

## KLASIFIKACE SKLOVLÁKNOBETONU PODLE EN 15191

*Wail Khazal, Josef Knězek, Vladan Prachař<sup>1</sup>*

*Hlavní charakteristiky funkčních vlastností podle EN 15191 Betonové prefabrikáty – Klasifikace funkčních vlastností sklovláknobetonu. Vazby na EN 15422 „Specifikace skleněných vláken pro výztuž malt a betonů“ a EN 14649 „Zkušební metoda pro určení stálosti pevnosti skleněných vláken v cementu a betonu“ (Zkouška SIC). Klasifikace sklovláknobetonu (SVB) podle úrovně „charakteristických hodnot“ meze úměrnosti a pevnosti v tahu za ohybu. Význam stability jakosti ve výrobě sklovláknobetonu. Norma neposuzuje charakter statistického rozložení experimentálních údajů. Předpokládá pouze normální statistické rozložení pracovních charakteristik za ohybu a stabilní úroveň pevnostních charakteristik vyráběných produktů. V případě nestabilní úrovně výroby norma umožňuje formulovat nevěrohodné úrovně pracovních charakteristik za ohybu. Poznámka k rozsahu zkoušek pro klasifikaci a kontrolu kvalitativních parametrů v případě normálního či log-normálního statistického rozložení. Charakteristické vlastnosti jako podklad pro navrhování stavebních prvků a konstrukcí.*

### Úvod

Zavedením EN 15191 Betonové prefabrikáty – Klasifikace funkčních vlastností sklovláknobetonu se formálně uzavírá okruh normativní dokumentace pro výroby – metody zkoušení – funkční vlastnosti sklovláknobetonu. Řadu let trvajícím normalizačním procesem vytváří zavedením EN 15191 formální předpoklady pro bezkonfliktní rozvoj navrhování

---

<sup>1</sup>KHAZAL WAIL, RNDr., Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno, tel.: 543 529 299, khazal@vustah.cz

KNĚZEK JOSEF, Ing., CSc., Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno, tel.: 543 529 275, knezek@vustah.cz

PRACHAŘ VLADAN, Ing., Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno, tel.: 543 529 299, prachar@vustah.cz

stavebních prvků a konstrukcí ze sklovláknobetonu (dále SVB) klasifikovaných do tříd podle úrovně funkčních vlastností. Tato norma je nepochybným kompromisem názorů, poznatků a praktických zkušeností v širším rozpětí reality evropského prostoru v této sféře. Léta probíhající výzkum ve sférahch technologie výroby a návazných fyzikálně mechanických vlastností včetně parametrů trvanlivosti SVB kompozitů na bázi alkalivzdorných skleněných vláken (ASV) se rozšiřuje v posledních letech i do oblasti SVB kompozitů vybavených i orientovanou vláknovou výztuží různých proveniencí. Normou EN 15191 zaváděné principy klasifikace, určené pro cementové kompozity s disperzní výztuží ASV, jsou v současnosti akceptovatelné i pro SVB s orientovanou výztuží ve formě tenkostěnných prvků a konstrukcí ( za předpokladu deklarace typu orientované výztuže ASV, jejího umístění v profilu SVB- prvků a vymezení tloušťky SVB). Doposud přetrvává ve stavebnictví konzervativní přístup k potenciálu mimořádných způsobilostí SVB pro řešení tvarově náročných architektonicky původních stavebních prvků a konstrukcí.

### **Klasifikace funkčních vlastností SVB s disperzní výztuží ASV podle EN 15191**

Vedle definování základních pojmů nutných pro užití vlastnosti SVB norma uvádí základní složení SVB, doporučované pro 2 způsoby homogenizace mokré vláknové výrobní směsi, a to stříkáním (souběžně vláken a kompletní mokré matrice) a mícháním za mokra (premix). Odpovídající doporučené podíly skladebných složek SVB uvádí tabulka 1.

*Tab. 1: Doporučené složení SVB směsi*

<b>Homogenizace mokré vláknové směsi</b>	<b>stříkání</b>	<b>premix</b>
Obsah ASV , % hm.	3,0 – 5,5	1,5 – 3,5
Délka ASV, mm	≥ 25	≤ 25
Vodní součinitel	0,35 ± 0,05	0,37 ± 0,05
Suché kamenivo/cement jemnozrné	0,67 /1 až 2/1	
50%-ní polymer, % objemových	0 – 7	

V normě EN 15191 jsou definovány (podle způsobu homogenizace mokré vláknové směsi) průměrné hodnoty funkčních vlastností SVB:

- objemová hmotnost v suchém stavu,
- vybrané charakteristiky za statického ohybu ve stáří 28 dnů,
- dva parametry mechanických vlastností po zkoušce trvanlivosti v klimatických cyklech,
- nasákavost za 24 hodinách,
- lineární vlhkostní změna a
- moduly pružnosti.

Jejich číselné charakteristiky shrnuje tabulka 2.

Norma uvádí i řadu doplňkových funkčních vlastností, a to již bez zohledňování způsobu homogenizace mokré vláknové směsi. Některé z doplňkových funkčních vlastností jsou jen slovním srovnáním s vlastnostmi betonu.

Norma dále zavádí klasifikaci SVB jednak z hlediska vlivu stárnutí na povětrnosti (podle výsledků zkoušky pevnosti v ohybu po 50-ti klimatických cyklech –  $MOR_{50}$ ), a to podle úrovně meze úměrnosti ( $LOP_{28}$ ) a pevnosti za ohybu ve stáří 28 dní ( $MOR_{28}$ ).

Z hlediska stárnutí SVB je klasifikačním ukazatelem hodnota  $k_2$ :

$$k_2 = \frac{MOR_{50}}{MOR_{28}} \quad (1)$$

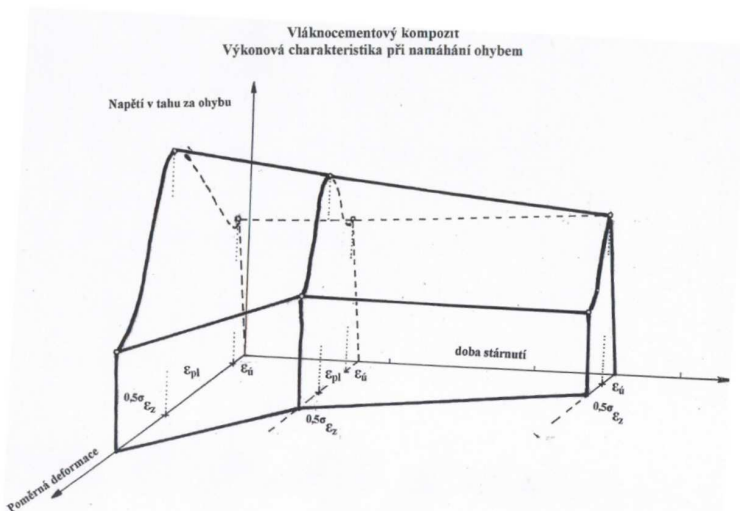
při čemž platí vztah :

$$1,0 \geq k_2 \geq \frac{LOP}{MOR} \quad (2)$$

Z pohledu užití SVB na stavební prvky a konstrukce určené pro venkovní prostředí (či interiéry s trvale vysokou relativní vlhkostí prostředí) je třeba respektovat časovou proměnnost pracovní charakteristiky napětí za ohybu – poměrná deformace [1], jak je schématicky ukázána na obr. 1.

*Tab. 2: Funkční vlastnosti SVB*

<b>Homogenizace mokré vláknové směsi</b>	<b>Stříkání</b>	<b>Premix</b>	<b>Zkušební metoda</b>
Objemová hmotnost v suchém stavu, kg <sup>-3</sup>	<b>1900 + 300</b> - 200		EN 1170-6
Ohybové charakteristiky - mez úměrnosti (LOP), MPa - pevnost za ohybu (MOR), MPa - poměrná deformace ( $\epsilon_{MOR}$ ), ‰	8 ± 2  20 ± 5  8 ± 2	7 ± 2  9 ± 3  ≥ 1,0	EN 1170-5
Ohybové charakteristiky po 50-ti cyklech: uložení ve vodě/sušení - pevnost za ohybu (MOR), MPa - poměrná deformace ( $\epsilon_{MOR}$ ), ‰	16 ± 4  ≥ 1,0	8 ± 2  ≥ 0,5	EN1170-8  EN 1170-5
Nasákavost za 24 hodin, % hmotn.	11 ± 3		EN 1170-6
Lineární vlhkostní změny, mm/m	1,2 ± 0,3		EN 1170-7
Modul pružnosti, GPa - ve stáří 28 dní - dlouhodobý	10 - 20  15 - 25		



Obr. 1: Schéma časového rozvoje pracovní charakteristiky napětí za ohybu- poměrná deformace ve vnějším prostředí

Norma klasifikuje SVB podle údajů zkoušek pevnosti za ohybu, a to „charakteristickými hodnotami“ meze úměrnosti ( $LOP_{28}$ ) a pevnosti za ohybu ve stáří 28 dní ( $MOR_{28}$ ). „Charakteristické hodnoty“ norma definuje ( $LOP_{CHAR}$ ,  $MOR_{CHAR}$ .) při úrovni spolehlivosti 0,75 jako 5-ti %-ní kvantil s 95-ti %-ní pravděpodobností v závislosti na počtu zkušebních těles.

Užití SVB na stavení produkty tedy bude vždy spojeno s nutností klasifikovat SVB z hlediska požadavků EN 15191.

Příklad klasifikace: SVB 7/10 označuje sklovláknobetonový kompozit s charakteristickou hodnotou meze úměrnosti  $LOP = 7$  MPa a charakteristickou hodnotou pevnosti za ohybu  $MOR = 10$  MPa.

*Tab. 3: Rozsah „charakteristických hodnot“ pro klasifikaci SVB.*

LOP <sub>CHAR</sub> (MPa)	MOR <sub>CHAR</sub> (MPa)							
5	5	8	10					
6		8	10	12	14	16		
7			10	12	14	16	18	20
8				12	14	16	18	20

### **Význam stabilizované technologie výroby SVB**

Kvalitu výroby SVB je účelné dlouhodobě charakterizovat variačním součinitelem pevnosti za ohybu. Podle typu užitě vláknové výztuže, způsobů homogenizace vláknové výrobní směsi, zapracovanosti a kvality výrobního personálu i dalších podmínek prostředí může nabývat variační součinitel pevnosti za ohybu různých úrovní. Dlouhodobá stálost i jen takto vymezených podmínek ve výrobě je podmínkou stability variačních součinitelů užitných vlastností.

Již před léty [2] byla úroveň kvality SVB vyráběného technologií ručního stříkání (vyžaduje jak dobrý fyzický fond pracovníků bezprostředně realizujících nástřik, tak i jejich vysokou morální odpovědnost za dodržování všech technologických parametrů) spojena právě s kvalitou a zapracovaností výrobního personálu: v období osvojování technologie personálem se pohybuje variační součinitel pevnosti za ohybu v oblasti 20 až 22 %, po získání mírné zkušenosti v oblasti 15 až 18 %, zkušení pracovníci dosahují hodnot variačního součinitele pevnosti za ohybu v oblasti 12 až 15 %.

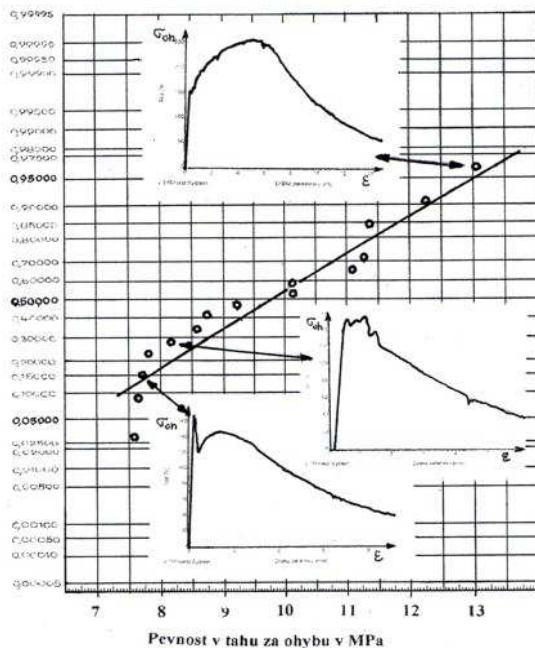
Znamená to, že například při hypotetickém dodržování střední hodnoty pevnosti za ohybu 18 MPa by byla dosahována v období osvojování technologie hodnota MOR<sub>CHAR</sub> = (9,3 ÷ 10,1) MPa (tj. v době, kdy nejsou dostatečné poznatky o variabilitě a objektivní údaj o úrovni směrodatné odchylky pevnosti za ohybu není dosud k dispozici), naproti tomu jsou-li již k dispozici zkušení pracovníci, jejichž existence v řádně vedené výrobě SVB je bezprostředně spojena se znalostí úrovně směrodatné odchylky pevnosti za ohybu, mělo by být dosahováno hodnot MOR<sub>CHAR</sub> = (12,9 ÷ 13,9) MPa. V obou případech se předpokládá, že je k dispozici údaje vždy 8

zkušebních těles. Užité charakteristiky v parametru pevnosti za ohybu se tedy liší o „2 třídy“, jak vyplývá z tabulky 3.

Byly to m.j. snahy o potlačení vlivu „lidského činitele“ a dosažení rovnoměrnější kvality SVB, které vedly v minulosti k propracování technologie „premix“

SVB vyráběné technologií „premix“ tvoří specifickou skupinu kompozitů. Realita zvolených výrobních prostředků a obecně technologie homogenizace mokré směsi matrice a užitých vláken se promítá do vlastností výsledného SVB. Vliv lidského činitele je významně potlačen (ve srovnání s technologií stříkání), přesto může zůstat variabilita pevnosti za ohybu v úrovni výše uvedeného osvojování či mírných zkušeností. ( tj. cca 15 až 20%). Fyzicky méně náročný výrobní proces „premix“ je však vykoupen nezbytností aplikovat kratší vlákna a omezit jejich dávkovaný podíl (ve srovnání s technologií stříkání). Navíc vyvstává poměrně výrazně fenomén rovnoměrnosti rozptýlení vláken v objemu konečné mokré výrobní směsi při užitém způsobu a režimu jejího míchání [3] s bezprostředními dopady na mechanické vlastnosti konečného SVB (Obr.2). V případě dostatečného počtu zkušebních těles se může výrazně projevit uspořádání jednotlivých hodnot pevnosti za ohybu, které se významně liší od statistického modelu normálního rozložení, jak je ukázáno na obr.3. v případě údajů ze 13-ti kontrolních desek SVB, z nichž na každé bylo provedeno dvojnásobné (16 zkušebních těles) stanovení pevnosti za ohybu podle ČSN EN 1170 – 4. Souhrn těchto údajů se „rozpadá“ do 3 skupin podle zjištěné úrovně pevnosti za ohybu:

- podskupina „M“ odpovídá rámcově případu, kdy v kritickém objemu zkušebního tělesa namáhaného ohybem bylo jen minimum vláken (jejich podkritické množství, kompozit je limitován vlastnostmi matrice)
- podskupina „K“ odpovídá rámcově případu, kdy v kritickém objemu zkušebního tělesa namáhaného ohybem bylo takové množství vláken, kdy sice ještě nepřinášejí mimořádný přínos pro úroveň pevnost, avšak jsou způsobilá přemostovat mikrotrhliny v matici SVB při zachování dosažené úrovně únosnosti.
- podskupina „V“ odpovídá rámcově případu, kdy v kritickém objemu zkušebního tělesa namáhaného ohybem byl výrazný objem vláken (jejich nadkritické množství), zabezpečujících SVB nejvyšší úroveň pevnosti za ohybu, kdy i po narušení matrice je SVB způsobilý přenášet poměrně vysoké deformační přetvoření, byť v převážné míře trvalého charakteru.



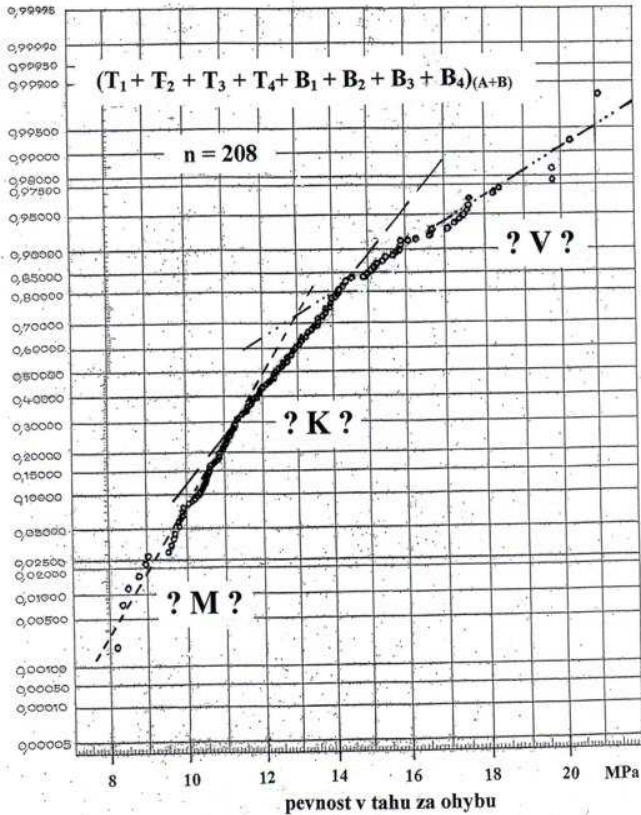
Obr.2: Příklad proměnnosti pracovních charakteristik napětí za ohybu –  
poměrná deformace

Provedená analýza konstatuje, že ukázaný celkový soubor neodpovídá modelu normálního rozložení, ani transformace zjištěných hodnot do modelu logaritmicko-normálního rozložení není uspokojivá. V tomto případě tedy nejsou splněny podmínky pro vyčíslení charakteristických hodnot, nutných ke klasifikaci SVB podle EN 15191.

Stabilita úrovně pevnosti za ohybu má zásadní význam i při posuzování trvanlivosti v klimatických cyklech podle ČSN EN 1170-8 parametrem  $k_2$  podle vztahu (1).

Je třeba poznamenat, že EN 15191 neposkytuje odpovídající parametry statistického rozložení hodnot v případě neznámé směrodatné odchylky (tedy pro případ zavádění, osvojování výroby) a je nutno aplikovat potřebné statistické parametry přímo z ISO 12491:1997 (u nás nezavedena). Je nelogické, že zaváděná ČSN EN 15191 neudává charakteristiky

statistického rozložení pro soubory  $n = 8$ , jejichž počet je předepisován v ČSN EN 1170-5 a je nutné vyhledat je opět vyhledat v ISO 12491:1997.



Obr.3: Příklad statistického rozložení hodnot pevnosti za ohybu  
při  $n = 208$ .

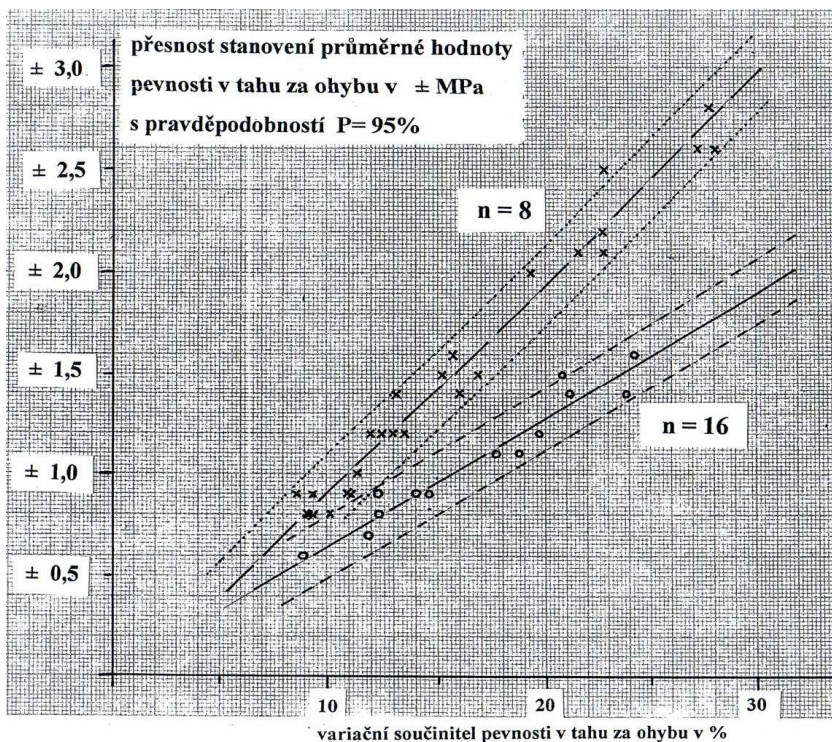
Nepochybně lze považovat za oprávněný požadavek, aby relativní chyba parametru  $k_2$  se pohybovala například v úrovni nejvýše cca 20%. V tom případě by měla být splněna podmínka:

$$\epsilon_{MOR50} + \epsilon_{MOR28} = 20,$$

kde  $\epsilon_{MOR50}$  je relativní chyba pevnosti za ohybu po 50ti cyklech

$\xi_{MOR28}$  je relativní chyba pevnosti za ohybu ve stáří 28 dnů.

Při změně variability pevnosti za ohybu vlivem klimatických cyklů nabývá na důležitosti otázka spolehlivosti. Souvislost přesnosti stanovení průměrné hodnoty pevnosti za ohybu (v případě normálního rozložení) v závislosti na odpovídajícím variačním součiniteli stanovených a pro počty zkušebních těles 8 a 16 je ukázána na obr. 4.



Obr. 4: Přesnost stanovení průměrné hodnoty pevnosti za ohybu  
v závislosti na úrovni variačního součinitele a počtu zkušebních  
těles v souborech (při  $P = 95\%$ )

Pro SVB se střední hodnotou pevnosti za ohybu v úrovni 15 MPa (tj.  $MOR_{28}$ ) při variačním součiniteli 16% byla stanovena přesnost střední

hodnoty  $\pm 1,5$  MPa, (tj.  $\xi_{MOR28} = 10\%$ ). Pro  $\xi_{MOR50}$  hypoteticky zůstává k dispozici 10%. Byla-li by hodnota  $MOR_{50}$  zjištěna v úrovni 10 MPa, pak by průměrná hodnota  $MOR_{50}$  musela být stanovena s přesností  $\pm 1,0$  MPa a z obr. 3. plyne, že byla-li zachována úroveň variability hodnot  $MOR_{50}$  (tj. 16%), pak by musel být počet zkušebních těles dvojnásobný ( $n=16$ ). Ve skutečnosti lze očekávat nárůst variačního součinitele hodnot  $MOR_{50}$  – například na úroveň 20 %. V tom případě by počet zkušebních těles měl být ještě podstatně větší ( $n \gg 16$ ).

## **Závěr**

Zavedením klasifikace SVB podle EN15191 dochází ke konfrontaci zavedených technologií výroby. Realita kvalitativních parametrů výroby vychází z různosti zavedených technologií a různosti homogenizačních zařízení. Dominujícím faktorem ovlivňujícím klasifikaci SVB podle „charakteristických hodnot“ meze úměrnosti a pevnosti za ohybu se stává míra rovnoměrnosti rozptýlení vláken v objemu výsledného kompozitu.

Při zavádění a provozování výroby SVB není v současnosti v plném rozsahu požadováno dokladování vazeb parametrů technologie, lidského činitele a vnějších podmínek jako podmiňujících faktorů pro úroveň kvalitativních parametrů výsledného SVB. Rozsah kontrolních zkoušek kvality SVB je dán normalizovanými zkušebními postupy a měl by respektovat specifika jednotlivých konkrétních producentů SVB.

Je třeba vzít na vědomí, že „charakteristické hodnoty“ pevnosti za ohybu podle EN 15191 jsou stanovovány:

- za předpokladu normálního statistického rozložení hodnot pevnosti za ohybu
- při konfidenční úrovni 0,75, tj. při (poměrně nízké) úrovni spolehlivosti zavedené v ISO 12491 pro stavební materiály a konstrukční prvky, uplatněné pro sklovláknobetonu v EN 15191
- jako 5%-ní kvantily s pravděpodobností 95%
- kdy se předpokládá stabilní kvalitativní úroveň zavedené výroby, charakterizovaná znalostí dlouhodobě dosahované úrovně směrodatné odchylky sledovaného znaku (tj. pevnosti za ohybu),
- kdy není požadována nezbytnost prokázání normálního statistického rozložení hodnot pevnosti za ohybu.

Výsledky jakýchkoliv – typových, průkazných či kontrolních zkoušek by měly být prezentovány jednak zjištěnými soubory údajů, jednak dokladovanými formami jejich statistického zpracování.

*Tento příspěvek vznikl za podpory MŠMT – projektu reg.č. 1M06005 - CIVAK.*

## Literatura

- [1] J.KNĚZEK: Pracovní a výkonové charakteristiky kompozitních materiálů, *Maltoviny 2006*, VUT –FAST Brno, 14.12.2006, str.82-94, ISBN 80-214-3322-1
- [2] G.WELCH et all: Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels, *PCI Journal*, January-February 1981, 26, č.1.
- [3] J.KNĚZEK, R.ČECHMÁNEK, W.KHAZAL, V.PRACHAŘ, R.SVOBODOVÁ: Kriticky k hodnocení pevnosti v tahu za ohybu podle ČSN EN 1170, přednáška, *Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2007*, Masarykova kolej ČVUT, Praha