo atlikti su apkrovos valdymu veikiant 10 Hz dažniui. Siekiant išvengti jėgos koncentracijos spaudimo vietose, trys metaliniai strypai iš tuščiavidurio metalo (2×2 cm², 2 mm storio) buvo išpjauti ir uždėti ant bandinių (7 pav.).

Atsparumas lenkimui šiame tyrime BMPG su 3,5 % gumos priedo koncentracija aprašomas naudojant apatinės ribos formulę, esant 95 % patikimumo intervalui:

$$\sigma_{stipr. lenk., 95} = -0,3 \log_{10}(N_{ciklai}) + 5,4 \text{ Mpa}, \quad (1)$$

čia N_{ciklai} – apkrovos ciklų skaičius.

Pagal šią formulę, atsparumas lenkimui 10⁶ apkrovos ciklų yra 3,8 Mpa (8 pav.), kai standartinio – 3,9 MPa. Ši reikšmė yra nežymiai mažesnė nei betono be gumos priemaišų.



7 pav. BMGP bandiniai (5×5×25 cm³) prieš ir po bandymo lenkiant

Fig. 7. CMBTR (concrete modified by tyre rubber) 5×5×25 cm³ before and after fatigue stress test

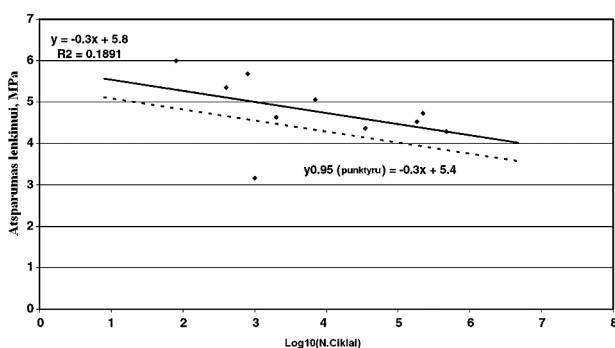
Jungo modulis kelio dangai nustatomas pagal viršutinę ribą, kai patikimumo intervalas 95 %, kaip parodyta (2) formulėje:

$$E_{3,5; lenkimo; 95} = 1,9 \text{Log}_{10}(N_{ciklai}) + 16,1 \text{ GPa}. \quad (2)$$

Taigi, Jungo modulis po 10 apkrovos ciklų yra 27,4 GPa (9 pav.), kai standartinio – 25,1 GPa. Ši reikšmė atitinka dinaminį Jungo modulį, gautą atliekant dinaminį bandymą 60 °C (Hernandez-Olivares *et al.* 2004).

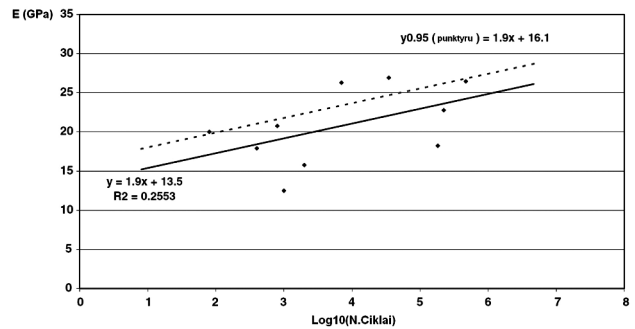
Maksimali deformacija, lenkiant bandinį su 3,5 % perdirbtos gumos koncentracija, yra pavaizduota 10 pav. Čia riba taip pat nustatoma pagal žemutinę ribą su 95 % patikimumo intervalu:

$$\varepsilon_{3,5; lenk.; 95\%} = -32,4 \text{Log}_{10}(N_{ciklai}) + 340,8. \quad (3)$$



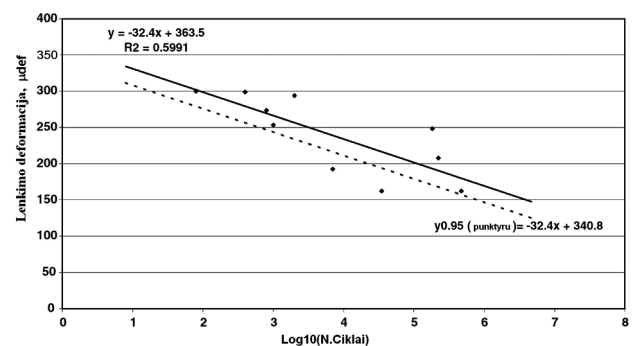
8 pav. BMPG bandinio su 3,5 % gumos priedu atsparumo lenkimui ir apkrovos ciklų santykis

Fig. 8. Relationship between failure stress and number of cycles CMBTR (concrete modified by tyre rubber) with 3,5% rubber additive



9 pav. BMGP bandinio su 3,5 % gumos koncentracija Jungo modulis ir apkrovos ciklų priklausomybė

Fig. 9. Relationship between dynamic Young modulus (E) and number of cycles obtained in the test on CMBTR (concrete modified by tyre rubber) with 3,5 % rubber additive



10 pav. BMPG bandinio su 3,5 % gumos priedu lenkimo deformacijos ir apkrovos ciklų santykis

Fig. 10. Relationship between failure flexural strain and number of loading cycles obtained in the test of CMBTR (concrete modified by tyre rubber) with 3,5 % rubber additive

Pagal šį kriterijų, betono, modifikuoto 3,5 % gumos priemaišų, lenkimo deformacija po 10 ciklų apkrovos yra 146 μdef (standartinio – 169 μdef).

Buvo atlikti bandymai ir su 5 % gumos priedu. Nustatytas atsparumas lenkimui 3,0 Mpa, deformacija lenkiant – 155 μdef , Jungo modulis lygus 21,6 GPa. Ši reikšmė mažesnė už dinaminį Jungo modulį, gautą per dinaminius tyrimus bet kokiame temperatūrų intervale (Hernandez-Olivares *et al.* 2004).

Siekiant nustatyti kelio dangos ir BMPG pasekmes konstrukcijai, buvo įvertinta maksimali apkrova (sunkvežimio vienos ašies 13 t slėgimas). Jėga pridėta atsizvelgiant į pavojingiausią apkrovos vietą.

Kietas grindinys buvo pagamintas plokštės pavidalo ir uždėtas ant tampraus pasluoksnio. Buvo naudojamos kelios apkrovos reikšmės – nuo 50 iki 150 MPa/m. Siekiant įvertinti apkrovos spindulį, buvo naudojama padanga su 0,7 MPa slėgiu, kuri spaudė bandinį.

Westergaard teorinėmis formulėmis galime apskaičiuoti tris skirtingus atvejus, priklausančius nuo jėgos veikimo vietos:

1) apkrova pridėta prie bandinio centro:

$$\sigma_{\max I} = \frac{3W(1+\nu)}{2\pi t^2} \left(\ln \left(\frac{L_e}{R_0} \right) + 0,6159 \right); \quad (4)$$

2) apkrova pridėta prie bandinio krašto:

$$\sigma_{\max I} = \frac{0,863W(1+\nu)}{t^2} \left(\ln \frac{L_e}{R_0} + 0,207 \right); \quad (5)$$

3) apkrova pridėta prie bandinio kampo:

$$\sigma_{\max I} = \frac{3W}{t^2} \left[1 - 1,083 \left(\frac{R_0}{L_e} \right)^{0,6} \right]; \quad (6)$$

čia W – pridėta apkrova; t – betono storis, m; ν – betono Puasono koeficientas; L_e – ilgis, m; R_0 – kontakto spindulys tarp padangos ir kelio dangos, m.

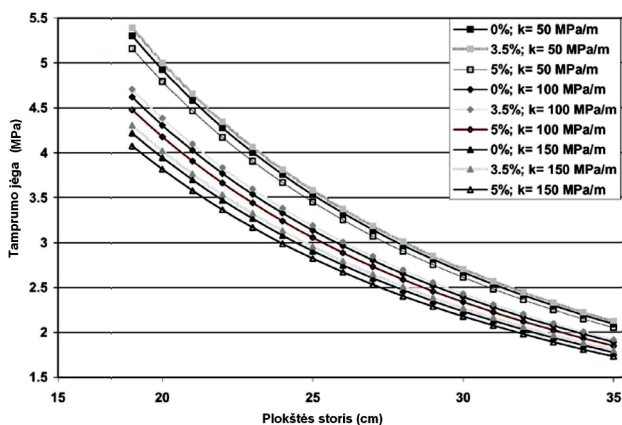
L_e gali būti apskaičiuotas naudojant formulę:

$$L_e = 4 \sqrt[3]{\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)k}}; \quad (7)$$

čia k – pasluoksnio reakcijos modulis, MPa/m; E – betono Jungo modulis, GPa; t – betoninės plokštės storis; ν – betono Puasono koeficientas.

Pritaikius minėtas formules ir atsižvelgus į tyrimų rezultatus, gali būti atlikti BMPG bandinio storio skaičiavimai, priklausomai nuo nustatytų apkrovų ir atsparumo reikšmių (11 pav.).

Pasluoksnio reakcijos modulis turi didelę įtaką plokštės storiui, kuris reikalingas tamprumo jėgai veikti. Kuo mažesnė modulio reikšmė, tuo didesnė tamprumo jėga.

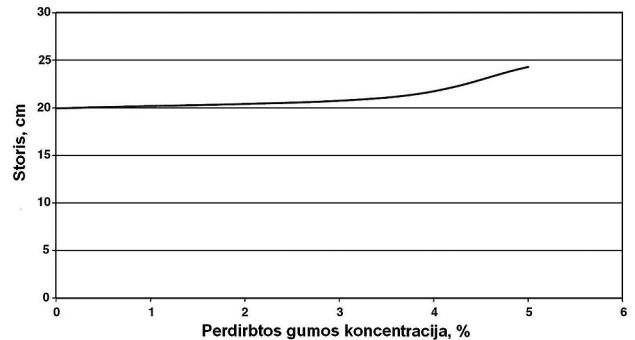


11 pav. Tamprumo jėgos ir betono plokštės storio santykis (antrajam variantui, kai jėga pridėta bandinio krašte)

Fig. 11. Relationship between the Maximum tension stress and the thickness of the slab (force added on the edge of the slab)

Atlikus skaičiavimus, esant skirtingam gumos priemaišų koncentracijos lygiui, buvo nustatyta, kad, naudojant 3,5 % gumos papildų kiekį, betono plokštės storis padidėja 1 cm, palyginti su kontroliniu bandiniu be priemaišų (12 pav.).

Atlikus bandymus ir analitinius skaičiavimus su mėginiais atsparumo nuovargiui rezultatų sklaida viršijo kontrolinio mėginio stiprumo ir standumo normas (įvertinus 95 % patikimumo rodiklį.) Todėl BMPG taip pat gali būti naudojamas projektuose, kur reikalaujami maksimalūs įtempimai.



12 pav. Perdirbtos gumos koncentracijos bandinyje kiekis % ir betono storio santykis

Fig. 12. Relationship between recycled rubber concentration % and concrete slab thickness

Pirolizės technologijos taikymas senoms padangoms perdirbti

Danijoje, JAV ir Vokietijoje naudojama padangų pirolizė. Metodo esmė yra deguonies trūkumas, kuris užtikrina nevisišką atliekų degimo procesą, esant ~760 °C temperatūrai. Gaunamos dujos ir anglis, o pirolizė vyksta dėl anglies degimo. Pirolizės metu gautos dujos tiekiamos į termoreaktorių, kuriame jos sudegamos šildo vandenį. Krosnis ir kūryklos, naudojamos pirolizei, gali būti panašios į deginimo įrenginius, tačiau dirbs esant žemesnei temperatūrai ir mažesniai oro kiekiui negu reikalingas deginimui. Pirolizės metu susidarantys pelenai turi didelį tankį, tai sumažina atliekų kiekį. Pirolizės metu nevyksta sunkiųjų metalų redukcija. Iš katilo utilizatoriaus ventiliatorių ataušintas dujas tiekia į valymo įrenginį.

Pirolizės metodo trūkumai:

- aukšta temperatūra, todėl pirolizės įrenginiuose reikia naudoti specialius karščiui atsparius plienus;
- didelis išmetamų į atmosferą degimo produktų kiekis;
- susidarantių pirolizės metu dujų sprogamumas dėl didelės vandenilio koncentracijos (48–52 %).

Palyginkime šilumos gamybą, naudojant pirolizę su kitais deginimo metodais (2 lentelė):

2 lentelė. Pirolizės ir kitų deginimo technologijų palyginimas

Table 2. Comparison of pyrolysis and other technologies

Nr.	Kriterijus	Deginimas ant ardyno	Deginimas būginėse krosnyse	Pirolizė
1	Deginimo metodas	Tiesioginis	Tiesioginis	Kombinuotas
2	Padangų paruošimas (smulkinimas)	Nebūtinai	Būtinai	Nebūtinai
3	Padangų kiekis kure	100 %	5–10 %	100 %
4	Atitikimas ES padangų deginimo normatyvą (degimo laikas ne mažesnis nei 2 s, oro perteklius 11 %, temperatūra 1400 °C)	Sunkiai įvykdomi	Įvykdomi	Lengvai įvykdomi
5	Šlakų utilizavimo problema	Neišsprendžia	Išsprendžia	Neišsprendžia

Pirolizinis padangų perdirbimo metodas sudėtingas technologiniu ir konstrukciniu požiūriais, todėl sunkiai įvykdomas. Pirolizės metu išsiskiria papildomų cheminių produktų, kuriuos galima panaudoti. Pirolizę tikslinga organizuoti energotechnologiniame komplekse, jungiančiame naftos perdirbimo gamyklą, elektrinę ir cheminius produktus gaminančią chemijos gamyklą.

Išvados

1. Gumos regeneravimo technologijos (jų pakartotinis panaudojimas statyboje) nėra pats perspektyviausias būdas mažinti naudotų padangų kiekius. Kiekvienoje iš naudotų medžiagų (bitumo mastika, tinkas, keramika, betonas, asfaltbetonis) gautos fizikinės-mechaninės charakteristikos yra prastesnės už medžiagas be gumos priemaišų.
2. Didžiausi naudotų padangų ar techninės gumos atliekų kiekiai utilizuojami sukamosiose cemento klinkerio degimo krosnyse. Čia efektyviai panaudojama gumos atliekų degimo metu išsiskirianti šiluma. Lietuvoje gumos atliekų deginimas sukamosiose krosnyse nepatrauklus tuo požiūriu, kad padidina Akmenės rajono ir visos Šiaurės Lietuvos regiono cheminių užterštumą.
3. Naudojant 3,5 % gumos, siekiant atlaikyti 13 t ašies apkrovą, reikalingas 22 cm storio (20 cm be priemaišų) asfaltbetonis, o 5 % gumos koncentracija ši storį padidina iki 25 cm. Tai reikalauja papildomų išlaidų ir prieštarauja tendencijai ploninti kelių dangos storį.
4. Ekonomiškai – naudingiausias ir Lietuvoje kol kas perspektyviausias gumos atliekų sunaudojimo būdas –

deginimas sukamosiose cementinio klinkerio degimo krosnyse kartu su anglies dulkėmis ar kietojo kuro energetiniuose katiluose.

Literatūra

- Daukšas, J. 2004. *Environmental Control Technology*. VŠĮ Press: 167 (in Lithuanian).
- Kerševičius, V.; Skripkiūnas, G. 2001. Gumos atliekų panaudojimas portlandcementiniame betone, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 4(18): 40–45.
- Kerševičius, V. 2002. Gumos atliekos – statybinių medžiagų žaliava: techniniai ir ekonominiai utilizavimo aspektai, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 3(21): 72–77.
- Kizinievič, O.; Mačiulaitis, R.; Kizinievic, V. 2006. Use of Rubber Waste in the Ceramic, *Materials Science* 12(3): 237–242.
- Silvestravičiūtė, I.; Šleinotaitė-Budrienė, L. 2002. Naudotų padangų deginimo cemento pramonėje galimybės, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 3(21): 38–48.
- Stankevičius, V.; Grinys, A.; Miškinis, K.; Skripkiūnas, G. 2007. Acoustical Characteristics and physical-Mechanical Properties of Plaster with Rubber Waste Additives, *Materials Science [Medžiagotyra]* 13(4): 304–309.
- Babu, B. V. 2006. Life Cycle Inventory Analysis (LCIA), *Life cycle Assessment & Life Cycle Management Methodologies*.
- Chui-Te, C.; Li-Cheng, L. 2007. A laboratory study on stone matrix asphalt using ground tire rubber, *Construction and Building Materials* 21(5): 1027–1033.
- Eldin, N. N.; Senouci, A. B. 1992. Engineering Properties of Rubberized Concrete, *Canadian Journal Of Civil Engineering* 19: 912–923. doi:10.1139/192-103
- Hernandez-Olivares, F.; Barluenga, G.; Parga-Landa, B.; Bollati, M.; Witoszek, B. 2007. Fatigue behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete and its implications in the design of rigid pavements, *Construction and Building Materials* 21: 1918–1927. doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.06.030
- Khalid, H. A.; Artamendi, I. 2004. Mechanical Properties of Used – Tyre Rubber, *Engineering Sustainability* 157: 37–43. doi:10.1680/ensu.2004.157.1.37
- Reda Taha, M. M.; EI-Dieb, A. S.; EI-Wahab, M. A.; Abdel-Hameed, M. E. 2008. Mechanical, Fracture, and Microstructural Investigations of Rubber Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* 20(10): 640–649. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:10(640)
- Reznichenko, P. T.; Fetisova, V. E.; Sereda, G. I. 1975. *Mastic in the Building* 254. (in Russian)
- Serge, N.; Joekes, I. 2000. Use of Tire Rubber Particles as Addition to Cement Paste, *Cement and Concrete Research* 30: 1421–1425. doi:10.1016/S0008-8846(00)00373-2
- Tunsan, M. 2003. The Use of Waste Materials in Asphalt Concrete Mixtures, *Waste Management and Research* 21(2): 83–92.
- Weidong, C. 2006. Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, *Construction and Building Materials* 21(5): 1011–1015.
- LAND 19-99: *Pagrindiniai atliekų deginimo reikalavimai. Aplinkos tyrimo eksperimentiškai deginant naudotas padangas ataskaita. AM JTC*, 2001.

EN ISO 14041:1998. *Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis.*

Хрулев, В. М. 1970. Synthetic Glue and Mastic. *Use in the Building*: 367. (in Russian)

VEHICLE USED TIRES RECYCLING AND REGENERATION TECHNOLOGY ANALYSIS

J. Gavrilov, H. Sivilevičius

Abstract

The paper analyses waste tyre rubber treatment technologies. According to foreign countries and Lithuanian experiment results, positive and negative features of the utilization methods are presented. Data of experiments is presented using tyre rubber in clinker burning furnaces. Here is also information on the use of rubber additive in concrete and the impact to road design. Formulated conclusions.

Keywords: tyre rubber recycling, burning, thermolysis, modified concrete, utilization, acoustical characteristics, pyrolysis, flexural strain.