



APLINKOS ORO NEIGIAMOS TEMPERATŪROS ĮTAKOS GELEŽINKELIO KONSTRUKCIJOS ĮŠALIMO GYLIUI LIETUVOJE MODELIAVIMAS

Deividas NAVIKAS¹, Henrikas SIVILEVIČIUS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹deividas.navikas@vgtu.lt; ²henrikas.sivilevicius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje pristatoma geležinkelio kelio konstrukcijos (GKK) sluoksnių temperatūrinio režimo modeliavimo „SV HEAT“ programa rezultatai. Jiems gauti naudojami šalčiausios žiemos Lietuvoje per pastaruosius 50 metų duomenys. Pagal Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos 1986 m. lapkričio mėn. – 1987 m. kovo mėn. Vilniaus regiono duomenis ir atliktus lauko eksperimentinių tyrimų rezultatus, buvo sumodeliuota temperatūros kaita GKK sluoksniuose. Buvo įvertinta aplinkos oro temperatūra (AOT) ir drėgmės kiekis sluoksniuose. Laboratorijoje buvo nustatytos GKK sluoksniams įrengti panaudotų medžiagų fizinės-mechaninės ir termodinaminės savybės. Drėgmės kiekis ir temperatūra GKK sluoksniuose išmatuoti jutukliais, įrengtais eksperimentiniame lauko stende DRET M II Slovakijoje. Naudojant bandomojo ruožo duomenis, buvo sumodeliuota temperatūros dinamika GKK sluoksniuose, kintant aplinkos oro temperatūrai. Modeliavimo rezultatai rodo, kad, pritaikius Slovakijos nacionalinius GKK projektavimo ir vertinimo metodikas, Lietuvos GKK turėtų būti įrengiamos su storesniu pobalastiniu sluoksniu (PBS). Naudojant šalčiausios žiemos per penkiasdešimt metų rezultatus, gautas 2 m įšalimo gylis rodo, kad GKK įšalo daugiau nei 95 cm.

Reikšminiai žodžiai: geležinkelio kelio konstrukcija (GKK), aplinkos oro temperatūra (AOT), šalčio indeksas, įšalimo gylis, „SV HEAT“ programa.

Įvadas

Geležinkelio kelio konstrukcija (GKK), veikiama traukinių eismo apkrovų, klimato ir aplinkos oro veiksnių, deformuojasi, dėl to kinta kelio kokybės indeksas (KKI) (Bai *et al.* 2015; Bezgin 2015; Silvast *et al.* 2013).

Pobalastinis sluoksnis (PBS) tarp balasto ir sankasos sluoksnių juos atskiria vieną nuo kito ir saugo sankasą nuo kritulių vandens. Jam rengti naudojamas žvyro ir smėlio mišinys. PBS turi vienodai paskirstyti įtempius, perduodamus į sankasą, juos mažinti didinant pasiskirstymo plotą. Jis privalo drenuoti lietaus ir požeminį vandenį, veikti kaip skiriamasis sluoksnis tarp balasto ir sankasos, neleisti medžiagos dalelėms iš žemesnių sluoksnių migruoti į viršų. Taip pat jis privalo būti toks, kad balastiniame sluoksnyje esantis vanduo nenutekėtų į sankasą ir visa kelio konstrukcija nesideformuotų per geležinkelio kelio naudojimo garantinį laikotarpį (Navikas *et al.* 2016).

Yra daug tyrimų, kuriuos atliekant vertinamas klimatinė veiksmų poveikis (Laurinavičius *et al.* 2016; Ižvolt *et al.* 2016; Yang *et al.* 2015) transportui ir galimi būdai neigiamą poveikį mažinti. Šie tyrimai buvo atlikti JAV (Meyer 2008), Australijoje (Harvey *et al.* 2004), Škotijoje (Galbraith, Price 2005), Didžiojoje Britanijoje

(Wooler 2003), Kanadoje ir kitose siaurės šalyse (Andrey, Mills 2003).

Šaltojo periodo „ekstremalumas“ GKK vertinamas pagal šalčio indekso dydį I_m (Hodas *et al.* 2016). GKK įšalimo gylis yra apibrėžiamas kaip 0 °C gylis nuo GKK paviršiaus. Įšalimo gyliui įtakos turi šie veiksniai: neigiama AOT, kuri apibrėžiama šalčio indeksu; sluoksnių termoizoliacinės savybės; GKK sluoksnių medžiagų savybės (medžiagos rūšis, drėgmės kiekis w , tankis ρ , granulimetrinė sudėtis).

Baltijos šalių regiono klimato stebėsena atliekama nuolat (Ustrnul *et al.* 2012; Tietäväinen *et al.* 2010; Klavins, Rodinov 2010). Atlikti tyrimai apie globalią klimato kaitą rodo, kad laipsniškas klimato šilimas kartais neatspindi konkrečių regionų klimato pokyčių (Morice *et al.* 2012). Todėl tiksliai vertinti kiekvieną regioną arba jo dalį galima tik konkrečiai stebint kiekvienos meteorologijos stoties duomenis.

Pagal Slovakijoje taikomą metodiką projektuojant ir parenkant PBS storį yra vertinama aplinkos oro temperatūros (AOT) įtaka GKK įšalimo gyliui.

Darbo tikslas – sumodeliuoti GKK sluoksnių termodinaminį režimą, esant kintamai AOT (didžiausio šalčio indekso žiemai per 50 metų) ir nustatyti maksimalų įšalimo gylį.

Aplinkos oro temperatūros (AOT) vertinimas

Regionuose, kuriuose temperatūra nukrinta žemiau 0 °C, GKK sluoksniuose susidaro esančios drėgmės kietasis būvis, t. y. ledo lizdės. Priklausomai nuo to, kiek neigiamos temperatūros periodas tęsiasi, GKK įšalimo gylis gali labai svyruoti. Kadangi GKK naudojamų medžiagų sluoksnių drėgmė skiriasi, tai ir įšalimo gylis gali būti skirtingas, todėl taikomose GKK projektavimo metodikose įvertinamas neigiamos temperatūros poveikis ir pagal tai parenkamas PBS storis. Kitas veiksnys, turintis įtakos PBS storiui, yra sniego dangos storis ir/arba kritulių kiekis, nuo kurių priklauso konstrukcinių sluoksnių įšalimo gylis.

Priklausomai nuo neigiamos temperatūros dydžio ir trukmės, kinta įšalimo gylis. Šaltuoju periodu eksploatuojamoje GKK įšalimo gylis neturėtų pasiekti sankasos konstrukcinio sluoksnio viršaus (Navikas, Sivilevičius 2017).

Modeliuojant temperatūros pasiskirstymą GKK sluoksniuose, buvo panaudoti 1986 m. lapkričio – 1987 m. kovo mėn. laikotarpio Vilniaus regiono AOT duomenys (1 pav.).

Vidutinė kiekvienos AOT T_s , charakterizuojanti visą 24 h laikotarpį, skaičiuojama pagal tokią formulę:

$$T_s = \frac{T_7 + T_{14} + 2T_{21}}{4}, \quad (1)$$

čia T_7 , T_{14} ir T_{21} – išmatuotos temperatūros reikšmės, atitinkančios 7:00, 14:00 ir 21:00 Grinvičo laiku 2 m aukštyje virš žemės.

Šalčio indeksas I_m yra dažniausiai naudojamas rodiklis šaltojo periodo ekstremalumui apibūdinti. Juo nustatomas PBS storis. Kuo šis indeksas didesnis, tuo storesnis turėtų būti PBS. Kiekvienais metais jis įvairiose metodikose skiriasi. Slovakijoje naudojamas didžiausio indekso įvertis per 50 pastarųjų metų. Šalčio indeksas priklauso nuo paros vidutinės temperatūros, kuri priklauso nuo kitų veiksnių. Tiksliai šalčio indeksą galima nustatyti tik tiesiogiai matuojant AOT per kuo trumpesnį laiko periodą. Toks matavimas – išteklių reikalaujantis procesas. Todėl praktikoje taikomas supaprastintas būdas, kuriuo apskaičiuojamas šalčio indeksas (SV-HEAT - 2D/3D Geothermal... 2009):

$$I_m = \sum_{t_k}^{t_z} T_s, \quad (2)$$

čia t_k – pradinis laikas, kai paros vidutinė temperatūra T_s tapo neigiama; t_z – galutinis laikas, kai vidutinė paros temperatūra T_s paskutinį kartą buvo neigiama.

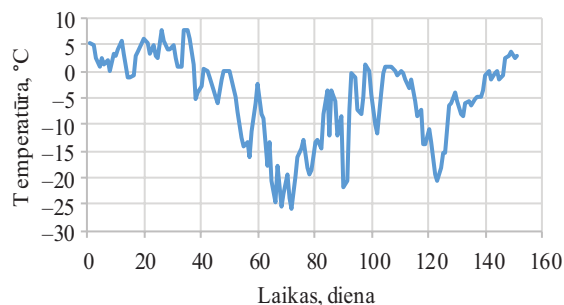
Šiuo būdu skaičiuojant šalčio indeksą, sumuojamos visos vidutinės paros temperatūros be pertrūkio. Taip gaunama maksimalių neigiamų AOT suma. Pasirinkto laikotarpio (1986 m. lapkričio mėn. – 1987 m. kovo mėn.)

$I_m = -904,2$ °C. To paties laikotarpio 2013–2014 m. šalčio indeksas $I_m = -260,6$ °C, o 2014–2015 m. $I_m = -147,1$ °C. Nors pastarųjų metų žiemos laikotarpio šalčio indeksai yra mažesni, pagal Slovakijos patirtį ir norminius GKK projektavimo dokumentus (TNŽ 72 1514: 2000; TNŽ 73 6312: 2005; Predpis ŽSR TS 3: 2012) Lietuvoje skaičiuojant I_m turėtų būti naudojamas 1986–1987 m. šaltasis periodas.

GKK modelio algoritmas SV HEAT programoje

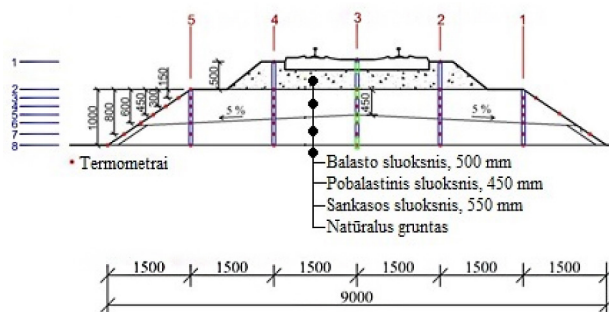
Nacionalinė Slovakijos GKK PBS, įrengto iš KG1/KG2, storio parinkimo metodika paremta vokiškąja patirtimi ir yra tokia pat kaip Lietuvoje (Apsauginio sankasos sluoksnio... 2013). Metodikoje nurodoma, kad PBS storio reikšmės, vertinant AOT, reikalauja teritorijos, kurioje numatoma tiesti geležinkelį, suskaidymo į šalčio poveikio zonas ir yra tik orientacinės. Todėl šias metodikas kiekviena šalis stengiasi tobulinti atsižvelgdama į besikeičiantį klimatą.

Modelis (3 pav.) buvo verifikuotas naudojant eksperimentinio stendo (DRETM II) (2 pav.) duomenis. Slovakijoje medžiagos, GKK sluoksnių įrengimo technologijos ir GKK geometriniai parametrai yra panašūs arba tokie pat kaip ir



1 pav. Tiriamojo laikotarpio (1986 m. lapkričio mėn. – 1987 m. kovo mėn.) Vilniaus regiono AOT kaita

Fig. 1. Change of ambient air temperature in examined period (November of 1986 – March of 1987) in Vilnius region



2 pav. Eksperimentinio lauko stendo DRETM II skerspjūvis (Dobeš 2015)

Fig. 2. Cross-section of the experimental stand DRETM II (Dobeš 2015)

Lietuvoje tiesiamuose geležinkelių keliuose. Todėl tyrime buvo panaudotas DRETМ II eksperimentinis standas (2 pav.) ir iš jo gauti pradiniai modeliavimo duomenys: kas 30 min fiksuojama GKK sluoksnių temperatūra bei drėgmės kiekis juose, keičiantis AOT.

„SV HEAT“ programinio paketo simuliacijų algoritmas grindžiamas netiesioginiu šilumos laidžio (λ), savitosios šiluminės talpos (C) ir temperatūros srauto kitimu konstrukciniuose sluoksniuose. Šis metodas pagrįstas į vieną pusę nukreipto šiluminio laidžio skirtingų konstrukcinių sluoksnių homogenišku medžiagų šilumos laidžių sumavimu, t. y. Furjė diferencine lygtimi (SV-HEAT – 2D/3D Geothermal... 2009):

$$q(x,t) = -\lambda \cdot \frac{\delta T(x,t)}{\delta x}, \quad (3)$$

čia $q(x,t)$ – šilumos srauto tankis taške x laiko momentu t ($W \cdot m^{-2}$); λ – šilumos laidis ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$); $T(x,t)$ – temperatūra taške x laiku t (K).

Vykstant realiems šilumos mainų procesams grunte, jo temperatūra ir šilumos srauto greitis visą laiką kinta. Dėl to temperatūros kitimo greitis grunte įvertinamas šilumos tolydumo lygtimi (4):

$$\frac{\delta q(x,t)}{\delta x} = -q \cdot c \cdot \frac{\delta T(x,t)}{\delta t}, \quad (4)$$

čia q – lyginamasis svoris (kg/m^3); C – savitoji šiluminė talpa ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

Taikant (3) ir (4) principus papildomai įvertinami šilumos mainai vertikalia ir horizontalia kryptimis. Taip pat į modelį įtraukiami šilumos laidžio (λ), savitosios šiluminės talpos (C) ir grunto tankio (ρ) parametrai.

GKK sluoksnio šilumos laidis gaunamas iš (3) ir (4) lygčių:

$$\lambda = 0,249 \cdot \frac{h^2}{\Delta t_c} \cdot \rho \cdot C, \quad (5)$$

čia h – sluoksnio storis (m).

Atlikus laboratorinį tyrimą matematinė išraiška (5) buvo naudojama modeliui naudojamų GKK šilumos laidžiams apskaičiuoti.

GKK modelio pradiniai duomenys

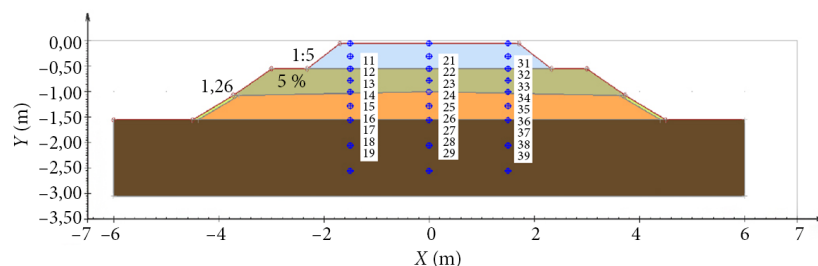
Modeliuoti buvo pasirinkta tipinė (dažniausiai naudojama) konstrukcija tiesiant geležinkelių kelius Lietuvoje (Apsauginio sankasos sluoksnio... 2013) ir Slovakijoje (TNŽ 72 1514: 2000; TNŽ 73 6312: 2005; Predpis ŽSR TS 3: 2012). Ją sudaro sankasos sluoksnis, įrengiamas iš žvyro ir gamtinio smėlio mišinio (0/63 mm), PBS (KG1) iš mineralinių medžiagų mišinio, 0/31,5 mm ir balasto sluoksnis – granitinės skaldos, 0/63 mm. Sankasos kraštuose esantis natūralus gruntas paskleistas 10 cm storio sluoksniu. Natūraliam gruntui, ant kurio įrengiama GKK, modeliuoti pasirinktas 150 cm storio priemolio gruntas. Visi GKK geometriniai parametrai pateikti 2 pav.

Naudojant SV HEAT programą parengiamas tokių pat geometrinių parametrų modelis kaip lauko standas DRETМ II (3 pav.). Į GKK, suprojektuotą pagal programą SV HEAT, įterpti termometrai (11–39), leidžiantys gauti temperatūros rezultatus skirtingame gylyje (3 pav.).

Vientisos medžiagos šilumos laidžio ir savitosios šiluminės talpos standartinės reikšmės pateiktos LST EN ISO 13370:2000, atsižvelgiant į statybos techninio reglamento STR.2.05.01:2013 duomenis. Tiksliesniems modeliavimo rezultatams gauti laboratoriniais bandymais buvo nustatytas sluoksnių šilumos laidžio rodiklis (4 pav.). Naudojant vientisos medžiagos standartinę šilumos laidžio reikšmę, neįvertinamas konkrečios medžiagos šilumos laidis, oro tuštymų ir drėgmės kiekis, esantis sluoksniuose. Todėl, panaudojus eksperimentiniais tyrimais gautus GKK sluoksnių šilumos laidžius, gaunamas patikimesnis GKK modeliavimo rezultatas.

Norint nustatyti AOT poveikį GKK, reikalingi sluoksnių termodinaminiai rodikliai: šilumos laidis, tankis, pradinė temperatūra, drėgmės kiekis sluoksniuose. Jie buvo nustatyti laboratorijoje (4 pav.) ir lauko eksperimentiniame stende DRETМ II (2 pav.).

Naudojamų mineralinių medžiagų tankis buvo nustatytas standartiniu metodu pagal LST 1360.6:1995. Sluoksnių vandens kiekis ir pradinė temperatūra nustatyti realiomis sąlygomis naudojant eksperimentinį standą



3 pav. GKK modelis, sudarytas termodinaminiais režimams modeliuoti pagal SV HEAT programą
Fig. 3. Railway construction model made up for thermodynamical process analysis in SV HEAT software



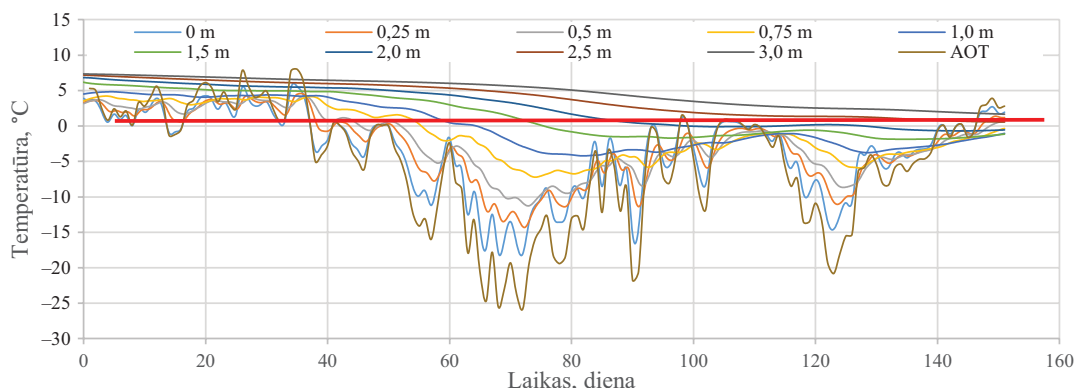
4 pav. Bandinio paruošimas šilumos laidžiui nustatyti:
a) – medžiagos ėminys; b) – bandinio forma

Fig. 4. Preparation of a sample for determining the thermal conductivity: a) – sample of the material; b) – form of sample

DRETM II (2 pav.). Vandens virsmo iš skystosios fazės į kietąją ir iš kietosios į skystąją temperatūros imamos kaip programinio paketo SV HEAT įvesties duomenys (1 lentelė).

1 lentelė. GKK sluoksniams naudojamų medžiagų savybių reikšmės
Table 1. Properties of materials used for railway construction layers

Savybė Medžiagos sluoksnis	Šilumos laidis, $J/(day \cdot m \cdot ^\circ C)$ (formulė (5))	Tankis, kg/m^3 (išmatuota)	Savitoji šiluminė talpa, $J/kg \cdot ^\circ C$ (LST EN ISO 13370:2000)	Ledo virsmo vandeniui temperatūra, $^\circ C$ (SV-HEAT - 2D/3D Geothermal... 2009)	Vandens virsmo ledu temperatūra, $^\circ C$ (SV-HEAT - 2D/3D Geothermal... 2009)	Drėgmės kiekis, % (išmatuota)	Pradinė temperatūra, $^\circ C$ (išmatuota)
Balasto	172 800	2198	1095	-0,01	-0,5	1,5	3
PBS	94 176	2130	1276	-0,01	-0,5	3,9	3,22
Sankasos	129 945	2081	1585	-0,01	-0,5	17,5	6,29
Viršutinis dirvos	120 960	1800	1000	-0,01	-0,5	20	3
Natūralaus grunto	103 680	1770	1582	-0,01	-0,5	15,7	7,3



5 pav. Temperatūros pasiskirstymas skirtingo gylio GKK sluoksniuose
Fig. 5. Distribution of temperature at different depths in the railway construction layers

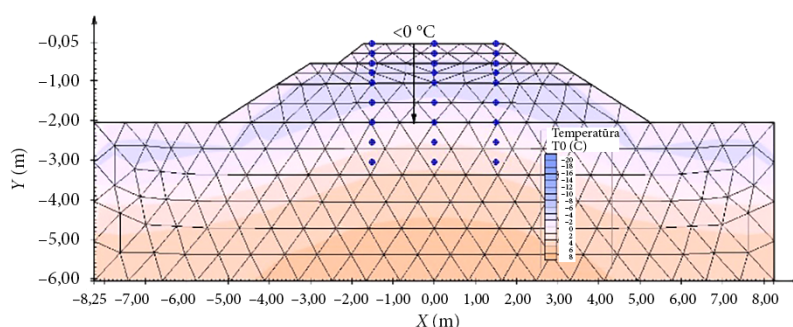
Rezultatai

Ištyrinėjus GKK sluoksniuose vykstančius procesus ir temperatūrų pasiskirstymus, gauti temperatūros skirtumai skirtinguose sluoksniuose ir jų sąlyčio zonose (5 pav.). Temperatūros reikšmės buvo matuojamos centriniais termometrais 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, kurių gylis GKK atitinkamai 0 m, 0,25 m, 0,5 m, 0,75 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, SV HEAT programos modelyje (3 pav.) laiko žingsniu $t = 0,5$ h.

GKK pobalstinio sluoksnio viršuje žemesnė nei $0^\circ C$ temperatūra užfiksuota 52 dieną. 70 dieną PBS buvo peršalęs visiškai. 99 dieną išalimo gylis pasiekė maksimalią 2 m reikšmę (6 pav.).

Šalčio skverbties greitis PBS gautas imant laikotarpį nuo 40 dienos iki 60 dienos. PBS viršuje šis greitis buvo $0,30^\circ C/dieną$, jo viduryje – $0,24^\circ C/dieną$ ir jo pabaigoje – $0,18^\circ C/dieną$ (5 pav.).

Iš vertikalųjų termometrų užfiksuotos temperatūros reikšmių analizės galima teigti, kad PBS neatitiko keliamų reikalavimų, nes išalimo gylis pasiekė sankasos sluoksnį ir visa GKK peršalo. Gautos temperatūrų reikšmės (5 pav.) rodo, kad, didėjant vertikaliai atstumui nuo žemės



6 pav. Maksimalus įšalimo gylis

Fig. 6. Maximum freezing depth

paviršiaus, AOT turi vis mažesnę įtaką (temperatūrų skirtumas mažėja). Kintant AOT netiesiškai, gilesnių sluoksnių temperatūros priklausomybė tampa vis labiau tiesiška.

Išvados

Naudojantis eksperimentiniu stendu DRETM II ir laboratorinių tyrimų duomenimis bei remiantis Lietuvos hidrometeorologijos stoties duomenimis, SV HEAT programiniu paketu sumodeliuoti šalčiausios žiemos per 50 metų (1986 m. lapkritis – 1987 m. kovas) GKK termodinaminiai procesai. Nustatyta GKK sluoksnių temperatūros kaita esant kintamai AOT.

Šalčio skerbties greitis nuo 40 dienos iki 60 dienos laikotarpiu PBS viršuje buvo 0,30 °C/dieną, jo viduryje – 0,24 °C/dieną ir jo pabaigoje – 0,18 °C/dieną.

GKK pobalastinio sluoksnio viršuje nustatyta įšalimo pradžia 52 dieną. Maksimalus 2 m įšalimo gylis gautas natūralaus grunto sluoksnyje 99 dieną. Pagal Slovakijos GKK projektavimo metodiką ši konstrukcija nebūtų tinkama – turėtų būti didinamas PBS storis.

Įvertinus globalaus klimato atšilimo sukeltus neigiamus AOT dydžius ir veikimo laiką (šalčio indeksas), drėgmės kiekį GKK sluoksniuose ir medžiagų, naudojamų GKK įrengti, fizines-mechanines bei termodinamines savybes, galima tobulinti GKK projektavimo norminius dokumentus, kuriuose tiksliai būtų parenkamas GKK pobalastinio sluoksnio storis.

Literatūra

Andrey, J.; Mills, B. 2003. *Climate change and the Canadian transport system: vulnerabilities and adaptations, weather and transportation in Canada*. Department of Geography Publication Series, Monograph 55.

Apsauginio sankasos sluoksnio įrengimo instrukcija. (275/K) (patvirtinta AB „Lietuvos geležinkeliai“ generalinio direktoriaus 2013 rugsėjo 6 d. įsakymu Nr. Į-827). Vilnius: UAB „Geležinkelių projektavimas“, 2013. 110 p.

Bai, L.; Liu, R.; Sun, Q.; Wang, F.; Xu, P. 2015. Markov – based model for the prediction of railway track irregularities, in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 229(2): 150–159. <https://doi.org/10.1177/0954409713503460>

Bezzin, N. O. 2015. Climate effects on the shoulder width measurements of prestressed concrete high speed railway sleepers of ballasted track, *Measurement* 75: 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.07.057>

Dobeš, P. 2015. *Optimization of the subgrade design for non-traffic load*: Dissertation thesis. University of Žilina, Faculty of Civil Engineering, Department of Railway Engineering and Track Management. (Slovakų k.)

Galbraith, R. M.; Price, D. J.; L. S. (Ed.). 2005. *Scottish road network climate change study*. Glasgow, The Scottish Government.

Harvey, M.; Whetton, P.; McInnes, K. L.; Cechet, B.; McGregor, J. L.; Nguen, K.; Houghton, N.; Lester, C.; Styles, E.; Michael, N. 2004. *Impact of climate change on road infrastructure*. Austroads, Report no. AP-R243/04, Austroads and the Bureau of Transport and Regional Economics, Sydney.

Hodas, S.; Išvolt, L.; Dobeš, P. 2016. Preliminary results and conclusions from mathematical modelling of thermal regime of railway track structure, *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements* 4(2): 69–79.

Išvolt, L.; Dobeš, P.; Pultznerova, I. 2016. Monitoring of moisture changes in the construction layers of the railway substructure body and its subgrade, *Procedia Engineering* 161: 1049–1056. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.847>

Yang, G. T.; Ke, Z. T.; Cai, D. G.; You, H. Y.; Yao, J. P.; Chen, F. 2015. Investigation of monitoring system for high-speed railway subgrade frost heave, *Sciences in Cold and Arid Regions* 7(5): 528–533.

Klavins, M.; Rodinov, V. 2010. Influence of large-scale atmospheric circulation on climate in Latvia, *Boreal environment research* 15: 533–543.

Laurinavičius, A.; Čygas, D.; Vaitkus, A.; Ratkevičius, T.; Bulevičius, M.; Mučinis, D.; Baltrušaitis, A. 2016. Research of snow melting materials performance efficiency for road winter maintenance, *Transport* 31(3): 322–332. <https://doi.org/10.3846/16484142.2016.1211551>

- LST EN ISO 13370:2000. *Šiluminės pastatų charakteristikos. Šilumos perdavimas gruntu. Apskaičiavimo metodai (ISO 13370:1998).*
- LST 1360.6:1995. *Automobilių kelių grantai. Bandyto metodai. Grunto tankio nustatymas.*
- Meyer, M. D. 2008. *Design Standarts for U. S. Transportation infrastructure: the implications of climate change.* Georgia Institute of Technology.
- Morice, C. P.; Kennedy, J. J.; Rayner, N. A.; Jones, P. D. 2012. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 117(D8). <https://doi.org/10.1029/2011JD017187>
- Navikas, D.; Bulevičius, M.; Sivilevičius, H. 2016. Determination and evaluation of railway aggregate sub-ballast gradation and other properties variation, *Journal of Civil Engineering and Management* 22(5): 699–710. <https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1177586>
- Navikas, D.; Sivilevičius, H. 2017. Modelling of snow cover thickness influence on the railway construction temperature regime under variable weather conditions, *Procedia Engineering* 187: 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.358>
- Predpis ŽSR TS 3: 2012. Železničný zvršok, ŽSR.*
- Silvast, M.; Nurmikolu, A.; Wiljanen, B.; Levomaki, M. 2013. Identifying frost-susceptible areas on Finnish railways using the ground penetrating radar technique, in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 227(1): 3–9. <https://doi.org/10.1177/0954409712452076>
- STR.2.05.01:2013. *Pastatų energinio naudingumo projektavimas. SV-HEAT - 2D/3D Geothermal Modeling, SVOFFICE 2009 – Geotechnical Modeling Suite. SoilVision systems Ltd., Saskatoon, Saskatchewan [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. rugsėjo 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.soilvision.com>*
- Tietäväinen, H.; Tuomenvirta, H.; Venäläinen, A. 2010. Annual and seasonal mean temperature in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data, *International Journal of Climatology* 30: 2247–2256. <https://doi.org/10.1002/joc.2046>
- TNŽ 72 1514: 2000. *Technické a ekologické podmienky na dodávanie materiálu do konštrukcie koľajového lôžka a podkladných vrstiev podvalového podložia.*
- TNŽ 73 6312: 2005. *Navrhovanie konštrukčných vrstiev podvalového podložia.*
- Ustrnul, Z.; Wypych, A.; Kosowski, M. 2012. Extreme temperatures and precipitation in Poland – an evaluation attempt, *Meteorologisches Zeitschrift* 21(1): 37–47. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2012/0336>
- Wooler, S. 2003. *The changing climate: its impact on the Department for Transport.* London, United Kingdom, Department for Transport.

MODELING OF NEGATIVE AMBIENT AIR TEMPERATURE EFFECT TO FROST DEPTH OF LITHUANIA RAILROADS CONSTRUCTION

D. Navikas, H. Sivilevičius

Abstract

This article presents results of the modelling of temperature regimes of railway construction layers in application of the SV HEAT software. To get modelling results, were used coldest winter results during 50 years. Temperature changes in railway construction layers were modelled pursuant to the data of the Lithuanian Hydrometeorological Service of March 1986–November 1987 in Vilnius region and the conducted field experimental studies. Ambient air temperature, moisture content in layers were assessed. Physical – mechanical and thermodynamic properties of the materials used to install railway construction layers were identified in the laboratory. Moisture content and temperature in construction layers were measured using sensors installed in the experimental field stand (DRETM II) set up in Slovakia. According to experimental stand results and ambient air temperature data, were modelled temperature dynamics in railway construction layers. Modelling results have shown that using Slovakia national projecting and assessment documents, Lithuania railways construction protective layer should be projected thicker. Using ambient air temperature of coldest winter during 50 years results, got frost depth was 2 m, all railway construction layers frosted.

Keywords: railway construction, ambient air temperature, frost index, frost depth, SV HEAT software.