MOŽNOSTI VYUŽITÍ ZVUKOPOHLTIVÉHO BETONU PRO VÝROBU MEZIKOLEJNÍCH PANELŮ

BENEFITS OF THE USE OF SOUND-ABSORBING CONCRETE FOR THE PRODUCTION OF RAIL PANELS

ROSTISLAV DROCHYTKA, VÍT PETRÁNEK, JIŘÍ ZACH

Hluk je zvuk, který vyvolává nepříjemný, rušivý vjem nebo škodlivý účinek. Nadměrný hluk působí negativně na většinu živých organismů. Z biologického hlediska způsobuje hluk vypětí nervové soustavy, vyvolává únavu, podrážděnost, nespavost či vegetativní poruchy. Příspěvek popisuje výsledky výzkumu v oblasti vývoje zvukopohltivého betonu, který lze aplikovat při výrobě mezikolejových panelů s předpokládanou aplikací do železničních tunelů. Panely by mimo dobrých mechanických vlastností a vysoké požární odolnosti měly vykazovat zvýšenou hodnotu zvukové pohltivosti, čímž by mělo dojít ke snížení hlukové zátěže v tunelech, kde budou panely aplikovány.

Noise is sound causing unpleasant, disrupting or harmful effect. Excessive noise has negative effect on all living organisms. From biological point of view is noise causing strain of the nervous system, exhaustion, irritation or insomnia. The paper describes results of research on concrete development for panels designated for railroad tunnels. These panels have to meet challenging properties such as very mechanical properties, very good fire resistance and higher noise absorption. Panels with higher absorption coefficient should lower noise level in railroad tunnels.

V místech s vyšším dopravním ruchem (okolí dálnic a železnic) převažují hluky, jejichž hlavními zdroji jsou dopravní prostředky. Ve většině případů můžeme dopravní hluk považovat za hluk šířící se z liniového zdroje, což znamená, že se zvuk šíří ve válcových vlnoplochách. Proto se tento druh zvuku šíří do relativně velkých vzdáleností s vysokou intenzitou.

U kolejových vozidel železniční dopravy dosahuje hladina hluku často 90 až 92 dB, maximálně jsou zastoupeny frekvence 200 až 2000 Hz. V případě železničních tunelů bývají hodnoty často i vyšší, neboť vzhledem k relativně malému vnitřnímu objemu dochází k odrazu akustické energie od ostění tunelu a k navyšování hladiny hluku.

Příspěvek demonstruje výsledky získané v rámci mezinárodního výzkumného projektu CORPTUS zaměřeného na vývoj systému betonových panelů pro železniční tratě, zejména pro tunely, který má především v případě nehod umožnit pojezd běžných silničních záchranářských a hasičských vozidel. Mimo jiné by tento panelový systém měl plnit funkci tlumení hluku vznikajícího při průjezdu vlaku tunelem.

ZKUŠEBNÍ VZORKY

V rámci výzkumu bylo navrženo dvacet receptur vysokohodnotných betonů, kde pojivem byl struskový cement Slagstar 42,5 N firmy Wopfinger Baustoffind. Pro ztekucení byla použita superplastifikační přísada Dynamon SX14 firmy Mapei. Jednotlivé receptury se od sebe liší množstvím cementu, vodním součinitelem (0,35 až 0,55), přídavkem provzdušňovací přísady Mapeplast PT4 Neu firmy Mapei a přídavkem polypropylenových vláken o délce 3 (F 315) nebo 6 mm (F 615) (pro zvýšení požární odolnosti betonu). Hlavní rozdíly mezi zkušebními vzorky byly:

- vodní součinitel *v/c*
- přídavek provzdušňovací přísady
- přídavek PP vláken (F 315 nebo F615)

V každé zkušební sadě byly připraveny tři válcové vzorky průměru 100 mm a výšky přibližně 30 mm a tři vzorky průměru 30 mm a výšky 30 mm. Na nich bylo provedeno stanovení činitele zvukové pohltivosti, objemové hmotnosti, nasákavosti a zdánlivé pórovitosti.

Složení jednotlivých receptur z pohledu variabilních komponent je uvedeno v tab. 1.

Receptura	Vodní součinitel [-]	Provzdušňovací přísada [kg m^{-3}]	Vlákna [kg m^{-3}]
1	0,55	0,14	1,5 (F 615)
2	0,35	0	1,2 (F 315)
3	0,40	0	1,2 (F 315)
4	0,45	0,14	1,5 (F 615)
5	0,45	0,14	1,2 (F 315)
6	0,50	0,14	1,5 (F 615)
7	0,40	0,14	1,5 (F 615)
8	0,35	0,14	1,5 (F 615)
9	0,50	0,14	1,2 (F 315)
10	0,40	0,14	1,2 (F 315)
11	0,45	0	1,2 (F 315)
12	0,55	0	1,2 (F 315)
13	0,40	0	1,5 (F 615)
14	0,50	0	1,5 (F 615)
15	0,55	0,14	1,2 (F 315)
16	0,50	0	1,2 (F 315)
17	0,35	0	1,5 (F 615)
18	0,55	0	1,5 (F 615)
19	0,45	0	1,5 (F 615)
20	0,35	0,14	1,2 (F 315)

Tab. 1 Přehled složení použitých receptur
Tab. 1 Overview of the composition of the used formulations

Obr. 1 Fotografie zkušebních vzorků
Fig. 1 Photos of test samples

Stanovení činitele zvukové pohltivosti

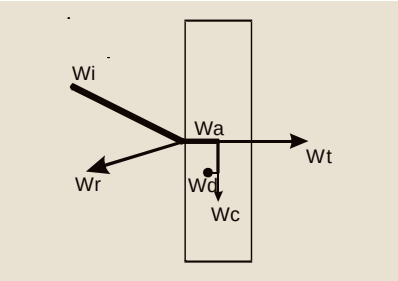
Dopadá-li zvuková vlna na stavební konstrukci, je akustický výkon dopadající zvukové vlny W_i konstrukcí z části odražen, z části je jí pohlcen. Akustický výkon se po dopadu rozkládá se na složky:

- W_r – akustický výkon odražené vlny [W],
- W_a – akustický výkon pohlcené části vlny [W].

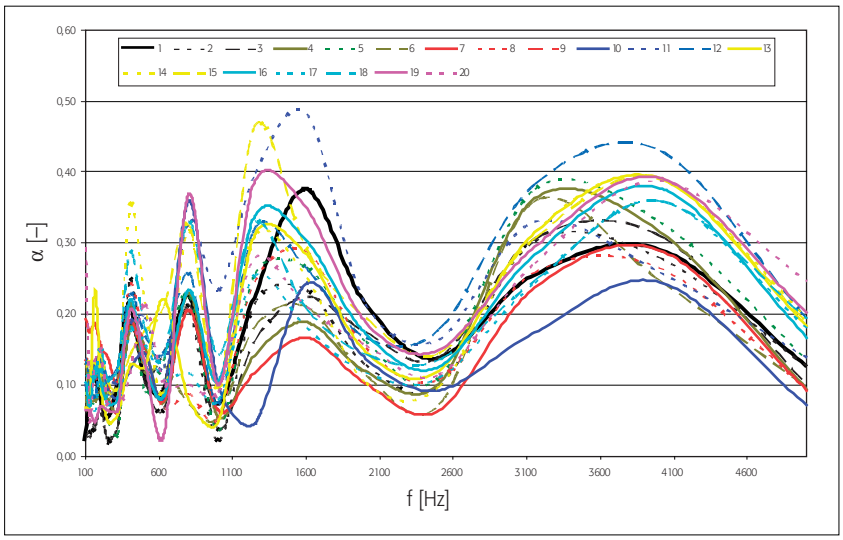
Platí:

$$W_i = W_r + W_a$$

Schopnost stavební konstrukce pohltit část akustického výkonu dopadající zvukové vlny lze charakterizovat veličinou nazý-



Obr. 2 Průchod akustické vlny konstrukcí
Fig. 2 Passage of the acoustic wave through the structure



Obr. 3 Frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti u jednotlivých receptur
Fig. 3 Frequency dependencies of the absorption capacity factor

vanou činitel zvukové pohltivosti α v kmitočtovém pásmu. Činitel zvukové pohltivosti definujeme jako podíl akustického výkonu pohlceného konstrukcí k celkovému akustickému výkonu dopadajícímu na konstrukci při kolmém dopadu zvukové vlny.

Z materiálového pohledu hraje při pohlcování zvukové vlny nejdůležitější roli pórovitost materiálu. Zvuk se po vniknutí do póru odráží od jeho stěn a při každém odrazu se část zvukové energie přemění na teplo, čímž klesá jeho intenzita. Důležité jsou proto kromě množství pórů, také jejich velikost, tvar, distribuce a dále propojenost pórového systému (míra průvzdušnosti materiálu) určující množství zvuku, který bude přes materiál propuštěn. Intenzita výstupní zvukové vlny je snížena o energii přeměněnou při odrazech v pórech na teplo.

Metoda stanovení činitele zvukové pohltivosti spočívá ve vytvoření stojatého vlnění v trubici, na jejímž konci je vzorek. Z naměřeného maxima a minima akustického tlaku stojaté vlny se vypočítá činitel zvukové pohltivosti. Při měření činitele zvukové pohltivosti dochází k interferenci vlnění přicházejícího z akustického zdroje s vlněním odraženým od zkoumaného vzorku.

Pokud poměr maxima a minima akustického tlaku označíme s:

$$s = \frac{p_{max}}{p_{min}} = \frac{p_1 + p_1}{p_1 - p_2},$$

následně vypočítáme činitel zvukové pohltivosti α dle vztahu:

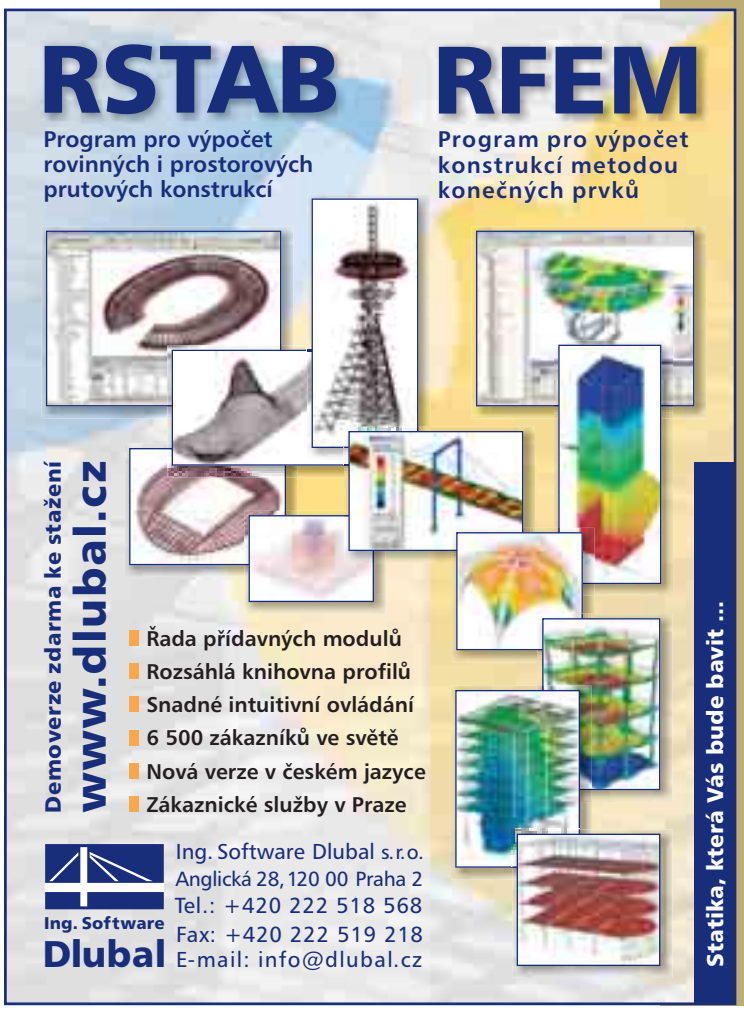
$$\alpha = 1 - \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^2 = \frac{4s}{(s+1)^2}.$$

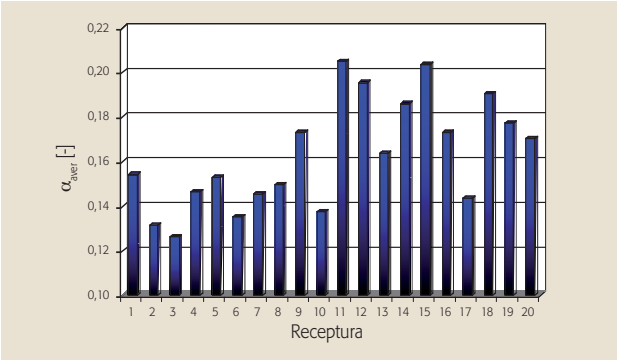
VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Na všech dvaceti sadách zkušebních vzorků byl stanoven průběh činitele zvukové pohltivosti v třetinookávových pásmech ve frekvenčním rozsahu 100 až 5000 Hz. Měření bylo u každé receptury provedeno na třech zkušebních vzorcích, přičemž výsledné hodnoty pro každou frekvenci jsou průměrem z měření u všech tří vzorků. Výsledné frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti v třetinooktávových pásmech u jednotlivých zkušebních záměsí jsou uvedeny v grafu na obr. 3.

Aby bylo možné vzájemně porovnat frekvenční průběhy činitele zvukové pohltivosti α_{aver} u jednotlivých zkušebních vzorků, byly ze zjištěných hodnot vypočítány průměrné hodnoty pro každou zkušební záměs (obr. 4).

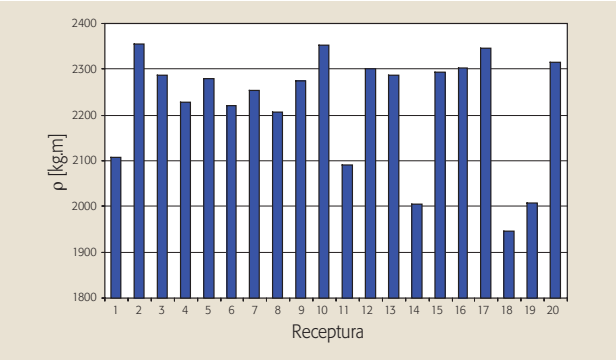
Průměrné hodnoty činitele zvukové pohltivosti α_{aver} se u jednotlivých receptur pohybují v rozmezí 0,12 až 0,21. Rozdíly jsou způsobeny různými vlastnostmi pórového systému (otevřená pórovitost) u jednotlivých receptur. Nejvyšších hodnot zvukových pohltivostí bylo dosaženo u zkušebních vzorků 11, 12, 14, 15, 18 a 19. Průměrná hodnota zvukové pohltivosti se u těch-





Obr. 4 Přehled vypočítaných průměrných hodnoty činitele zvukové pohltivosti α_{aver} u jednotlivých receptur

Fig. 4 Overview of the calculated average values of the absorption capacity factor α_{aver} in individual formulations

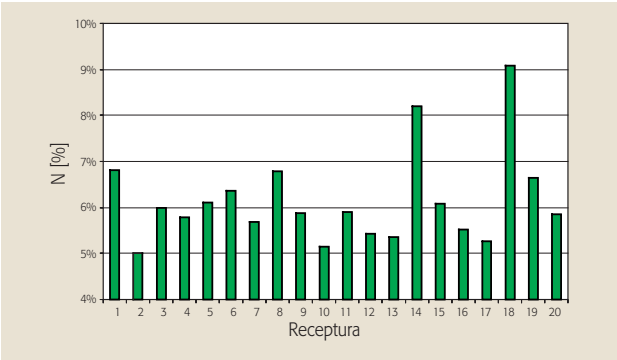


Obr. 5 Přehled průměrných hodnot objemových hmotností u jednotlivých receptur

Fig. 5 Overview of average values of bulk densities in individual formulations

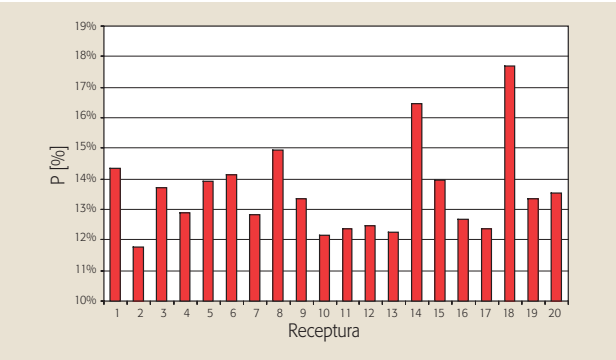
Obr. 6 Přehled průměrných hodnot nasákavostí u jednotlivých receptur

Fig. 6 Overview of average values of absorptivity in individual formulations



Obr. 7 Přehled průměrných hodnot zdánlivých pórovitostí u jednotlivých receptur

Fig. 7 Overview of average values of apparent porositiy in individual formulations



to vzorků pohybovala v rozmezí 0,18 až 0,21.

Dále bylo provedeno stanovení objemové hmotnosti, nasákavosti a zdánlivé pórovitosti. Průměrné naměřené hodnoty pro jednotlivé receptury jsou uvedeny v grafech na obr. 5, 6 a 7.

Objemová hmotnost se pohybovala u jednotlivých receptur v rozmezí 1950 až 2350 kg m^{-3}, nasákavost 5 až 9 % a zdánlivá pórovitost 11,5 až 17,5 %. Vzorky s vyšší hodnotou zvukové pohltivosti vykazovaly nižší objemovou hmotnost a vyšší nasákavost.

ZÁVĚR

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že zjištěné frekvenční průběhy činitele zvukové pohltivosti i střední hodnoty zvukové pohltivosti jsou u jednotlivých receptur značně odlišné. Rozdíly jsou dány především různým vodním součinitelem a přídavkem provzdušňující přísady. Svoji roli zde hrají polypropylenová vlákna.

Vzorky 11, 12, 14, 15, 18 a 19 vykazovaly nejvyšší hodnoty zvukové pohltivosti, přičemž průměrná hodnota zvukové pohltivosti se u těchto vzorků pohybovala v rozmezí 0,18 až 0,21. Hodnoty jsou sice relativně nízké nicméně oproti klasickým hutným konstrukčním betonům se jedná o hodnoty přibližně dvojnásobné.

Z pohledu akustických vlastností se jako nejlepší na základě provedených měření jevila receptura 11 a 15. Pokud však přihlédneme i k dalším především mechanickým vlastnostem a trvanlivosti, lze jako optimální vyhodnotit recepturu č. 20 vykazující relativně dobré akustické vlastnosti při velmi malé hodnotě vodního součinitele a přídavku provzdušňovací přísady, která zaručuje dostatečné množství aktivních pórů, aby byla zaručena odolnost betonu proti CHRL.

Tímto způsobem lze připravit vysokohodnotné betony, které budou disponovat při vysokých mechanických vlastnostech a vysoké odolnosti vůči agresivnímu prostředí také dobrou hodnotou zvukové pohltivosti a naleznou tak široké uplatnění především v silničním a železničním stavitelství.

Publikace příspěvku byla umožněna díky finanční podpoře z projektu „Concrete Railtrack Panels for Tunel Safety" s akronymem CORPTUS, v rámci programu CRAFT 6. rámcového programu Evropské Unie. Zapojení do mezinárodního projektu CORPTUS bylo umožněno díky znalostem z výzkumu finančně podporovaného projektem VVZ CEZ – MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí".

Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Ing. Vít Petránek, Ph.D.
email: petranek@fce.vutbr.cz
Ing. Jiří Zach, Ph.D.
email: zach.j@fce.vutbr.cz
všichni:
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav technologie stavebních hmot a dílců
Veveří 95, 662 37 Brno
tel. : 541 147 511, fax. : 541 147 502