

VLASTNOSTI JEMNOZRNNÉHO CEMENTOVÉHO KOMPOZITU S KOMBINOVANOU DISPERZNÍ NEKOVOVOU VLÁKNOVOU VÝZTUŽÍ Z PVA VLÁKEN

Wail Khazal, Vladan Prachař, Petr Doubek, René Čechmánek¹

Vliv jednotlivých kombinací vláknové výztuže na vlastnosti jemnozrnného cementového kompozitu (pevnost v tahu za ohybu, pevnost v rázu, objemová hmotnost, nasákavost) při použití receptur s rozdílnou granulometrií plniva a rozdílným postupem míchání. Kombinovaná disperzní vláknová výztuž složená z PVA vláken různých typů i délek v porovnání s jinými druhy použité vláknové výztuže. Zhodnocení dosažitelnosti srovnatelných vlastností u vzorků se skleněnými a PVA vlákny.

Úvod

Disperzní vláknová výztuž v jemnozrnném cementovém kompozitu má nezpochybnitelně pozitivní efekt na mechanické vlastnosti. Tento efekt je významně ovlivněn také charakteristikou a množstvím vláknové výztuže.

Při užití jednotlivých typů PVA vláken samostatně jsme dosáhli převážně příznivých výsledků. V porovnání s ostatními jen u dvou typů PVA vláken výsledné pevnosti v tahu za ohybu zaostávaly. K znatelnému zvýšení však došlo při kombinaci těchto dvou typů. Proto jsme se rozhodli prověřit účinek kombinovaného vláknového vyztužení z PVA vláken na vlastnosti jemnozrnného cementového kompozitu.

Receptura

Pro možnost vzájemného porovnání dosažených výsledků s jinými způsoby vyztužení jsme k vytvoření jemnozrnného cementového kompozitu použili dvě receptury z předešlých výzkumů. Tyto receptury, pod označením U a M, mají rozdílnou skladbu plniva. Receptura M obsahuje, na rozdíl od receptury U, i jemné křemičité plnivo, které nahradilo procentuálně odpovídající množství křemičitého písku. S obsahem jemnějšího plniva se zhoršila zpracovatelnost, což jsme kompenzovali vyšším obsahem superplastifikátoru.

Receptura U	
složka	(%)
Cement	47,4
Křemičitý písek	35,7
Křemičité úlety	2,4
Voda ($v/c = 0,31$)	14,5
Superplastifikátor	1,6 *

* (% z množství cementu)

Receptura M	
složka	(%)
Cement	47,4
Křemičitý písek	23,7
Jemné křemičité plnivo	11,9
Křemičité úlety	2,4
Voda ($v/c = 0,31$)	14,5
Superplastifikátor	1,9 *

* (% z množství cementu)

K vyztužení matrice byla použita vždy kombinace 2 typů PVA vláken (PVA = polyvinylalkohol) a množství 0,5 % každého typu. Množství vláken je v % z hmotnosti suchých složek receptury.

Označení PVA vláken: PVA III 6 mm, PVA V 8 mm, PVA VI 8 mm, PVA VII 8 mm, PVA VIII 12 mm.

¹ KHAZAL Wail, RNDr., khazal@vustah.cz
PRACHAŘ Vladan, Ing., prachar@vustah.cz
ČECHMÁNEK René, Ing., cechmanek@vustah.cz
DOUBEK Petr

Postup přípravy

Byly použity dva postupy, které byly uplatněny již dříve při použití PVA vláken samostatně. Tyto postupy byly navrženy tak, aby bylo dosaženo přijatelného zhomogenizování jednotlivých složek včetně rozptýlení vláknové výztuže v matrici a přitom nebyla vlákna poškozena již během homogenizace v míchačce.

Hlavním rozdílem těchto dvou postupů je právě doba míchání vláken ve směsi. U postupu s označením V4 jsou vlákna vložena do míchačky až jako poslední složka a míchána 4 minuty. Zatímco při užití postupu s označením S3/V4 jsou vlákna míchána od začátku a doba míchání vláken je tak 7 minut.

Postup míchání V4:

Do míchačky byly vpraveny suché složky a homogenizovány po dobu 2 minut. Dále byla přidána záměsová voda obsahující plastifikátor a celá směs homogenizována po dobu 2 minut. Nakonec byla do směsi vpravena PVA vlákna a kompletní směs homogenizována 4 minuty.

Postup míchání S3/V4:

Do míchačky byly vpraveny suché složky s PVA vlákny a homogenizovány po dobu 3 minut. Dále byla přidána záměsová voda obsahující plastifikátor a celá směs homogenizována po dobu 4 minut.

Přehled časových průběhů homogenizací

PVA VLÁKNA			
V4	Doba homogenizace (minuty)		
	Suché složky	Záměsová voda s plastifikátorem	PVA vlákna
	2	2	4
S3/V4	Doba homogenizace (minuty)		
	Suché složky s PVA vlákny	Záměsová voda s plastifikátorem	
	3	4	

Při porovnání dosažených výsledků s jinými vlákny jsou uvedena i skleněná vlákna, u kterých bylo zkoušeno několik různých postupů míchání. Nejvyšší pevnost v tahu za ohybu byla dosažena postupem míchání s označením V1.

SKLENĚNÁ VLÁKNA			
V1	Doba homogenizace (minuty)		
	Suché složky	Záměsová voda s plastifikátorem	Skleněná vlákna
	2	3	1

Výsledky

Vláknová výztuž (množství *)	Matrice – Postup míchání	Fyzikální vlastnosti			
		Pevnost v tahu za ohybu	Pevnost v rázu	Objemová hmotnost	Nasákavost
		MPa	kJ/m ²	kg/m ³	%
PVA V 8 mm (0,5 %) + PVA VI 8 mm (0,5 %)	U - V4	15,48	5,76	2 093	8,62
	U - S3/V4	15,84	6,36	2 106	8,18
	M - V4	15,33	6,04	2 103	7,16
	M - S3/V4	15,64	5,72	2 088	7,40
PVA III 6 mm (0,5 %) + PVA V 8 mm (0,5 %)	U - V4	15,27	5,50	2 055	9,86
	U - S3/V4	15,29	5,71	2 045	10,13
	M - V4	16,82	6,32	2 058	9,36
	M - S3/V4	17,31	6,05	2 071	8,94
PVA III 6 mm (0,5 %) + PVA VI 8 mm (0,5 %)	U - V4	17,69	6,51	2 079	9,39
	U - S3/V4	17,33	5,66	2 082	9,20
	M - V4	17,70	5,56	2 074	8,96
	M - S3/V4	17,87	5,42	2 074	8,62
PVA III 6 mm (0,5 %) + PVA VII 8 mm (0,5 %)	U - V4	16,17	5,64	2 077	9,36
	U - S3/V4	16,58	5,37	2 073	9,10
	M - V4	16,21	5,58	2 073	9,41
	M - S3/V4	16,99	5,60	2 065	9,28
PVA III 6 mm (0,5 %) + PVA VIII 12 mm (0,5 %)	U - V4	14,30	5,96	2 105	8,23
	U - S3/V4	15,39	5,56	2 105	8,15
	M - V4	14,64	5,95	2 064	9,32
	M - S3/V4	14,43	5,59	2 059	9,31
PVA V 8 mm (0,5 %) + PVA VII 8 mm (0,5 %)	U - V4	15,54	6,33	2 089	8,89
	U - S3/V4	15,57	6,38	2 083	9,07
	M - V4	16,43	6,31	2 084	8,26
	M - S3/V4	16,21	4,69	2 076	8,08
PVA V 8 mm (0,5 %) + PVA VIII 12 mm (0,5 %)	U - V4	15,47	6,30	2 075	9,90
	U - S3/V4	15,45	5,76	2 075	9,73
	M - V4	16,73	5,24	2 083	8,54
	M - S3/V4	17,04	5,09	2 073	8,69
PVA VI 8 mm (0,5 %) + PVA VII 8 mm (0,5 %)	U - V4	15,59	6,11	2 108	8,37
	U - S3/V4	15,01	5,80	2 110	8,33
	M - V4	15,46	5,97	2 088	8,12
	M - S3/V4	15,35	5,40	2 074	8,58

* (v % z hmotnosti suchých složek receptury U a M)

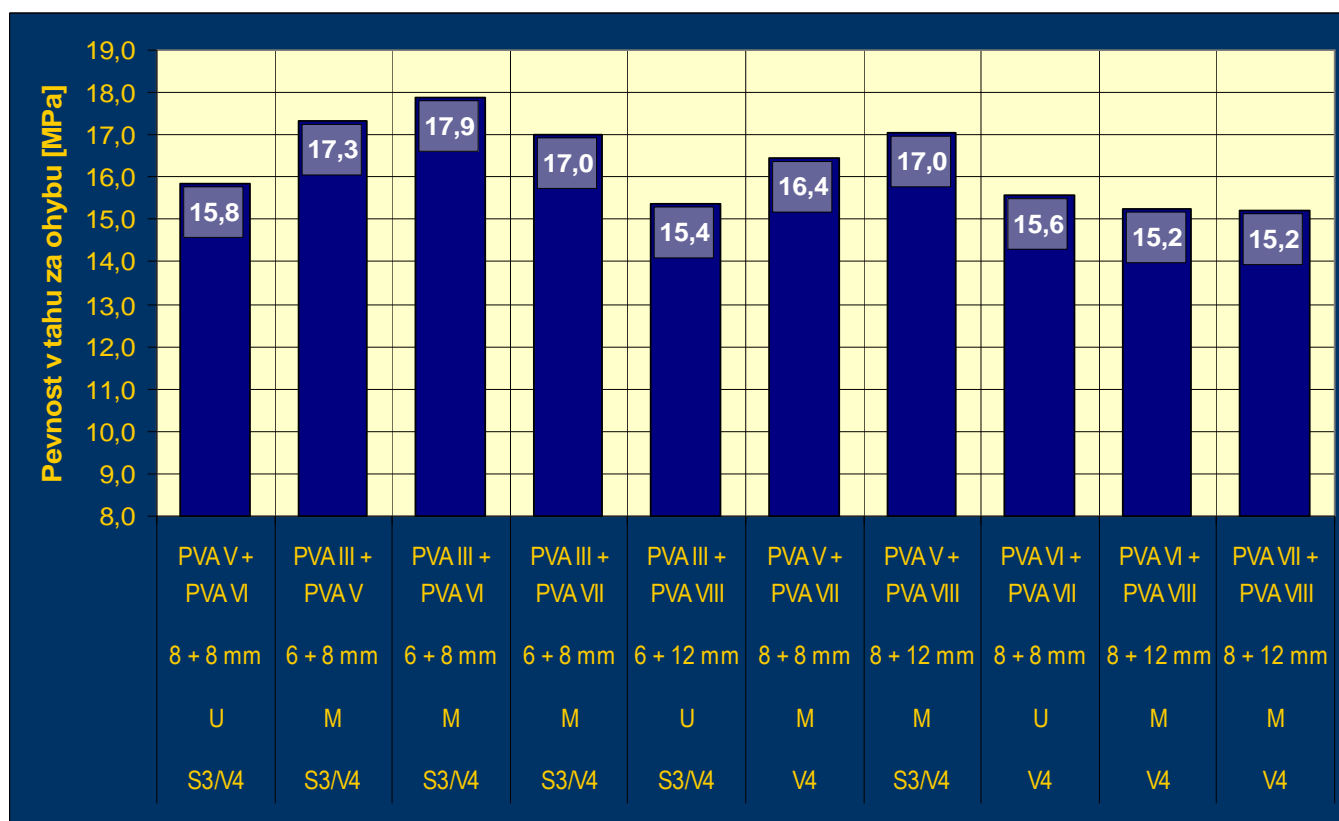
Vláknová výztuž (množství *)	Matrice – Postup míchání	Fyzikální vlastnosti			
		Pevnost v tahu za ohybu	Pevnost v rázu	Objemová hmotnost	Nasákavost
		MPa	kJ/m ²	kg/m ³	%
PVA VI 8 mm (0,5 %) + PVA VIII 12 mm (0,5 %)	U - V4	14,09	5,91	2 063	9,72
	U - S3/V4	13,75	5,88	2 058	9,69
	M - V4	15,24	5,37	2 075	8,70
	M - S3/V4	14,57	5,11	2 067	8,82
PVA VII 8 mm (0,5 %) + PVA VIII 12 mm (0,5 %)	U - V4	13,54	5,39	2 062	9,64
	U - S3/V4	13,26	5,97	2 059	9,66
	M - V4	15,23	5,42	2 070	8,68
	M - S3/V4	14,46	5,24	2 063	8,62

* (v % z hmotnosti suchých složek receptury U a M)

Porovnání vlastností jednotlivých kombinovaných způsobů vyztužení PVA vlákny

V následujících grafech jsou porovnávány:

- nejvyšší dosažené pevnosti v tahu za ohybu,
- nejvyšší dosažené pevnosti v rázu,
- nejnižší dosažené objemové hmotnosti,
- nejnižší dosažené nasákavosti.

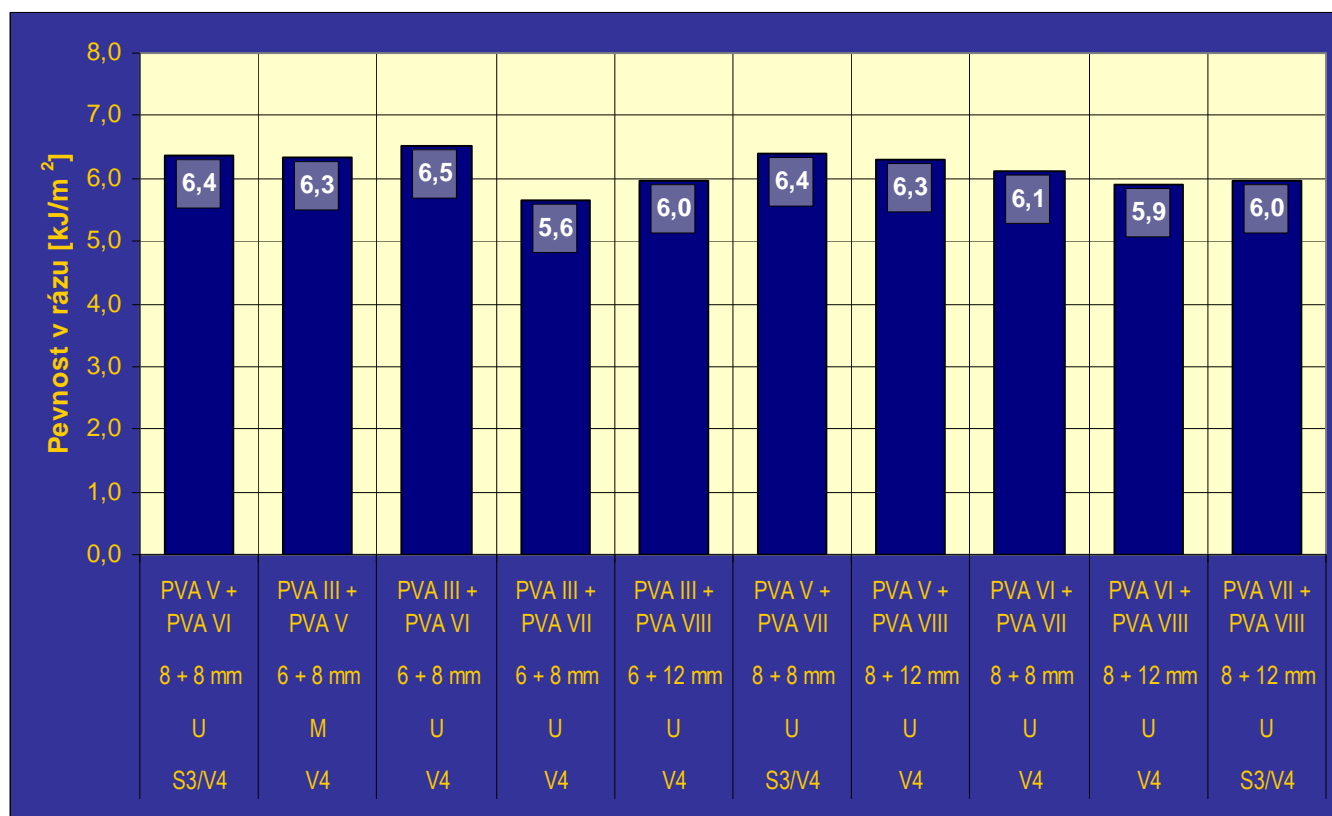


Všechny kombinace PVA III 6 mm (0,5 %) s vlákny délky 8 mm (PVA V, VI, VII) se na pevnosti v tahu za ohybu osvědčily nejlépe. Jednoznačně nejlepších výsledků pevnosti v tahu za ohybu bylo dosaženo u kombinace vláken PVA III 6 mm (0,5 %) a PVA VI 8 mm (0,5 %) s matricí obsahující jemné křemičité plnivo (M) a s delší dobou míchání vláken (S3/V4).

Žádný ze vzorků výrazně nezaostává, žádná z hodnot není pod 15 MPa.

Nejvyšší dosažená pevnost byla v převážné většině docílena u vzorků s matricí obsahující i jemnější plnivo (M). V jemnější matrici je použitá vláknová výztuž lépe ukotvena a tím se na vlákna lépe přenáší napětí při zatížení.

Který z postupů míchání je vhodnější k získání vyšších pevností v tahu za ohybu se jednoznačně neprokázalo.



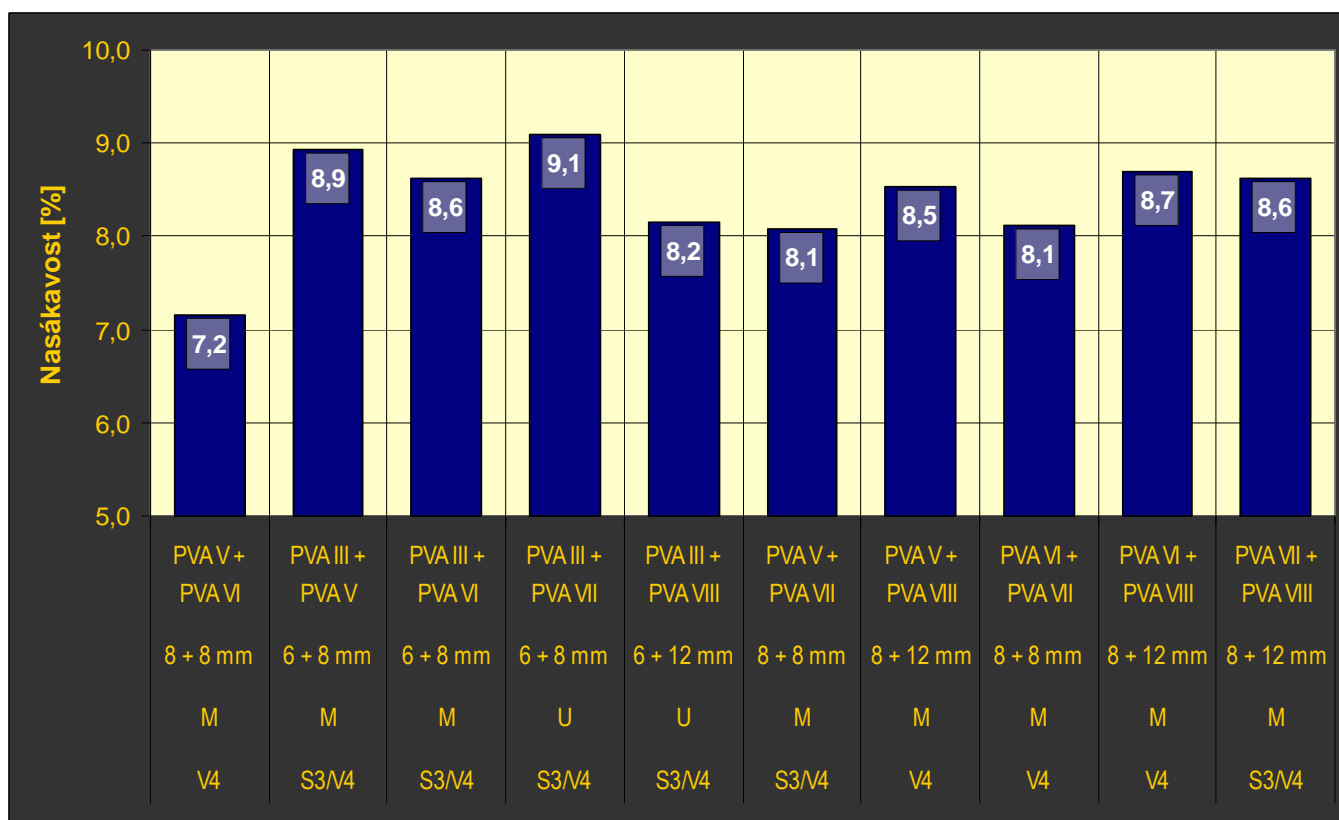
Na pevnost v rázu má nejvýraznější vliv množství vláken. U všech vzorků bylo použito stejné dávkování vláknové výztuže, což se projevilo na vyrovnanosti výsledků pevnosti v rázu. Nelze prokazatelně vyhodnotit vliv typu nebo délky vláknové výztuže.

S minimálním odstupem byla nejvyšší pevnost v rázu dosažena u vzorku s kombinací vláken PVA III 6 mm (0,5 %) a PVA VI 8 mm (0,5 %) s matricí bez obsahu jemného křemičitého plniva (U) a s kratší dobou míchání vláken (V4).

U většiny vzorků byla nejvyšší pevnost v rázu docílena u matrice bez jemného křemičitého plniva (U) a postupem s kratší dobou míchání vláken (V4).



Nejnižší objemová hmotnost jednotlivých vzorků s různým způsobem vyztužení byla dosažena postupem s delší dobou míchání vláken (S3/V4) a převážně u matrice s jemným křemičitým plnivem (M). Vliv vyztužení se na objemovou hmotnost neprojevil, hodnoty jsou víceméně vyrovnané.

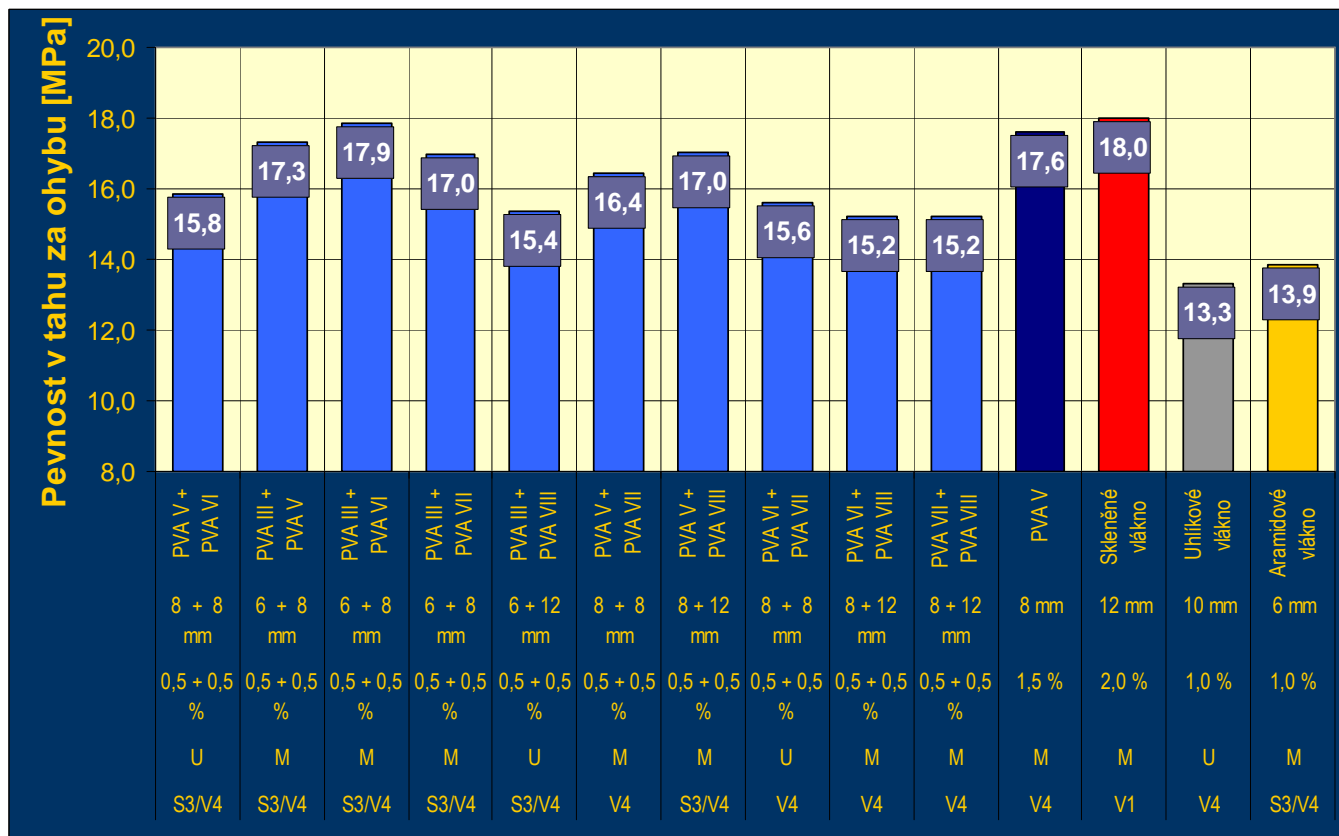


Nejnižší dosažené hodnoty nasákavostí jsou převážně vyrovnané a výrazně nekolísají. Nejnižší nasákavost byla dosažena převážně u vzorků, kde byla použita matrice s obsahem jemnějšího plniva (M). Vliv postupu míchání se neprojevil.

Porovnání kombinovaných způsobů vyztužení PVA vlákny s jinými druhy vláken

V následujícím grafu jsou porovnávány nejvyšší dosažené pevnosti v tahu za ohybu vzorků s kombinovanou vláknovou výztuží z PVA vláken a vzorků, u kterých byla použita vláknová výztuž z PVA vláken samostatně nebo jiných druhů vláken.

Cílem bylo získat vzorky, jejichž vlastnosti by byly srovnatelné s vlastnostmi vzorků se skleněnými vlákny. U skleněného vlákna bylo použito více různých způsobů míchání, ze kterých byla nejvyšší pevnost v tahu dosažena způsobem míchání V1.



Při porovnání vyztužení PVA vlákny samostatně s PVA vlákny v kombinaci můžeme říct, že v obou způsobech vyztužení jsou maximální dosažené hodnoty srovnatelné.

Ale při porovnání musíme zaměřit pozornost na rozdílnost v množství užitých vláken. Sice byly dosaženy srovnatelné výsledky, ale musíme vyzdvihnout kombinace PVA vláken, u kterých bylo použito vždy pouze 0,5 % a 0,5 % z každého typu PVA vláken (% z hmotnosti suchých složek receptury U a M). Kdežto u vzorku s PVA vlákny samostatnými bylo použito množství 1,5 %.

Vzorek se skleněnými vlákny dosáhl jednoznačně nejvyšší pevnost v tahu za ohybu. Ostatní vzorky, kromě vzorku s PVA V 8 mm (1,5 %) a kombinací vláken PVA III 6 mm (0,5 %) a PVA VI 8 mm (0,5 %), hodnotou pevnosti v tahu za ohybu více či méně zaostávají.

Matrice (M) s jemnějším plnivem se uplatnila lépe u většiny vzorků s různým způsobem vyztužení, bez ohledu na druh, typ, množství nebo délku vláken.

Z výsledků se přesvědčivě neprokázalo, zda je obecně pro pevnost v tahu za ohybu vhodnější míchat vlákna ve směsi kratší (V4) nebo delší dobu (S3/V4).

Závěr

Nejvyšší pevnost v tahu za ohybu a pevnost v rázu byla shodně dosažena u zkušebního vzorku s kombinací vláken PVA III 6 mm (0,5 %) a PVA VI 8 mm (0,5 %), ale u každé z pevnostních charakteristik se příznivěji projevila jiná matrice a jiný postup míchání.

Kombinací vláken PVA III 6 mm (0,5 %) a PVA VI 8 mm (0,5 %) byla získána hodnota pevnosti v tahu za ohybu, která se vyrovná hodnotě dosažené při vyztužení skleněným vláknem, ale přitom je obsah vláknové výtzuže 0,5 % + 0,5 % PVA vláken na rozdíl od 2 % skleněných vláken.

Lepší výsledky u pevnosti v tahu za ohybu, objemové hmotnosti i nasákavosti byly docíleny u vzorků, kde byla použita receptura s obsahem jemného křemičitého plniva (M). Pro pevnost v rázu je příznivější receptura bez jemného křemičitého plniva (U).

*Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu:
1M06005 CIVAK – „Centrum integrovaného výzkumu anorganických kompozitů“*