

## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

# VOLUOJAMOJO BETONO TAIKYMAS KROVININIO TRANSPORTO TERMINALŲ AIKŠTELĖMS

Rafal MICKEVIČ, Audrius VAITKUS\*

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2020 m. birželio 29 d.; priimta 2020 m. rugpjūčio 18 d.

**Santrauka.** Nuolatos yra ieškoma sprendimų, kaip sumažinti statybos kaštus, naudojamų medžiagų kiekį bei neigiamą poveikį aplinkai. Be to, nuolatos ieškoma būdų, kaip pritaikyti naujas technologijas ir medžiagas, siekiant paspartinti statybos procesą bei padidinti statinio ilgaamžiškumą. Projektuojant standartines betono dangos konstrukcijas, vadovaujantis KPT SDK 19 taisyklėmis, betono sluoksnis, priklausomai nuo dangos konstrukcijos klasės, kinta nuo 20 cm iki 29 cm. Alternatyva tradiciniam betono dangos konstrukcijos sprendiniui yra voluojamojo betono ant hidrauliškai surišto grunto pagrindo dangos konstrukcijos. Tokio tipo betone yra daug didesnė smulkioji užpildo dalis, todėl voluojamojo betono mišinys yra neslankus, o voluojant galima pasiekti didelį betono tankį ir konsolidaciją. Straipsnyje aprašyti eksperimentiniai tyrimai atlikti remiantis „Guide for roller-compacted concrete pavements“ gairėmis bei atliekant skaičiavimus automatizuota *StreetPave* programa. Eksperimento tikslai – parinkti optimalią voluojamojo betono dangos konstrukciją pagal pasirinktas projektines apkrovos sąlygas. Skaičiavimuose buvo naudojami dvylika skirtingų dangos konstrukcijų variantų, kuriuose pagrindiniai kintamieji buvo: žemės sankasos deformacijų modulis ( $E_{v2}$ ), hidraulinių rišiklių bei jonų mainus gerinančiu priedu sustiprintų gruntų sluoksnio (CTS) storis bei tamprumo modulis ( $E$ ). Taip pat skaičiavimai atlikti remiantis dviem scenarijais, darant prielaidą, kad po projektinio naudojimo laikotarpio pasireišusių plyšių kiekis dangos paviršiuje bus 5 % ir 10 %.

**Reikšminiai žodžiai:** betonas, voluojamasis betonas, klotuvai, stabilizavimas.

## Įvadas

Betono dangų konstrukcijos yra plačiai naudojamos orlaivių stovėjimo aikštelėse bei jūrų uostų aikštelėse, t. y. eismo zonose, kuriose vyrauja didelės tiek statinės, tiek dinaminės apkrovos, nes betono dangų konstrukcijos yra ilgaamžės, eksploatacijos metu reikalaujančios mažai priežiūros ir kartu atlaikančios dideles apkrovas (Chhorn et al., 2017; Damrongwiriyanupap et al., 2012).

Skiriamos trys betono dangų klojimo technologijų rūšys:

- klojamos slenkančiais klojiniais;
- modulinės dangos;
- klojamos voluojant betoną.

Modulinės dangos pasižymi greitesniu įrengimu ir remontu, todėl yra pranašesnės lyginant su dabartinėmis įprastomis slenkančiais klojiniais klojamomis betono dangomis. Modulinės dangos susideda iš betono modulių, kurie yra gaminami gamykloje ir transportuojami į statybvietę betonui pasiekus projektines stiprio charakteristikas, kurios leidžia užtikrinti modulinę dangų savybių

tolygumą bei eliminuoti medžiagų segregaciją, kuri yra didžiausia problema įrengiant klojamąsias dangas.

Voluojamasis betonas (angl. *Roller-compacted concrete*, RCC) – betono mišinys, turintis įprasto betono sudedamąsias dalis, tačiau, pakeitus jų proporcingumą, įgavęs kitokių savybių. Voluojamajame betone, lyginant su įprastu betonu, yra daug didesnė smulkioji užpildo dalis, todėl voluojamojo betono mišinys yra neslankus, o voluojant galima pasiekti didelį betono tankį ir konsolidaciją (Owino et al., 2014; Shrivastava ir Mishra, 2011; Wang et al., 2018). RCC išsiskiria tuo, kad gali būti transportuojamas savivarčiais, o įrengiamas naudojant asfalto klotuvą (Owino et al., 2014). RCC panaudojimo srities spektras yra gana didelis (Chhorn et al., 2017; National Concrete Pavement Technology Center, 2010):

- industrinių gamyklų privažiavimo keliai ir stovėjimo aikštelės;
- įvairiarūšės jūrų uostų aikštelės ir krovimo rampos;
- vilkikų aptarnaujami terminalai, sandėliavimo bei paskirstymo centrai;

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [audrius.vaitkus@vgtu.lt](mailto:audrius.vaitkus@vgtu.lt)

- mažo eismo intensyvumo gatvės ir keliai;
- orlaivių stovėjimo aikštelės;
- trumpalaikės ir ilgalaikės apkrovos zonos karo technikai, puolimo ir atsitraukimo bazės, aerodromai;
- transporto priemonių priežiūros centrai;
- kompostavimo aikštelės;
- prekybos centrų transporto priemonių stovėjimo aikštelės;
- miško kirtimų keliai bei krovos aikštelės;
- greitkelių ir automagistralių šoninės saugos juostos;
- laikino eismo zonos (juostos);
- pėsčiųjų ir dviračių takai.

Voluojamojo betono privalumai (Hamzah ir Al-Sha-deedi, 2008):

- greitas įrengimas;
- ekonomiškumas;
- ilgaamžiškumas;
- sugebėjimas atlaikyti didelius įtempimus;
- didelė laikomoji geba.

## 1. Reglamentuotos betono dangos konstrukcijos

Siekiant tinkamai suprojektuoti betono dangos konstrukcijos sprendinius, turi būti vadovujamasi KPT SDK 19 taisyklėmis, kuriose yra nurodytos standartinės betono dangos konstrukcijos (žr. 1 lentelę). Taisyklėse KPT SDK 19 standartinės betono dangos konstrukcijos yra pateiktos atsižvelgiant į projektuojamame ruože vyraujančias transporto priemonių apkrovas, kurios yra išreikštos 10 t ekvivalentinės standartinės ašies apkrovos pravažiavimų skaičiumi. Tokios dangos konstrukcijos kartais gali būti neracionalios, nes jos tenkins tam tikrą 10 t ekvivalentinės standartinės ašies apkrovos intervalą. Projektinei apkrovai patenkant į žemesnę intervalo ribą, standartinės dangos konstrukcijos gali būti per stiprios individualiu atveju, todėl dangos konstrukcijos įgyvendinimas gali pabrangti, o medžiagos bei lėšos būtų panaudotos neracionaliai.

## 2. Nagrinėjamas objektas

Nagrinėjamas objektas – krovinio transporto terminalo aikštelė, kurios projektinė apkrova yra lygi 1,21 mln. ribiniam 10 t ekvivalentinės standartinės ašies apkrovos prava-

žiavimų skaičiui. Vadovaujantis KPT SDK 19 taisyklėmis, nagrinėjamos krovinio transporto terminalo aikštelės dangos konstrukcija atitinka DK 2 (> 1,0–2,0 mln.), pagal kurią betono dangos sluoksnio storis turėtų būti 23 cm.

## 3. Tyrimo metodika

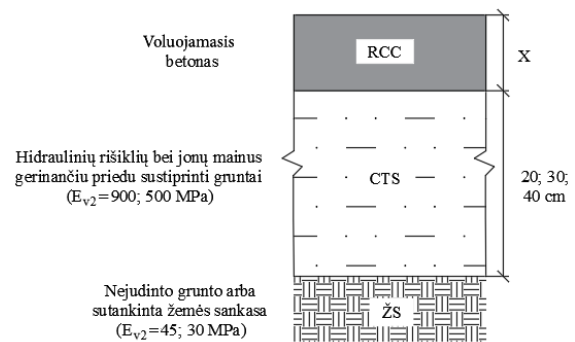
Tiriamąją krovinio transporto terminalo aikštelės dangos konstrukciją sudaro du sluoksniai:

- voluojamojo betono dangos sluoksnis (RCC);
- hidrauliškai stabilizuotas (su specialiaisiais priedais) žemės sankasos sluoksnis (CTS).

Voluojamojo betono dangos konstrukcijos suprojektuotos automatizuota skaičiavimo programa *StreetPave*. Skaičiavimo programoje *StreetPave* buvo suskaičiuoti voluojamojo betono dangos konstrukcijos storiai priklausomai nuo hidrauliškai stabilizuoto žemės sankasos sluoksnio storio bei jo standumo modulio (E). Skaičiuojant taip pat buvo laikoma, kad:

- voluojamojo betono lenkiamasis stipris 5,0 MPa;
- žemės sankasos deformacijų modulio ( $E_{v2}$ ) reikšmės atitinka 30 bei 45 MPa;
- plyšių kiekis po projektinio laikotarpio 5 bei 10 %.

Skaičiavimų variantai pateikti 2 lentelėje, skaičiavimo modelis pavaizduotas 1 paveiksle.



1 paveikslas. Voluojamojo betono dangos konstrukcijos modelis

Figure 1. Model of of roller-compacted concrete pavement structure

1 lentelė. Standartinės betono dangos konstrukcijos ant hidrauliniais rišikliais surišto sluoksnio  
Table 1. Standard concrete pavement structure on a hydraulically bound layer

Sluoksnio pavadinimas	Sluoksnio storis, cm							
	DK 100	DK 32	DK10	DK 3	DK 2	DK 1	DK 0,3	DK 0,1
Betono danga	27	26	25	24	23	20	20	20
Neaustinė geotekstilė	–	–	–	–	–	–	–	–
Viršutinė ŠNS dalis, surišta hidrauliniais rišikliais	201	151	151	151	151	15	15	15
ŠNS	*	*	*	*	*	*	*	*
ŽS ( $E_{v2} = 45 \text{ MPa}$ )	–	–	–	–	–	–	–	–

<sup>1</sup> – kai ŠNS iš blogos sanklodos grunto (pagal LST 1331), hidrauliniais rišikliais surištas sluoksnio storis turi būti padidintas 5 cm

\* – storis tikslinamas pagal KPT SDK 19 priklausomai nuo didžiausio įšalo gylio

2 lentelė. Voluojamojo betono dangos konstrukcijų skaičiavimo variantai

Table 2. Calculation variants of roller-compacted concrete pavement structures

ŽS $E_{v2}$ 30 MPa						
CTS	40 cm		30 cm		20 cm	
	Plyšių kiekis, %		Plyšių kiekis, %		Plyšių kiekis, %	
E = 500 MPa	5	10	5	10	5	10
E = 900 MPa						
ŽS $E_{v2}$ 45 MPa						
E = 500 MPa	5	10	5	10	5	10
E = 900 MPa						

#### 4. Tyrimo rezultatai

Atlikus skaičiavimus *StreetPave* automatizuota programa, nustatytos voluojamojo betono dangos sluoksnio mažiausios reikšmės.

Iš skaičiavimo rezultatų matyti, jog darant prielaidą, kad plyšių kiekis po projektinio laikotarpio bus lygus 5 %, voluojamojo betono dangos sluoksnio storis yra 179,83 mm, kai dangos konstrukciją sudaro 30 MPa deformacijos modulio ( $E_{v2}$ ) žemės sankasa, 40 cm ir 500 MPa standumo modulio (E) hidraulinių rišiklių bei jonų mainus gerinančiu priedu sustiprintų gruntų sluoksnis (CTS), sumažinus CTS sluoksnio storį iki 30 cm, apskaičiuotas voluojamojo betono sluoksnio storis yra lygus 182,88 mm, sumažinus iki 20 cm – 186,94 mm. Padidinus žemės sankasos deformacijos modulio ( $E_{v2}$ ) reikšmę iki 45 MPa, voluojamojo betono dangos sluoksnis esant CTS sluoksnio storiui 40 cm – 173,74 mm, 30 cm storiui – 176,02 mm, 20 cm storiui – 179,07 mm. Padidinus CTS sluoksnio standumo modulio reikšmę iki 900 MPa, voluojamojo betono dangos sluoksnio storis 176,53 mm, kai žemės sankasos  $E_{v2}$  30 MPa, o CTS sluoksnio storis 40 cm, kai storis 30 cm – 179,83 mm, storis 20 cm – 184,15 mm. Padidinus žemės sankasos deformacijos modulio ( $E_{v2}$ ) reikšmę iki 45 MPa, voluojamojo betono dangos sluoksnis

nis 171,20 mm esant CTS sluoksnio storiui 40 cm, esant 30 cm storiui – 173,48 mm, 20 cm storiui – 176,78 mm. Susisteminti rezultatai pateikti 3 lentelėje, voluojamojo betono dangos sluoksnio storių palyginimai pateikti 2, 3, 4 bei 5 paveiksluose.

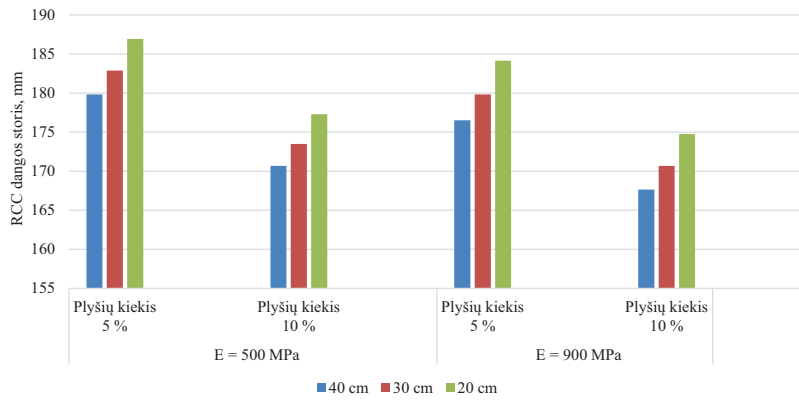
Darant prielaidą, kad plyšių kiekis po projektinio laikotarpio bus lygus 10 %, voluojamojo betono dangos sluoksnio storis yra 170,70 mm, kai dangos konstrukciją sudaro 30 MPa deformacijos modulio ( $E_{v2}$ ) žemės sankasa, 40 cm ir 500 MPa standumo modulio (E) hidraulinių rišiklių bei jonų mainus gerinančiu priedu sustiprintų gruntų sluoksnis (CTS), sumažinus CTS sluoksnio storį iki 30 cm, apskaičiuotas voluojamojo betono sluoksnio storis yra lygus 173,48 mm, sumažinus iki 20 cm – 177,29 mm. Padidinus žemės sankasos deformacijos modulio ( $E_{v2}$ ) reikšmę iki 45 MPa, voluojamojo betono dangos sluoksnis 165,40 mm esant CTS sluoksnio storiui 40 cm, esant 30 cm storiui – 167,39 mm, 20 cm storiui – 169,96 mm. Padidinus CTS sluoksnio standumo modulio reikšmę iki 900 MPa, voluojamojo betono dangos sluoksnio storis 167,60 mm, kai žemės sankasos  $E_{v2}$  30 MPa, o CTS sluoksnio storis 40 cm, kai storis 30 cm – 170,69 mm, storis 20 cm – 174,75 mm. Padidinus žemės sankasos deformacijos modulio ( $E_{v2}$ ) reikšmę iki 45 MPa, voluojamojo betono dangos sluoksnis 163,10 mm esant CTS sluoksnio storiui 40 cm, esant 30 cm storiui – 165,10 mm, 20 cm storiui – 167,89 mm. Susisteminti rezultatai pateikti 3 lentelėje, voluojamojo betono dangos sluoksnio storių palyginimai pateikti 2, 3, 4 bei 5 paveiksluose.

#### Išvados

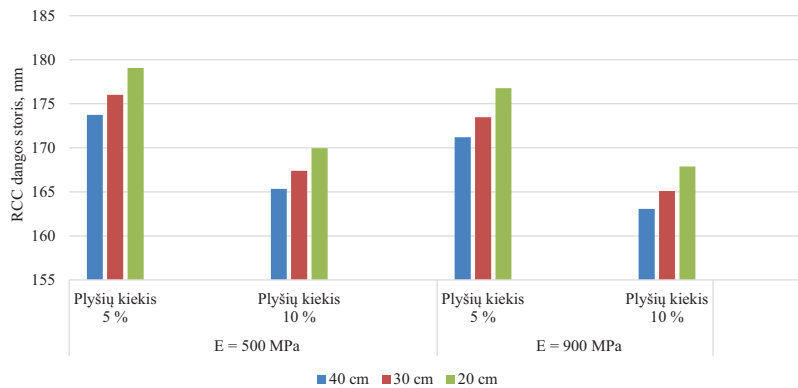
- Atlikus voluojamojo betono (RCC) dangos konstrukcijos sluoksnio storio skaičiavimus, nustatytas mažiausias, projektinę apkrovą (1,21 mln. ribinių 10 t ekvivalentinės standartinės ašies apkrovos pravažiavimų skaičių) tenkinantis RCC dangos konstrukcijos sluoksnio storis – 163,10 mm.
- Atsižvelgiant į voluojamojo betono dangos sluoksnio 0,5 cm projektinį storio kitimo žingsnį, galima teigti, kad hidrauliškai sustiprintų gruntų sluoksnio (CTS) storį padidinus nuo 20 cm iki 40 cm laiduojamas tik 1,0 cm mažesnis voluojamojo betono dangos storis.

3 lentelė. Apskaičiuoti voluojamojo betono dangos sluoksnio storiai  
Table 3. Calculated thicknesses of roller-compacted concrete pavement layer

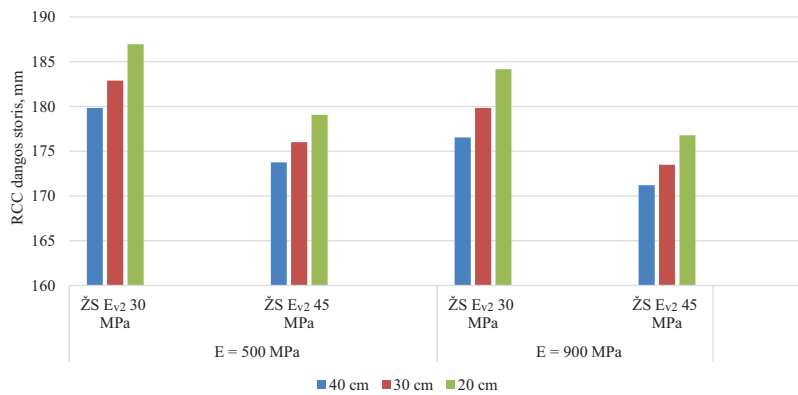
ŽS $E_{v2}$ 30 MPa						
CTS	40 cm		30 cm		20 cm	
	Plyšių kiekis 5 %	Plyšių kiekis 10 %	Plyšių kiekis 5 %	Plyšių kiekis 10 %	Plyšių kiekis 5 %	Plyšių kiekis 10 %
E = 500 MPa	179,83 mm	170,70 mm	182,88 mm	173,48 mm	186,94 mm	177,29 mm
E = 900 MPa	176,53 mm	167,60 mm	179,83 mm	170,69 mm	184,15 mm	174,75 mm
ŽS $E_{v2}$ 45 MPa						
E = 500 MPa	173,74 mm	165,40 mm	176,02 mm	167,39 mm	179,07 mm	169,96 mm
E = 900 MPa	171,2 mm	163,10 mm	173,48 mm	165,10 mm	176,78 mm	167,89 mm



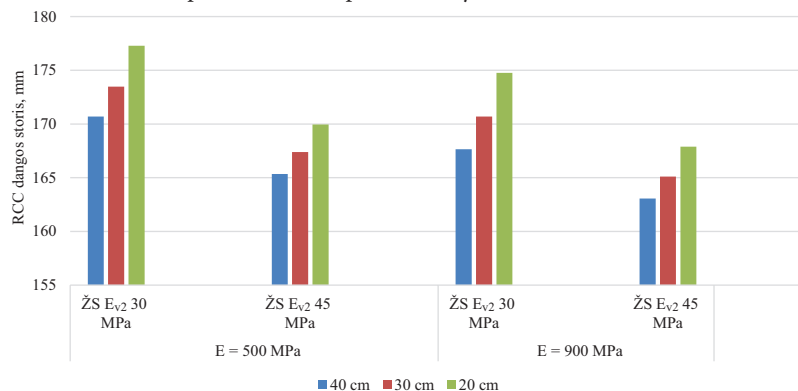
2 paveikslas. Voluojamojo betono dangos sluoksnio storiai, kai žemės sankasos  $E_{v2}$  30 MPa  
Figure 2. Thickness of the roller-compacted concrete pavement layer when subgrade  $E_{v2}$  30 MPa



3 paveikslas. Voluojamojo betono dangos sluoksnio storiai, kai žemės sankasos  $E_{v2}$  45 MPa  
Figure 3. Thickness of the roller-compacted concrete pavement layer when subgrade  $E_{v2}$  45 MPa



4 paveikslas. Voluojamojo betono dangos sluoksnio storiai, kai plyšių kiekis po projektinio laikotarpio 5 %  
Figure 4. Thickness of the roller-compacted concrete pavement layer with a crack content of 5% after the design period



5 paveikslas. Voluojamojo betono dangos sluoksnio storiai, kai plyšių kiekis po projektinio laikotarpio 10 %  
Figure 5. Thickness of the roller-compacted concrete pavement layer with a crack content of 10% after the design period

3. Hidrauliškai sustiprintų gruntų sluoksnio (CTS) standumo modulio įtaka yra labai reikšminga, padidinus šio sluoksnio standumo modulį nuo 500 MPa iki 900 MPa, CTS sluoksnio storį galima sumažinti 10 cm išlaikant tą patį voluojamojo betono sluoksnio storį.
4. Atlikus skaičiavimus taip pat nustatyta, kad voluojamojo betono dangos sluoksnio storiui turi įtakos pasirinktas plyšių kiekis po projektinio naudojimo laikotarpio. Nustatius voluojamojo betono dangos konstrukcijos storį, kai pasirinktas 5 % bei 10 % plyšių kiekis po projektinio naudojimo laikotarpio, buvo pastebėta, kad, padidinus plyšių kiekį nuo 5 % iki 10 %, voluojamojo betono dangos sluoksnio storį galima sumažinti iki 0,5–1,0 cm.
5. Skaičiuojant voluojamojo betono dangos konstrukcijos sluoksnio storį, didesni plyšių kiekį po projektinio naudojimo laikotarpio galima pasirinkti mažesnės reikšmės keliuose bei gatvėse taip sumažinant voluojamojo betono dangos konstrukcijos sluoksnio storį iki 1,0 cm.
6. Siekiant įvertinti ilgalaikį voluojamojo betono dangos konstrukcijos ant hidrauliškai sustiprintų gruntų funkcionalumą, priklausomai nuo CTS sluoksnio storio ir standumo modulio, eksploatacijos metu, rekomenduojama realioje voluojamojo betono dangos konstrukcijoje RCC ir CTS sluoksnių sandūroje įrengti skersinės deformacijos daviklius.

## Literatūra

- Chhorn, C., Hong, S. J., & Lee, S.-W. (2017). A study on performance of roller-compacted concrete for pavement. *Construction and Building Materials*, 153, 535–543. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.135>
- Damrongwiriyanupap, N., Liang, Y.-C., & Xi, Y. (2012). *Application of roller compacted concrete in Colorado's Roadways* (Report No. CDOT-2012-11, pp. 1–60). <http://rccpavement-council.org/wp-content/uploads/2016/08/RCC-Colorado-Roadways-Oct2012.pdf>
- Hamzah, A., & Al-Shadeedi, M. (2008). Evaluation of properties of roller compacted concrete. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 11(3), 366–373.
- National Concrete Pavement Technology Center. (2010). *Guide for roller-compacted concrete pavements*. Iowa.
- Owino, J. P., Fomunung, I., & Khalafalla, M. (2014). The recent development in the roller compacted concrete. *BIE Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 42–49.
- Shrivastava, H., & Mishra, S. P. (2011). Developing economical roller compacted concrete mix for pavements. *International Journal of Civil Structural Environmental and Infrastructure Engineering Research*, 1(1), 16–34.
- Wang, X.-h., Zhang, S.-r., Wang, C., Song, R., Shang, C., & Fang, X. (2018). Experimental investigation of the size effect of layered roller compacted concrete (RCC) under high-strain-rate loading. *Construction and Building Materials*, 165, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.033>

## APPLICATION OF ROLLER-COMPACTED CONCRETE IN FREIGHT TERMINALS

R. Mickevič, A. Vaitkus

Abstract

In these days constantly being looking for solution to reduce construction costs, the amount of materials used and the negative impact on the environment. Designing pavement structures with top layer of traditional concrete, the structures become very massive because of variation of concrete thickness from 20 cm to 29 cm according to the standard structures with concrete which are given in KPT SDK 19. An alternative to traditional concrete is roller-compacted concrete, the concrete with significantly larger fine aggregates which lead concrete mix to be non-slip. The roller-compacted mix can also achieve high concrete density and consolidation by rolling. The experimental studies were performed according to the guidelines of the “Guide for roller-compacted concrete pavements” and the automated StreetPave program. Twelve different variants of the pavement structure were used in the calculations, in which the main variables were: the modulus of deformation ( $E_{v2}$ ), the thickness of stabilized layer (CTS) and the modulus of elasticity (E). Calculations were also performed for two scenarios, assuming that the amount of cracks appearing on the surface of the top layer after the design period would be 5% and 10%.

**Keywords:** concrete, roller-compacted concrete, paver, stabilization.