

VPLYV ZÁPORNÝCH TEPLÔT NA KOEFICIENT TEPELNEJ VODIVOSTI CESTNÝCH STAVEBNÝCH MATERIÁLOV

THE INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES ON THE HEAT CONDUCTIVITY FACTOR OF ROAD-BUILDING MATERIALS

Posudzovanie vozoviek z hľadiska ochrany pred účinkami mrazu je dôležitým prvkom hodnotenia ich konštrukcie. Klimatické podmienky Slovenska spôsobujú počas zimného obdobia niekoľko cyklov premrzania vozovky a jej podložia. Tento jav je nebezpečný z pohľadu deformácií jej povrchu a straty prevádzkovej spôsobilosti. Z toho dôvodu je pre návrh konštrukcie potrebné poznať teplotné charakteristiky materiálov jednotlivých vrstiev. Napriek tomu, že v procese premrzania sú aktívne charakteristiky v zamrznutom stave, sú merané a hodnotené len v prirodzenom stave. Z toho dôvodu je príspevok zameraný na meranie koeficientu tepelnej vodivosti stavebných materiálov pri zápornej teplote metódou nestacionárneho tepelného toku. Pre analýzu boli vybrané asfaltové zmesi, používané na kryty vozoviek a niektoré druhy zemín podložia.

1. Úvod

Teplotné charakteristiky cestných stavebných materiálov sú veľmi dôležité pre návrh vozovky z hľadiska jej ochrany pred účinkami premrzania podložia. Napriek tomu, že v procese premrzania sú materiály konštrukcie vozovky a podložia v zamrznutom stave, sú merané a hodnotené len v prirodzenom stave. Z toho dôvodu je na pracovisku autorov už niekoľko rokov kladený dôraz na meranie koeficientu tepelnej vodivosti stavebných materiálov pri zápornej teplote.

Na Slovensku je používaných niekoľko normových metód pre meranie koeficientu tepelnej vodivosti. Pre meranie materiálov v zamrznutom stave bola vybraná metóda nestacionárneho tepelného toku [1], [2], ktorá bola niekoľko rokov overovaná na Žilinskej univerzite v rámci riešenia výskumných úloh.

2. Fyzikálny princíp metódy

V stavebných materiáloch je teplo šírené takmer výlučne vedením. Z toho dôvodu je fyzikálnym základom metódy jednosmerné šírenie tepla, definované Fourierom:

$$q|_{x,t} = -\lambda \cdot \frac{\partial T|_{x,t}}{\partial x} \quad (1)$$

Appraisal of pavement from preservation against frost influence point of view is important point of its structure evaluation. The Slovak climatic conditions originate the same cycles of pavement and subgrade freezing during a winter period. This effect is dangerous from surface deformation and loss of serviceability point of view. Therefore it is necessary to know the thermo-technical properties of layers' materials for structure design. The values in nature state are measured and evaluated only, although during freezing process the characteristics in frozen state are active. Therefore an article deals with measuring of a heat conductivity factor of building materials during negative temperature by method of non-stationary thermal flow. The asphalt mixtures used for pavement wearing courses and some type of subgrade soils were selected for analysis.

1. Introduction

The thermal characteristics of road-building materials are very important for design of pavement from protection against the frost penetration into subgrade point of view. The values in a natural state are measured and evaluated only, although during the freezing process the pavement materials and subgrade are in frozen state. Therefore, for a few years the attention has been paid to the measurement of heat conductivity factor of building materials by negative temperature.

Some standard methods for measuring the heat conductivity factor are used in Slovakia. The method of non-stationary thermal flow [1], which was verified many years in UTC Zilina and was based on many measurements within the framework of research work solution, was selected for measurement of materials in frost phase [2].

2 The physical principle of methodology

In building materials is heat spreading almost exclusively by conduction. Therefore, the physical basis of method is Fourier flow of one-direct thermal spreading:

$$q|_{x,t} = -\lambda \cdot \frac{\partial T|_{x,t}}{\partial x} \quad (1)$$

* Ján Čelko, Jarmila Cardosová

University of Zilina, Civil Engineering Faculty, Department of Highway Engineering
Tel./Fax: ++421-89-724 3351, E-mail: jcelko@fstav.utc.sk

kde: $q|_{x,t}$ - hustota tepelného toku, $W \cdot m^{-2}$
 λ - koeficient tepelnej vodivosti, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
 $\frac{\partial T|_{x,t}}{\partial x}$ - teplotný gradient v úrovni x a čase t , $^{\circ}C$.

Teplotné pomery sa v sledovanej oblasti menia podľa vzťahu (2):

$$\frac{\partial q|_{x,t}}{\partial x} = -\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T|_{x,t}}{\partial t} \quad (2)$$

kde: ρ - objemová hmotnosť, $kg \cdot m^{-3}$
 c - merná tepelná kapacita, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Zo vzťahov (1) a (2) získame rovnicu (3), popisujúcu vývoj teplotného poľa, z ktorej je možné vypočítať koeficient tepelnej vodivosti λ .

$$\frac{\partial T|_{x,t}}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\partial^2 T|_{x,t}}{\partial x^2} \quad (3)$$

Počiatkové podmienky

Numerické riešenie vzťahu (3) je založené na princípe merania koeficientu tepelnej vodivosti [3]. Vzorka je umiestnená v tepelne izolovanej nádobe. Zaznamenávaná je teplota na spodnej ploche vzorky, pričom na jej povrchu je udržiavaná teplota konštantná. Pre meranie boli určené nasledovné počiatkové podmienky:

$$\begin{aligned} T(x,0) &= T_o \\ T(0,t) &= T_M \\ q(h) &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

kde: T_o - počiatková teplota vzorky, $^{\circ}C$
 T_M - konštantná teplota na povrchu vzorky, $^{\circ}C$
 h - hrúbka vzorky, m
 x - hodnotená úroveň, m
 t - čas, s
 q - hustota tepelného toku na spodnej ploche vzorky, $W \cdot m^{-2}$.

Vzorka je rozdelená na n vrstiev s hrúbkou vrstvy Δx . Počítaný je časový interval Δt medzi 10 % a 50 % poklesom počiatkového teplotného gradientu na spodnej ploche vzorky. Porovnaním teoretickej a vypočítanej hodnoty bol pre výpočet koeficientu tepelnej vodivosti λ získaný vzťah:

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

kde symboly sú zrejme z predošlého.

Okrajové podmienky

Na meranie materiálov v prirodzenom stave je používaná počiatková teplota vzorky $20^{\circ}C$ a teplota na povrchu vzorky $0^{\circ}C$. Ako médium pre zabezpečenie konštantnej povrchovej teploty sa používa zmes vody a ľadu. Problém vzniká v prípade merania materiálov v zamrznutom stave. V prvom rade musí byť zabezpečený teplotný rozdiel medzi vzorkou a médiom minimálne $10^{\circ}C$. Z fyzikálneho hľadiska nie je podstatné, či je vzorka schladzovaná alebo zahrievaná, ale z pohľadu nebezpečia vzniku latentného tepla je

where: $q|_{x,t}$ - density of thermal flow, $W \cdot m^{-2}$
 λ - heat conductivity factor, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
 $\frac{\partial T|_{x,t}}{\partial x}$ - temperature gradient in level x and time t , $^{\circ}C$.

Temperature relation of area is changed by equation (2):

$$\frac{\partial q|_{x,t}}{\partial x} = -\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T|_{x,t}}{\partial t} \quad (2)$$

where: ρ - mass density, $kg \cdot m^{-3}$
 c - specific heat capacity, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

From (1) and (2) we can obtain an equation (3) describing a development of a temperature field, from which the heat conductivity factor λ can be calculated.

$$\frac{\partial T|_{x,t}}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\partial^2 T|_{x,t}}{\partial x^2} \quad (3)$$

The initial conditions

Numerical solution of equation (3) is based on principles of a heat conductivity factor measuring [3]. A sample is located to the heat-isolated vessel. A temperature on the bottom site of sample is registered while keeping a constant temperature on the top site. The next initial conditions were determined:

$$\begin{aligned} T(x,0) &= T_o \\ T(0,t) &= T_M \\ q(h) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

where: T_o - initial temperature of sample, $^{\circ}C$
 T_M - constant temperature on the top of sample, $^{\circ}C$
 h - thickness of samples, m
 x - evaluated point, m
 t - time, s
 q - heat flow density on the sample bottom area, $W \cdot m^{-2}$.

The sample is divided to n -layers system with thickness of layer Δx . The time interval Δt between 10 % and 50 % decrease of initial temperature gradient on the bottom of the sample is calculated. Comparing theoretical and experimental values, the final equation for factor λ calculation was created:

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

where all symbols are already known.

The border conditions

For measuring of material in a natural state the initial temperature of sample $20^{\circ}C$ and constant temperature on a top of sample $0^{\circ}C$ are used. The mixture of water and ice is used as a medium for assurance of the constant sample surface temperature. The problem arises in the case of measuring the material in the frozen phase. At first the temperature difference between sample and medium must be minimal $10^{\circ}C$. From a physical point of view is not decisive if the sample is cooled or warmed, but from

veľmi dôležité, aby nebola zasiahnutá hranica nulovej teploty. Nasiakavé stavebné materiály nemôžu počas merania prechádzať nulovou izotermou, maximálna teplota vzorky musí byť nižšia ako $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Predovšetkým v zeminách dochádza k fázovej premene vody už pri teplotách od $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, čo môže mať rozhodujúci vplyv na namerané výsledky. Z tohto dôvodu sa pre meranie používa teplotný rozsah od $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Veľmi závažným problémom je výber typu média pre zabezpečenie konštantnej teploty na povrchu vzorky. Na základe odskúšania rôznych typov nemrznúcich kvapalín bol vybratý klasický soľný roztok. Zvolený bol 30 % roztok, ktorý zabezpečil tekutý stav média v meranom časovom rozsahu. Médium je kontinuálne miešané pre zabezpečenie rovnomernej distribúcie teploty po povrchu meranej vzorky. Na základe uvedených faktov boli odskúšané nasledovné kombinácie okrajových podmienok:

- teplota vzorky a vo vnútri klimatickej skrine $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplota média $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$
- teplota vzorky a vo vnútri klimatickej skrine $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplota média $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Varianta a) zabezpečil konštantnú teplotu maximálne počas 15 minút, čo je na meranie nedostatočná doba. Preto boli pre rutinné meranie zvolené nasledovné teploty:

- Teplota vzorky $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Teplota v klimatickej skrini $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Teplota média $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dôležitou podmienkou merania je konštantná teplota celého systému. Vzorka je umiestnená spolu s meracou aparaturou na 24 hodín do klimatickej skrine, v ktorej je potom realizované aj vlastné meranie. Bezprostredne na povrch vzorky je umiestnené zahrievacie zariadenie, zabezpečujúce konštantnú teplotu média. Celá súprava je riadená elektronicky so zaznamenávaním teploty média v priebehu merania.

3. Meranie tepelnej kapacity

Merná tepelná kapacita 'c' je základným vstupným parametrom pre výpočet koeficientu tepelnej vodivosti a je určovaná pre každú vzorku. Výpočet jej hodnoty pre zamrznuté materiály nie je možný z hodnoty suchého materiálu. Analógia s výpočtom hodnoty tepelnej kapacity pre vlhké vzorky pri kladných teplotách nebola výskumom potvrdená.

Tepelná kapacita je meraná na základe fyzikálnej definície (6). Prestup tepla je určovaný kalorimetrickou metódou, ktorá predpokladá tepelne izolovaný kalorimeter so vzorkou a médiom. Merná tepelná kapacita je určovaná pomocou kalorimetrických rovníc po dosiahnutí teplotnej rovnováhy.

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta T} \quad (6)$$

kde: m - hmotnosť vzorky, kg
 Δq - odovzdané teplo vzorky, J
 ΔT - zmena teploty od odovzdaného tepla, K.

a latent heat standpoint is very important to not touch zero boundary. The absorptive building materials cannot proceed through zero point during measurement. The maximal temperature of sample must be below $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Above all the soils the water phase change occurs in temperatures from $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, which has an ultimate influence to measure results. Therefore the temperatures ranging from $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ were used for measuring.

A very important problem of measurement was a medium for assuring the constant temperature of a sample top. After experiments with different types of non-freezing liquids classic salt water was selected. The 30 % salt solution that secures a permanent liquid state of medium in measuring range was selected. The medium is uninterruptedly mixed for equitable distribution of temperature on top of sample. For these reasons the next variants were examined:

- temperature of sample and inside of climatic chamber $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperature of medium $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$
- temperature of sample and inside of climatic chamber $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperature of medium $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$

The variant a) secures a constant temperature maximum 15 minutes, which is a short time for measuring. Therefore, the next temperatures were selected for routine measurements:

- temperature of sample $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- temperature in climatic chamber $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- temperature of medium $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

An important condition of measurement is the constant temperature of the whole system. The sample with measuring apparatus is placed for 24 hours into a climatic chamber in which a measurement is realised after this time, too. Warming apparatus localised immediately above a surface of sample ensures the constant temperature of medium. An electronic recorder that registered a temperature of medium during measurement controls the apparatus.

3. The measuring of the heat capacity

The heat capacity 'c' as a basic input parameter for heat conductivity factor calculation is a determinate for each sample. The calculation of frozen material value is not possible from value of dry natural material. An analogy with calculation the heat capacity of wet material during positive temperature is not confirmed by research.

The heat capacity is measured on the base of physical definition (6). The transmitted heat is determined by calorimetric method, which assumes the heat-isolated calorimeter with sample and medium. The specific heat capacity is determined by calorimetric equation after achievement of temperatures' balance.

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta T} \quad (6)$$

where: m - mass of the sample, kg
 Δq - transmitted heat to sample, J
 ΔT - change of temperature for transmitted heat, K.

4. Meranie koeficientu tepelnej vodivosti

Príspevok sa venuje koeficientu tepelnej vodivosti vybraných cestných stavebných materiálov. Prvým materiálom sú asfaltové zmesi, druhým zeminy podložie. Ďalšie materiály sú analyzované v súčasnosti v rámci práce na grantovej výskumnej úlohe.

Asfaltové zmesi

Pre meranie boli zvolené asfaltové zmesi, obsahujúce modifikovaný asfalt (vzorky 1, 2) a klasický asfalt (vzorka 3). Zmesi s modifikovaným spojivom sú v súčasnosti viac používané ako zmesi s klasickým spojivom pre ich lepšie deformačné charakteristiky. Porovnanie teplo-technických vlastností je jedným z cieľov súčasných výskumných aktivít na katedre. Základné údaje o zložení meraných zmesí sú uvedené v tab. 1.

Zloženie asfaltových zmesí

The composition of asphalt mixtures

Tab. 1

Table 1

Zmes / Mixture	AKMS 1		AKMS 2		AKMS 3	
Kamenivo / Aggregate	Lošonec	8-11 - 42.0 %	Malužiná	11-16 - 5.5 %	Malužiná	11-16 - 5.5 %
	Lošonec	4-8 - 18.7 %	Malužiná	8-11 - 41.5 %	Malužiná	8-11 - 41.5 %
	Buková	0-4 - 23.3 %	Malužiná	4-8 - 20.0 %	Malužiná	4-8 - 20.0 %
	VJM Žirany	- 9.3 %	Varín	2-4 - 8.5 %	Varín	2-4 - 8.5 %
			Varín	0-2 - 14.5 %	Varín	0-2 - 14.5 %
		Filler L. Lúčka	- 10.0 %	Filler L. Lúčka	- 10.0 %	
Asfalt / Asphalt	Apollobit MCA	80 - 6.7 %	Apollobit MCA	80 - 6.5 %	AP 80	- 6.5 %
Prísada / Ingredient			Technocel	- 0.4 %	Technocel	- 0.4 %

Merania potvrdili nepodstatné rozdiely medzi teplotnými vlastnosťami suchých a zamrznutých materiálov. Na základe fyzikálnej podstaty zmesi z toho vyplýva, že nie je potrebné uvažovať s vplyvom teploty na koeficient tepelnej vodivosti v zimných podmienkach.

Použitie rôznych spojív ukázalo, že modifikované asfalty nemajú podstatný vplyv na koeficient tepelnej vodivosti asfaltových zmesí. Maximálny rozdiel je okolo 10 %. Porovnanie nameraných a normových hodnôt naznačuje, že je potrebné spresniť výpočtové hodnoty pre AKM. Hodnota koeficientu tepelnej vodivosti $1,40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ bola potvrdená len pri zmesi 1. Pri ďalších zmesiach bola prekročená o 25 - 80 %, čo nie je zanedbateľná hodnota. Výsledky meraní sú uvedené v tab. 2 a na obr. 1.

Koeficient tepelnej vodivosti asfaltových zmesí

Tab. 2

Zmes	Tepelná kapacita, $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Koeficient tepelnej vodivosti, $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
		suchá vzorka	zamrznutá vzorka
AKMS-1	1198	1,46	1,36
AKMS-2	1338	2,06	2,01
AKMS-3	1171	1,74	1,85

4. The measuring of the heat conductivity factor

The article treats the heat conductivity factor of selected road building materials. The first material is asphalt mixtures, second is soil of pavement subgrade. Other materials are analysed in frame of the grant research project in this time.

Asphalt mixtures

The asphalt mixtures containing the modified asphalt (sample 1, 2) and classic asphalt (sample 3) were selected for measuring. The mixtures with modified asphalt are using more in this time than with classic asphalt for better deformation characteristics. The comparison of thermal-technical properties is one from aims of recent research activities of our department. The basic composition of measured mixtures is described in Table 1.

The measurements have sustained irrelevant differences between thermal-technical characteristics of dry and frozen materials. In terms of physical essence of mixture it was determined that it is not necessary to regard the temperature influence on the heat conductivity factor in winter conditions.

In terms of the used binder the measurements showed that modified asphalt doesn't essentially influence the heat conductivity factor of asphalt mixture. The maximal difference is about 10 %. The comparison of measured and standard values indicates that standard values for mixtures AKM is necessary to be more accurate. Presented values of heat conductivity factor $1.40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ were exhibited for mixture number 1 only. The values of other test mixtures exceeded 25 - 80 %, which are not negligible values. The results are presented in Table 2 and on Fig. 1.

The heat conductivity factor of asphalt mixtures

Table 2

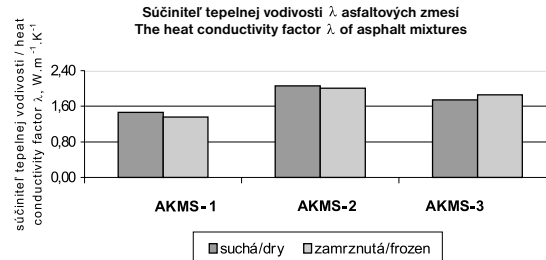
Mixture	Heat capacity, $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Heat conductivity factor, $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
		Dry phase	Frozen phase
AKMS-1	1198	1.46	1.36
AKMS-2	1338	2.06	2.01
AKMS-3	1171	1.74	1.85

Zeminy podložia

Pre analýzu boli vybrané 4 druhy zemín podložia. Zvolené boli najčastejšie sa vyskytujúce zeminy z rôznych lokalít Slovenska. Základné parametre materiálov sú uvedené v tab. 3.

Hodnoty sledovaných charakteristík boli stanovené na vzorkách v suchom stave, pri optimálnej vlhkosti a v zamrznutom stave.

Získané hodnoty mernej tepelnej kapacity a koeficientu tepelnej vodivosti sú uvedené v tab. 4 a na obr. 2. Zeminy 1-3 sú veľmi podobné súdržné zeminy, zemina 4 je nesúdržný štrkový íl s rozdielnou granulometriou. Z toho vyplývajú tiež rozdielne teplo-technické vlastnosti.



Obr. 1. Koeficient tepelnej vodivosti asfaltových zmesí
Fig. 1. The heat conductivity factor of asphalt mixtures

The soils of subgrade

The four types of subgrade soil were selected for analysis. The option includes the most used types of soils from different localities in Slovakia. The basic parameters of materials are presented in Table 3.

The values of observed characteristics were determined on samples in the dry phase, in phase of natural moisture and after freezing. Obtained values of the heat capacity and the heat conductivity factors are presented in Table 4 and on Fig. 2. The soils 1-3 were very similar, coherent soils; soil 4 was non-coherent gravel loam with different grading. It follows the different thermal-technical properties, too.

Základné parametre zemín

Tab. 3

Vzorka	1	2	3	4
Názov	íl so strednou plasticitou F6 CI	íl s vysokou plasticitou F8 CH	íl piesčitý I F4 CS ₁	íl štrkový F2 CG
Optimálna vlhkosť	17,5 %	25,5 %	16,2 %	16,0 %
Maximálna objemová hmotnosť	1740 kg.m ⁻³	1530 kg.m ⁻³	1770 kg.m ⁻³	1710 kg.m ⁻³
Namrzavosť	namrzavá až nebezpečne namrzavá	namrzavá až nebezpečne namrzavá	mierne namrzavá	stredno-plastická, nebezpečne namrzavá

The basic parameters of soils

Table 3

Sample	1	2	3	4
Name	Loam with middle plasticity F6 CI	Loam with high plasticity F8 CH	Sandy loam I F4 CS1	Gravel loam F2 CG
Optimal moisture	17.5 %	25.5 %	16.2 %	16.0 %
Maximal mass density	1740 kg.m ⁻³	1530 kg.m ⁻³	1770 kg.m ⁻³	1710 kg.m ⁻³
Frost susceptibility	susceptible till danger susceptible	susceptible till danger susceptible	middle susceptible	danger susceptible

Teplototechnické vlastnosti zemín

Tab. 4

Zemina	Tepelná kapacita, J.kg ⁻¹ .K ⁻¹			Koeficient tepelnej vodivosti, W.m ⁻¹ .K ⁻¹		
	suchá	vlhká	zamrznutá	suchá	vlhká	zamrznutá
1	733	1267	757	0,22	1,18	0,73
2	511	1265	713	0,12	0,77	0,52
3	624	1135	715	0,21	1,20	0,94
4	1710	1936	1464	0,58	1,13	0,64

Koeficient tepelnej vodivosti suchých zemín sa pohybuje v rozsahu 0,1 až 0,6 W.m⁻¹.K⁻¹ a vlhkých zemín 0,7 až 1,2 W.m⁻¹.K⁻¹. To poukazuje na ich rôznorodosť. Zeminy podobného typu majú rôzne fyzikálne vlastnosti, čo komplikuje možnosť generalizovania ich teplototechnických charakteristík.

The heat conductivity factor of dry soils ranges from 0.1 to 0.6 W.m⁻¹.K⁻¹ and of moist soil ranges from 0.7 to 1.2 W.m⁻¹.K⁻¹. It shows the soil diversity. The soils of similar type have the different physical properties and it obstructs the possibility to generalize thermal technical characteristics.

The thermal-technical properties of soils

Table 4

Soil	Heat capacity, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$			Heat conductivity factor, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$		
	Dry	Moist	Frozen	Dry	Moist	Frozen
1	733	1267	757	0.22	1.18	0.73
2	511	1265	713	0.12	0.77	0.52
3	624	1135	715	0.21	1.20	0.94
4	1710	1936	1464	0.58	1.13	0.64

Hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti zamrznutých zemín sú v zásade o 300 – 400 % vyššie ako nezamrznutých. Merania ukázali, že hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti zamrznutých zemín sa približujú k hodnotám vlhkých zemín, ale ich nedosahujú. Rozdiel je len pri zemine 4, ktorá je minimálne nasiakavá. Hodnoty pre suchú a zamrznutú vzorku sú v tomto prípade veľmi podobné.

Celkové hodnotenie

Získané výsledky meraní koeficientu tepelnej vodivosti poukazujú na rezervy metódy na posudzovanie konštrukcie vozovky z hľadiska tepelného odporu. Normové hodnoty nereagujú vždy na nepriaznivé podmienky v konštrukcii a mnohokrát sú podhodnotené. Nameňované hodnoty zodpovedali návrhovým u zemín podložia, pri asfaltových zmesiach boli zistené značné rozdiely. Uvedené konštatovania podporuje aj stav cestnej siete na Slovensku, predovšetkým po ukončení zimného obdobia.

5. Závery

Porovnanie nameraných hodnôt s návrhovými potvrdzuje ich platnosť pre zeminy podložia, pre ktoré sú teplotné vlastnosti významných parametrom. V závislosti od ich hodnoty vznikajú deformácie povrchu a strata prevádzkovej spôsobilosti. Značná pozornosť musí byť venovaná vzťahu medzi koeficientom tepelnej vodivosti a vlhkosťou. Nárastom vlhkosti bol potvrdený nárast koeficientu tepelnej vodivosti v niektorých prípadoch až o 800 % a prezentované hodnoty potvrdili dôsledok vplyvu vlhkosti zeminy podložia na vznik deformácií v zimnom a jarnom období.

Popísaná metóda hodnotenia koeficientu tepelnej vodivosti λ je ekonomická a časovo nenáročná. Určuje sledované charakteristiky v reálnych podmienkach konštrukcie vozovky. V súčasnosti sú uskutočňované merania koeficientu tepelnej vodivosti materiálov podkladných vrstiev. Pozornosť je tiež venovaná vzťahu medzi mernou tepelnou kapacitou a teplotou vzorky. Vzťah môže mať vplyv na skutočnú hodnotu koeficientu λ pri záporných teplotách, aj keď nepredpokladáme výrazné ovplyvnenie teoretických hodnôt.

The values of the heat conductivity factor of frozen samples are mentioned approximately about 300 – 400 % upper than values of non-frozen samples. The measurements have showed that the value of the heat conductivity factor of frozen soils approaches the value of moist soil but doesn't exceed it. The fact is different only in soil 4, which is a little absorptive. The values for dry and frozen sample are very close.

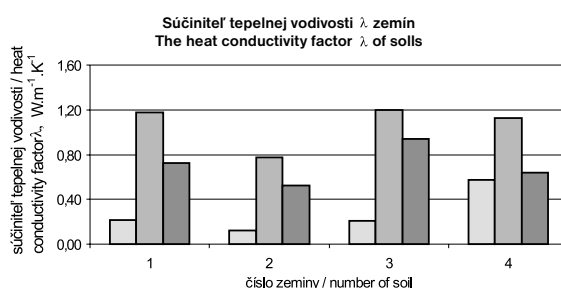
The total evaluation

The obtained values of the heat conductivity factors advert to the reserve of the appraisal methodology of the pavement structure from thermal resistance point of view. The standard values of the heat conductivity factor don't respond to the most unfavourable conditions in the road structure, and they are, many times, underestimated. The determined values respond designed values in full-scale for subgrade soils only, for asphalt mixtures considerable differences were found. The pavement's status of road network in Slovakia support this sentences, mainly after wintertime.

5. Conclusions

The comparison of measured and design values conforms their exact estimate for subgrade soil. The thermal-technical characteristics are significant parameters for subgrade soils. In consequence of this the road deformations originate and road serviceability and performance is lost. The attention was devoted to the relation between the heat conductivity factor and moisture. The increase of the heat conductivity factor was confirmed sometimes more than 800 %. Present results verify the weight of moisture influence of subgrade soil on the deformations incipient in wintertime and springtime.

The described method of evaluation of the heat conductivity factor λ method is economically and timely undemanding. The method determines conditions that correspond to real conditions in pavement structure. In this time the measurements of the heat conductivity factor of sub-base materials are realised. Attention is also paid to the determination of relation between specific heat capacity and a temperature of the sample. That relation can have an influence to the immediate value of coefficient λ at a definite negative temperature. We do not assume an influence that will have an expressive effect to present values.



Obr. 2. Koeficient tepelnej vodivosti zemín
Fig. 2. The heat conductivity factor of soils

6. Literatúra - References

- [1] ČÁP, I.: *Meranie súčiniteľa tepelnej vodivosti λ metódou nestacionárneho tepelného toku. Závěrečná správa výskumnej úlohy R12-127-005-03-E02, Žilina, VŠDS 1983.* (Measurement of heat conductivity factor λ by using of non-stationary heat flow method. The final report from research work R12-127-005-03-E02, Žilina, UTC 1983).
- [2] STN 721105 *Stanovenie súčiniteľa tepelnej vodivosti metódou nestacionárneho tepelného toku.* Vydavateľstvi norem Praha, 1991. (Determination of heat conductivity factor by method of the non-stationary heat flow. Slovak standard). Vydavateľstvi norem Praha, 1991.
- [3] ČELKO, J. a kol.: *Analýza vplyvu mechaniky cestných vozoviek na stav ich povrchu.* Správa pre záverečnú oponentúru grantovej úlohy 1/4145/97. (The analysis of the influence of pavement mechanics to the surface conditions. Final report of grant project). 99 strán, ŽU 12/1999.