

OBJEMOVÉ ZMĚNY BETONU JAKO VÝZNAMNÝ ASPEKT PRO NAVRHOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH DŘEVOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ ■ THE VOLUME CHANGES OF CONCRETE AS AN IMPORTANT ASPECT OF DESIGN TIMBER-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES

Jiří Šafrata, Jana Daňková,
David Janíček

Jednou z forem optimalizace využití materiálů ve stavebních konstrukcích je aplikace kompozitních systémů. Mezi perspektivní kompozitní konstrukce ve stavebnictví můžeme zařadit dřevobetonové konstrukce. V oboru navrhování těchto typů konstrukcí je jednou z diskutovaných problematik predikce vlivu časově závislých vlastností betonu, zejména smršťování a dotvarování, na parametry únosnosti a použitelnosti konstrukce. ■ One of the ways to optimize the use of materials in building constructions is the application of composite systems. The timber-concrete structures are in this respect promising. The issue of prediction of time dependent properties of concrete is often discussed by experts in this field.

Dřevobetonové konstrukce jsou charakteristické optimálním využitím environmentálně přijatelných surovin v konstrukci, minimalizací energetické náročnosti dopravy a montáže při výrobě, využitím místní surovinové základny a v neposlední řadě minimalizují objem nerecyklovatelných odpadů.

Dřevobetonové konstrukce se uplatňují ve stropních konstrukcích vícepodlažních dřevostaveb, v mostním stavitelství a také tam, kde je potřeba zajistit zvýšení požární odolnosti nebo tuhosti stávající vodorovné dřevěné konstrukce.

Spojení dřeva a betonu, resp. jiných silikátových hmot, je poměrně tradiční a známou technologií v rámci materiálových struktur ve stavebnictví. V konstrukčních kompozitech aplikovaných v nosných systémech se jedná o záležitost známou z třicátých let 20. století.

Na rozdíl od ocelobetonových konstrukcí není pro navrhování dřevobetonových spřažených konstrukcí vydán samostatný Eurokód. Při navrhování a posuzování dřevobetonových konstrukcí se postupuje dle ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1992, ČSN EN 1995. Dále je možno také použít ČSN EN 1994, ČSN 73 1702:2007 (není v rozporu s Eurokódy).

V souladu s ČSN EN 1990 je možno

navrhovat a posuzovat konstrukce, pro které neexistuje samostatný Eurokód, dle experimentálně ověřených analýz. V současné době je pro navrhování dřevobetonových spřažených konstrukcí používáno několik typů analýz, každá analyza však má své limity použitelnosti.

Pro realizaci dřevobetonových spřažených konstrukcí jsou používány různé typy čerstvých betonů, např. lehké betony s plnivem Liapor, vláknobeton apod. V dřevobetonovém spřaženém průřezu (při řešení napjatosti příčného řezu ohýbaného prvku, pozn. red.) je beton namáhán převážně tlakem. Vzhledem k malým rozponům spojité železobetonové (resp. betonové, vláknobetonové) desky mezi jednotlivými dřevěnými nosníky bývá tloušťka betonové, resp. železobetonové, části spřaženého profilu poměrně subtilní.

Při navrhování dřevobetonových konstrukcí je nutno (kromě jiného) respektovat pravidla uvedená v Eurokódu 2 [6], který v článku 2.3.2 a zejména 2.3.3. odstavec (1) ustanovuje pravidlo, že při návrhu betonových konstrukcí se musí uvažovat důsledky deformací vyvolaných teplotou, dotvarováním a smršťováním. Účinky teploty a smršťování lze zanedbat v globální analýze konstrukce pouze za předpokladu, že v konstrukci jsou provedeny dilatační spáry ve vzdálenosti d_{joint} , v nichž se mohou realizovat výsledné deformace [6].

Účinky smršťování jsou v betonových konstrukcích, které jsou navrhovány dle EC2, uvažovány zejména při návrhu konstrukce dle mezních stavů použitelnosti.

V dřevobetonových konstrukcích jsou účinky smršťování a dotvarování uvažovány také při navrhování konstrukcí dle mezního stavu únosnosti, neboť vnáší do kompozitního spřaženého systému přídatná napětí. V současné době není dosud analyticky definován mechanismus přenosu těchto přídatných napětí mezi dřevem, spřahovacími prvky a betonem v rámci dře-

vobetonové kompozitní konstrukce. Je také diskutován význam těchto napětí v rámci redistribuce vnitřních sil mezi jednotlivými částmi spřaženého dřevobetonového průřezu.

Pro navrhování dřevobetonových konstrukcí jsou sledovanými vlastnostmi betonu zejména pevnost v tlaku, modul pružnosti a hodnoty smrštění a dotvarování.

Smrštění, obdobně jako dotvarování betonu, je charakterizováno jako časově závislý jev. Smrštění betonu je složitý proces, který je vyvolán mnoha vlivy, např. úbytkem vody v krystalové mřížce, kapilárními jevy, redistribucí vody v rámci kapilárního systému a také napětovým stavem na rozhraní mezi povrchem zrn kameniva a cementovým kamenem.

Smrštění cementového kamene můžeme rozdělit dle [5] na:

- vlhkostní smrštění – dosahuje hodnot až 2,5 mm/m,
- hydratační smrštění – dosahuje přibližných maximálních hodnot za 40 až 50 dnů až 0,2 mm/m,
- karbonatační smrštění – uvažuje se řádově v letech a maximální hodnoty jsou cca 0,7 až 1 mm/m.

Oproti tomu Collepardi [3] uvádí tři hlavní typy smrštění:

- plastické smrštění,
- smrštění vysycháním,
- autogenní smrštění.

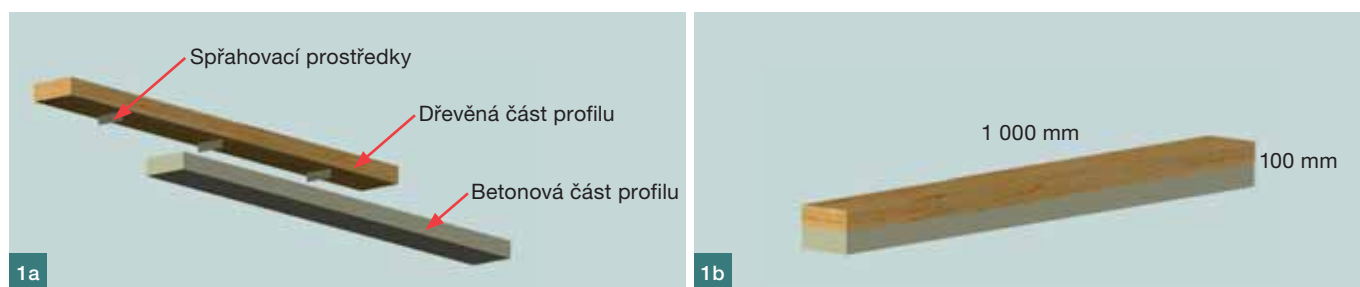
Samostatným typem smrštění je termální smrštění, které nastává vlivem změny teplot především při ztrátě hydratačního tepla [1].

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2 zohledňuje v pravidlech pro navrhování konstrukcí smršťování vysycháním a autogenní smršťování. V článku 3.1.4. [6] zavádí pojem celkové poměrné smrštění ϵ_{cs} , přičemž:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}, \quad (1)$$

kde ϵ_{cd} je poměrné smrštění vysycháním a ϵ_{ca} poměrné autogenní smrštění.

Veličiny ϵ_{cs} , ϵ_{cd} a ϵ_{ca} jsou zde [6] chápány jako časově závislé funkce. V článku 3.1.4. jsou uvedeny příslušné návrhové postupy a tabulky pro příra-



Obr. 1 Schéma vzorku dřevobetonového kompozitního konstrukčního systému, a) jednotlivé komponenty vzorku, b) kompletovaný vzorek ■ Fig. 1 Scheme of a timber-concrete composite structural system sample, a) individual components of the sample, b) an assembled sample

Tab. 1 Vliv vyztužení na smrštění betonu [5] ■ Tab. 1 The influence of reinforcement on the shrinkage of concrete [5]

Stupeň vyztužení [%]	Smrštění [% obj.]	Napětí ve vyztužení [MPa]	Napětí v betonu [MPa]
0	0,64	0	0
0,55	0,54	13	0,7
1,23	0,42	11	1,4
2,18	0,29	8,4	1,75

Tab. 2 Receptury betonu pro výrobu vzorků ■ Tab. 2 Formulae for the production of concrete samples

Složka	Receptura	
	Vzorek A	Vzorek B
Cement CEM I 42,5 R [kg/m ³]	320	320
Popílek [kg/m ³]	60	60
Kamenivo 0/4 [kg/m ³]	940	940
Kamenivo 4/8 [kg/m ³]	167	167
Kamenivo 8/16 [kg/m ³]	623	623
Superplastifikátor PCE [kg/m ³]	3,9	3,9
Stabilizační přísada [kg/m ³]	0,7	0,7
Protismršťovací přísada [kg/m ³]	-	8,45
Vodní součinitel [-]	0,488	0,497

zení hodnot k některým vstupním datům.

TECHNICKÉ A TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY NA BETON

Mezi hlavní faktory, které ovlivňují smrštění betonu, patří [5]:

- smršťování cementového kamene v závislosti na jeho pórovitosti,
- druh a vlastnosti cementového kamene,
- složení betonu,
- rozměr a tvar betonové konstrukce a její vyztužení,
- teplota, vlhkost, čas.

Zcela eliminovat deformace betonu způsobené dotvarováním a smršťováním nelze, avšak lze tyto jevy usměrnit, případně minimalizovat jejich negativní projevy.

Smrštění vysycháním lze ovlivnit pečlivým ošetřováním, vyšším objemem kameniva v čerstvém betonu, zvýšením maximálního zrna v kamenivu. Nižší smrštění vykazují betony s nižším vodním součinitelem a betony, v jejichž recepturách byly použity superplastifikátory a speciální protismršťovací přísady.

Velmi důležitá je technologie ukládání čerstvého betonu do konstrukce (bednění) a následné zajištění vhodných podmínek během tuhnutí a tvrdnutí betonu. Kladný vliv má vyšší nasávkavost bednění, kdy dochází k redistribuci vlhkosti mezi povrchem betonu a povrchem bednění. Odborná literatura [5] uvádí až o 15 % nižší smrštění. Vyztuž omezuje smrštění betonu. Čím

je vyšší stupeň vyztužení, tím je smrštění menší (tab. 1).

EXPERIMENT

Experimentální analýza byla navržena s cílem kvalifikovat vliv spřažení betonu a dřeva na vývoj smrštění betonové části vzorku.

V rámci experimentu bylo ověřeno celkové smrštění betonu u vzorků dřevobetonového kompozitního konstrukčního systému (obr. 1).

Dřevěná část vzorku byla vyrobená z rostlého smrkového dřeva *Picea abies* hustoty $\rho_{12} = 475 \text{ kg/m}^3$. Jako spřahovací prvky byly použity ocelové úhelníky $40 \times 40 \times 3 \text{ mm}$ v jakosti oceli 11 375. Ocelové úhelníky byly do dřeva uchyceny samočtyrnými vruty do dřeva.

Měřicí zařízení bylo umístěno v klimatizovaném prostoru. Snímače deformace (smrštění) byly umístěny na čelech nádoby, která tvoří bednění pro měřený beton. Nádoba byla na vnitřních površích opatřena separační fólií (redukce tření). Měřicí čela byla umístěna na obou koncích měřicí nádoby, jedno čelo bylo pevné, druhé pohyblivé. Kotva pohyblivého čela se během měření volně pohybovala v ložiskovém bloku. Před naplněním nádoby betonem byla čela zafixována na vzdálenosti 1 000 mm. Zkušební nádoba byla naplněna čerstvým vzorkem a beton byl následně ztuhnut. Vlhkostní a teplotní senzor byl umístěn uprostřed měřicího tělesa.

Délka měření je obvykle závislá na ty-

pu měřeného materiálu a požadavcích zadavatele. Minimální délka trvání zkoušky je 7 dní nebo do ustálení hodnot smrštění. Ustálením hodnot se rozumí to, že změna hodnot deformace (smrštění) se po dobu 24 h nezmění o více jak 2 %. Výstupem měření je graf (obr. 2).

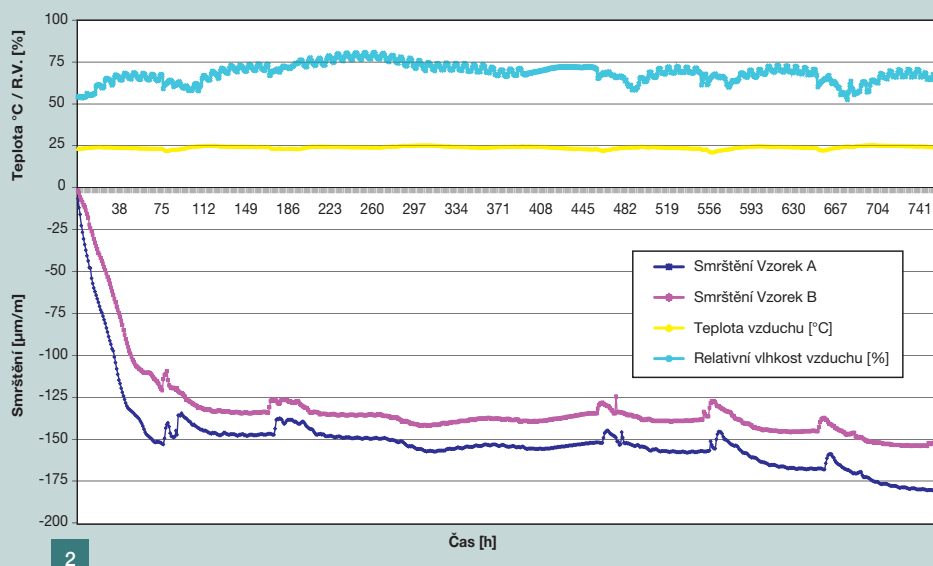
Vývoj smrštění byl sledován kontinuálně po dobu devíti měsíců. Betonáž a následné uložení vzorků probíhala v laboratorních podmínkách (obr. 2).

Pomocí experimentu byl ověřen mechanismus spolupůsobení betonu, dřeva a spřahovacího systému vzhledem ke konečné hodnotě smrštění betonu. Pro srovnání byly použity dvě různé receptury (tab. 2).

V průběhu experimentu vykazoval beton obou vzorků velmi příznivé hodnoty smrštění po 28 dnech. Po devíti měsících byla hodnota smrštění u vzorku A $515 \text{ } \mu\text{m/m}$ a vzorku B $493 \text{ } \mu\text{m/m}$.

SHRNUTÍ A ZÁVĚRY

Vlastnosti kompozitů jsou ovlivňovány vlastnostmi použitých materiálů a jejich objemovým zastoupením, kvalitou interakcí mezi jednotlivými složkami, odezvou jednotlivých složek a celého kompozitu na působení vnějších vlivů apod. Nejsložitější a nejdůležitější je zajištění synergického účinku jednotlivých složek. Složky musí v kompozitu „spolupracovat“ tak, aby negativní vlastnosti každé složky byly potlačeny a pozitivní vlastnosti umocněny, přičemž významné jsou procesy probí-



Obr. 2 Vývoj smrštění v průběhu 30 dnů od betonáže ■ Fig. 2 Development of shrinkage within 30 days after concreting

Literatura:

- [1] Bajza A. a Rouseková I.: *Technológia betónu*. Bratislava: Jaga, 2006, ISBN 80-8076-032-2
- [2] Bodnárová L.: *Kompozitní materiály ve stavebnictví*. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-214-2266-1
- [3] Collepardi M.: *Moderní beton*. Praha: ČKAIT 2009, ISBN 978-80-87093-75-7
- [4] Pexová J., Novotný M.: Rozbor vlivu separační vrstvy u dřevobetonových stropních konstrukcí, In: *Dřevostavby 2011*, Volyně: VOŠ Volyně, 2011, s. 87–92. ISBN 978-80-86837-33-8
- [5] Pytlík P.: *Technologie betonu*. Brno: VUT v Brně 2000, ISBN 80-214-1647-5
- [6] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [7] ČSN EN 1990 *Zásady navrhování konstrukcí*
- [8] ČSN EN 1991 *Zatížení konstrukcí*
- [9] ČSN EN 1992 *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [10] ČSN EN 1995 *Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [11] ČSN EN 1994 *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [12] ČSN 73 1702:2007 *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (není v rozporu s Eurokódy)*

hající na hranici složek [2], v tomto případě v kontaktní spáře mezi betonem a dřevem.

Experiment prokázal vzájemnou synergií obou hlavních složek, dřeva a betonu, jako velmi výhodnou z hlediska redukce smršťování betonu. Dřevěná část kompozitního konstrukčního vzorku dotovala beton v kontaktní spáře vlhkostí, čímž bylo redukováno smrštění vysycháním. Stabilizace objemových změn v kontaktní spáře mezi dřevem a betonem je podporována redistribucí vody v kapalně nebo plynné formě mezi kapilárními systémy obou materiálů. Spřahovací prostředky aplikované v kontaktní spáře dřevobetonové spřažené konstrukce pravděpodobně působí stejně jako ocelová výztuž v železobetonu a podílejí se na redukcii smrštění betonové části konstrukčního kompozitu.

Důležitým aspektem stále zůstává kvantifikace přídatného napětí od smrštění betonu, které přenáší spřahovací systém v rámci spřaženého dřevobetonového průřezu.

Ovlivnění dřeva vlhkostí při betonáži je často diskutovanou problematikou, zejména v souvislosti s nebezpečím napadení dřeva dřevokaznými houbami. Z tohoto důvodu se někdy mezi dřevěnou a betonovou část spřaženého průřezu vkládají fólie. Jak ukazují některé nové studie, např. [4], toto řešení výrazným způsobem negativně ovlivňuje modul prokluzu, čímž se snižuje kvalita spolupůsobení obou částí průřezu. Celková únosnost konstrukce se tak snižuje.

Obava z možného napadení dřeva dřevokaznými houbami je neopodstatněná, pokud jsou dodrženy základ-

ní zásady pro použití dřeva jako konstrukčního materiálu. Dřevokazné houby potřebují ke svému vývoji zejména kyslík, dusík, uhlík, doprovodné látky a přiměřené světlo. Optimální je pro ně mírně kyselé prostředí (pH 4 až 6) a trvalá nebo dlouhodobá stabilní vlhkost dřeva nad 20 %. Dosáhnout těchto podmínek v kontaktní spáře dřevobetonového spřaženého průřezu při obvyklé velikosti dřevěného konstrukčního profilu lze ve vnitřním prostředí (kontinuálně vytápěném a větraném prostoru) jen stěží.

Všeobecně přijímaný názor, že vliv smršťování betonu je zásadním problémem, který oprávněně snižuje důvěru stavebníků k tomuto typu konstrukce je tedy nutno přehodnotit.

Je záležitostí dalšího výzkumu, zda by bylo možno zjednodušit návrhové modely pro tento typ konstrukcí za předpokladu stanovení určitých konstrukčních a technologických zásad, které by zaručily jistou eliminaci vlivu objemových změn betonu na napěťové a deformační chování dřevobetonové spřažené konstrukce. Zejména z toho důvodu, že složité modely vlivů časově závislého chování betonu a dřeva nejsou v inženýrské praxi příliš použitelné.

Článek byl finančně podpořen projektem SP2011/203 Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a jejich vliv na predikci přídatných zatížení v konstrukcích a finančními prostředky institucionální podpory VaV na VŠB – TU Ostrava FAST.

Ing. Jiří Šafrata
e-mail: jiri.safрата@vsb.cz



Ing. Jana Daňková, Ph.D.
e-mail: jana.dankova@vsb.cz



oba: VŠB – TU Ostrava FAST
Katedra Stavebních hmot
a hornického stavitelství
Ludvíka Podéště 1875/17
708 33 Ostrava–Poruba

Ing. David Janíček
Betotech, s. r. o.
Místecká 1121, 703 00 Ostrava
e-mail: david.janicek@betotech.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.