

FASÁDNÍ PANELE Z TEXTILNÍHO BETONU Z POHLEDU HODNOCENÍ JEJICH ŽIVOTNÍHO CYKLU LCA

LIFE-CYCLE ASSESMENT OF TEXTILE REINFORCED FACADE PANELS

Ing. Lenka Laiblová; Ing. Tomáš Vlach; Ing. Ctislav Fiala, Ph.D.; prof. Ing. Petr Hájek, CSc.

ABSTRAKT

Fasády z pohledového betonu se stávají v posledních letech velmi oblíbeným architektonickým prvkem ať už kvůli jejich vzhledu, či jejich odolnosti vůči stále více agresivnímu prostředí. Textilní betony, čili betony vyztužené technickými textiliemi (TRC) byly zpočátku využívány hlavně pro skořepinové konstrukce. Jejich využití pro fasády a jiné konstrukční prvky se uplatňuje až v posledních letech. Hlavní výhodou tohoto kompozitu je umožnění vytvářet extrémně subtilní a přesto pevné elementy, jaké s běžnou ocelovou výztuží již nejdou docílit kvůli nutné tloušťce krycí vrstvy proti korozi. Tyto tenké prvky mají výrazně nižší spotřebu betonu a s tím spojenou menší environmentální stopu. Tento článek ukazuje porovnání fasádního panelu z běžného železobetonu a panelu z TRC pomocí srovnávací LCA (Life Cycle Assessment) analýzy celého životního cyklu. Fasádní panely byly navrženy pro ověření na experimentálním skeletu OSEEB [1], který byl postaven ve spolupráci s ŽPSV a.s. v areálu Univerzitního centra energeticky efektivních budov UCEEB, ČVUT v Praze za podpory výzkumného grantu Technologické agentury ČR (TAČR).

Klíčová slova: *textilní beton, LCA, environmentální stopa, technická textilie*

ABSTRACT

Concrete facades in general are becoming increasingly popular in civil infrastructure more or less because of their design or durability against the aggressive environment around the buildings. Textile Reinforced Concrete (TRC) was mainly used for the shells. Application of TRC for the facades structures started a few years ago. The main idea of this composite was to create the very thin structures which cannot be made from ordinary reinforced concrete due the risk of corrosion of steel reinforcement but with the strength on the high required level. These subtle structures distinctly reduce amount of concrete and thus reduce the environmental footprint. This paper presents a comparison of the ordinary facade panel and textile reinforced facade panel by LCA (Life Cycle Assessment) analysis of their entire lifecycle. Facade panels have been designed for experimental structure OSEEB [1], which was built within in the University Centre of Energy Efficient Buildings at CTU in Prague supported by grant Technology Agency (TAČR).

Key words: *Textile Reinforced Concrete, LCA, Environmental Footprint, Technical Textile*

1 ÚVOD

Beton je hned po vodě nejpoužívanějším materiálem na světě. Během posledního století se stal nejdůležitějším materiálem pro stavebnictví vůbec. Jeho oblíbenost je však spojena s ekologickou zátěží, která vzniká při jeho výrobě, resp. při výrobě jednotlivých složek betonu zejména cementu. Výrobou cementu se vyprodukuje globálně kolem 7 - 8 %

celkové produkce CO₂. Proto v posledních letech sílí snaha snižovat spotřebu tohoto materiálu a zmenšovat environmentální dopady větším využíváním nových druhů betonů s optimalizovanými vlastnostmi [2]. Redukce rozměrů průřezů, a tedy i spotřeby betonu u běžných železobetonů je spojena s problémem dodržení minimální předepsané krycí vrstvy ocelové výztuže proti korozi a v určité fázi již nelze vyrobit subtilnější prvek. Jedním z řešení je použití vysokohodnotných betonů s alternativními nekovovými výztužemi namísto běžných železobetonů jako např. textilní beton (TRC). TRC je poměrně nový materiál, který se používá v posledních dvou dekadách století. Kvůli alkalivzdorné výztuži, není potřeba takové krycí vrstvy, což je hlavní důvod, proč začal být TRC používán pro následující typy aplikací [3-5]. Bylo provedeno několik environmentálních posouzení a studií o vysokohodnotných betonech (HPC) a TRC, které srovnávají tento kompozit s běžným železobetonem z hlediska ekonomického i environmentálního a hodnotí tento materiál velmi pozitivně [2, 6, 7]. Ukazuje se, že TRC je materiálem s velkým potenciálem pro širší využití v budoucnu. Větší využívání TRC tak může částečně přispět k řešení globálních problémů udržitelné výstavby.

2 MATERIÁLY

2.1 Beton

K porovnání byly použity následující dvě směsi: V1 směs běžného betonu C30/37/(OPC) a směs vysokohodnotného betonu (HPC) s technickými textiliemi V2. HPC směs V2 byla vyvinuta a optimalizována na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze v několika posledních letech. Tato samozhutitelná betonová směs s vodním součinitelem 0,25 se skládá z cementu CEM I 42.5 R, technických písků, mikrosiliky, mikromletého křemene a plastifikátoru na bázi polykarboxilátů (Tab. 1). Běžný beton V1 (OPC) se skládá ze štěrku, technických písků, cementu CEM II 32.5 a plastifikátoru. Tato směs má vodní součinitel 0,43 (Tab. 1).

směs HPC		směs OPC	
složení	[kg/m ³]	složení	[kg/m ³]
technické písky	979	štěrk	810
cement I 42.5R	693	Technické písky	1150
křemenná moučka	332	cement II 32.5	360
mikrosilika	178	superplastifikátory	3
superplastifikátory	30	voda	155
voda	174		
celkem	2 386	celkem	2478

Tab. 1 Složení použitých betonových směsí

2.2 Výztuž

Vzorky z běžného betonu V1 jsou vyztuženy klasickou ocelovou kari sítí s oky 100 x 100 mm o průměru drátu 6 mm. Pro vzorky textilního betonu byla použity technická 2 D textilie ve dvou vrstvách. Tyto textilie jsou vyrobeny ze skla odolného vůči alkáliím (AR skla) a jednotlivé svazky vláken (rovingy) jsou v matrici z epoxidové pryskyřice. Charakteristika použité textilie je uvedena v Tab. 2.

název	oka sítě [mm]	vlákna [tex]	tloušťka [mm]	hmotnost [g/m ²]
Standards Glass 2D	10/10	2400	2	612

Tab. 2 Charakteristika výztuže

3 VÝSLEDKY LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

3.1 Tlaková zkouška

Testování tlakových pevností, jakožto důležitého podkladu pro následné numerické modelování, bylo prováděno dle ČSN EN 12390-3 [8] na zkušebním lisu Inova. Na doprovodných tělesech krychlí o hraně délky 100 mm byla naměřena pevnost HPC betonu v tlaku dle [8] o hodnotě 107 MPa a na zlomcích hranolů 40 x 40 x 160 mm byla naměřena pevnost 144 MPa. Vzorky krychlí o hraně délky 100 mm byly zatěžovány jednoosým zatížením, rychlostí 0,2 mm / min.

3.2 Zkouška čtyřbodovým ohybem

Menší vzorky fasádních panelů byly testovány čtyřbodovým ohybem podle standardního testu dle ČSN EN 12390-5 [9] s použitím sběrnice dat Dewetron 500. Zkouška byla prováděna vždy minimálně na třech vzorcích fasádních panelů. Lineární část deformace byla měřena za použití tenzometrů na spodní straně desky.

3.3 Pevnost v tahu za ohybu třibodovým ohybem

Pevnost betonu v tahu za ohybu byla naměřena 15,6 MPa na hranolech 40 x 40 x 160 mm dle ČSN EN 12390-5 [9].

4 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Komplexní LCA analýza celého životního cyklu betonové fasády se skládá z hodnocení jednotlivých materiálů, energie, znečištění prostředí, odpadů a dalších aspektů po celou životnost této fasády. To znamená, že jsou uvažovány environmentální dopady všech fází životního cyklu od výroby, přes užívání až po odstraňování konstrukce. Metoda LCA má pevně danou strukturu a provádí se dle mezinárodních norem řady ISO 14 040.

4.1 Vstupní parametry

Pro již zmiňovaný experimentální skelet OSEEB [1] byla vytvořena srovnávací analýza životního cyklu dvou různých druhů fasád. První verze fasády je uvažována ze směsi běžného betonu V1 (viz výše) a druhá verze z vysokohodnotné směsi V2. Dimenze tloušťky panelu pro obě varianty byla vypočtena na základě příslušných normových požadavků a výsledků provedených experimentálních

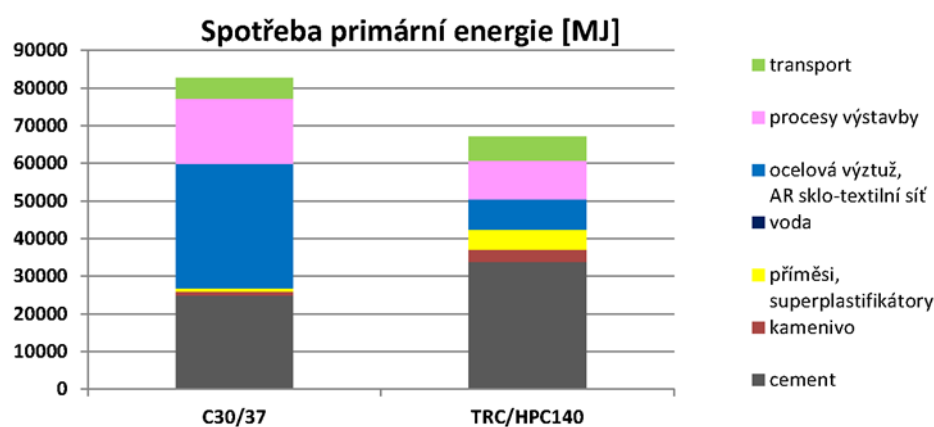
zkoušek. Uvažovány byly dva stavy zatížení. První zatěžovací stav byla vlastní tíha panelu kvůli manipulaci s panelem. Druhým zatěžovacím stavem bylo zatížení větrem pro nejméně příznivou situaci na uvažované experimentální budově. Průřez byl dimenzován tak, aby v ani jednom zatěžovacím stavu nevznikla nežádoucí trhлина. Panely V1 jsou uvažovány o rozměrech 3000 x 1000 x 56 mm a panely z vysokohodnotného betonu V2 jsou navrženy na rozměry 3000 x 1000 x 34 mm. Bylo uvažováno vertikální kladení na celou výšku jednoho podlaží.

4.2 Kalkulace

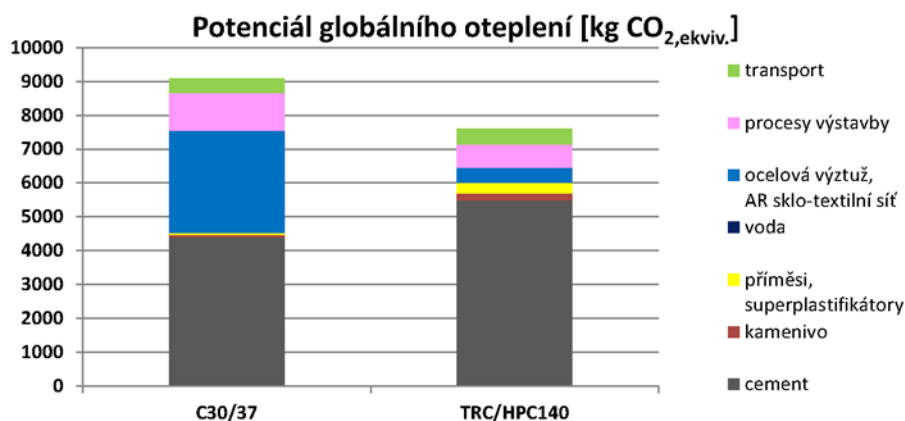
Srovnávací analýza životního cyklu byla provedena za pomoci softwaru CONCRETE LCA Tool 4.0 CZ. V rámci kalkule byly uvažovány všechny fáze životního cyklu fasády od výroby, přes výstavbu, užívání až po demolici. Stavba experimentálního skeletu je situována v Buštěhradu nedaleko Prahy. Výrobce prefabrikátů leží 59 km od Buštěhradu. V rámci cyklu užívání je uvažována kompletní výměna všech dílců fasády V1 a výměna 10 % dílců fasády V2. Demontáž a odvoz do recyklačního střediska je kalkulován na 30 km.

4.3 Výsledky LCA

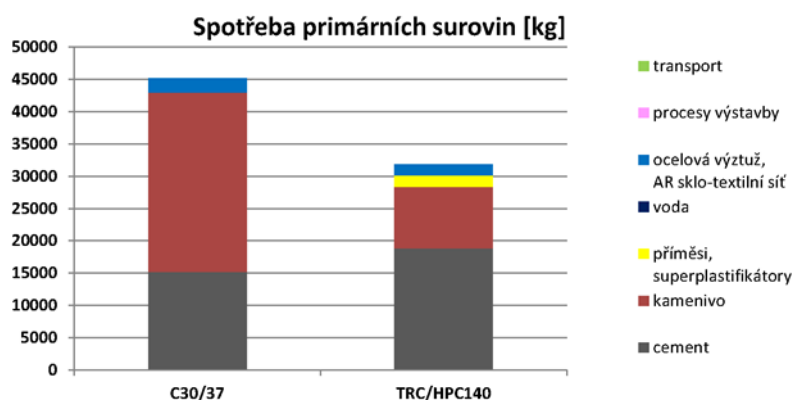
Na Obr. 1-3 vidíme výsledné srovnání spotřeby primární energie, potenciálu globálního oteplení a spotřeby primárních surovin pro fázi Výstavby. Z grafů jsou patrné výborné výsledky fasádních panelů z TRC. Tab. 2 ukazuje jednotlivá data pro všechny fáze životnosti fasády (Výstavba, Užívání, Konec životního cyklu) a navazující Obr. 4 ukazuje procentuální zhodnocení těchto dat.



Obr. 2 Porovnání spotřeby primární energie (fáze Výstavby)



Obr. 2 Porovnání potenciálu globálního oteplení (fáze Výstavby)



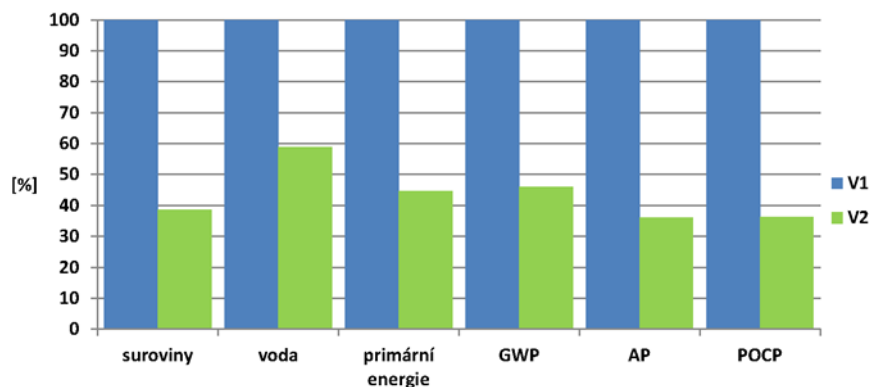
Obr. 2 Porovnání spotřeby primárních surovin (fáze Výstavby)

VÝSTAVBA + UŽÍVÁNÍ + KONEC ŽIVOTNÍHO CYKLU = CELKEM

Srovnání agregovaných dat hodnocených variant	jednotka	V1	V2
		C30/37	TRC/HPC140
spotřeba primárních surovin	%	100	38,7
spotřeba vody	%	100	58,8
spotřeba primární energie ¹⁾	%	100	44,7
potenciál globálního oteplení GWP	%	100	46,0
okyselení AP	%	100	36,1
tvorba přízemního ozónu POCP	%	100	36,3

Poznámka:
¹⁾ neobnovitelná primární energie

Tab. 2 Porovnání celého životního cyklu fasády



Obr. 4 Porovnání celého životního cyklu v %

(GWP – potenciál globálního oteplení, AP – okyselení, POCP – tvorba přízemního ozonu)

5 ZÁVĚR

Z prezentovaných výsledků je patrné, že textilní beton vykazuje výborné výsledky jak z hlediska pevností, tak z hlediska hodnocení environmentálních dopadů v rámci celého životního cyklu této konstrukce. Pevnost v tahu za ohybu subtilních prvků z TRC je vysoká přičemž tloušťka prvků je téměř poloviční oproti běžnému betonu C30/37. Navzdory skutečnosti, že TRC má sám o sobě poměrně vysoké materiálové a energetické nároky na výrobu, lze vzhledem k výrazné redukcii velikosti průřezu dosáhnout příznivých hodnot environmentálních dopadů. Použití TRC na výrobu subtilních prvků jako jsou např. fasádní panely či jiné tenké prvky, může vést ke snížení negativních dopadů na životní prostředí a jít v souladu s koncepcí trvale udržitelné výstavby.

Poděkování

Tato práce byla zpracována za finanční podpory GAČR 13-12676S – Pokročilý výzkum UHPC matrice pro ultra tenké prvky s nekonvenční výztuží a za podpory studentského grantu SGS SGS14/116/OHK1/2T/11 – Ověření trvanlivosti a životnosti cementových kompozitů a recyklovaných betonů.

Použitá literatura

- [1] Růžička, J., Fiala, C., Volf, M., Hájek, P., Bílek, V., Hejl, J.: OSEEB – optimalizovaný konstrukční systém pro energeticky efektivní a udržitelnou výstavbu, Sborník z 12. ročníku Mezinárodní konference Centra pasivního domu 2016, Centru pasivního domu, 2016, ISBN 978-80-904739-7-3.
- [2] Hájek, P., Fiala, C., Kynčlová, M. Life cycle assessments of concrete structures—a step towards environmental savings. *Structural Concrete*, 2011, 12.1: 13-22.
- [3] Hegger, J., M. Zell, and M. Horstmann. "Textile Reinforced Concrete—Realization in applications." proceedings: International fib Symposium Tailor Made Concrete Structures: New Solutions For Our Society. 2008.
- [4] Hegger, J., et al. "Exterior cladding panels as an application of textile reinforced concrete." *ACI Special Publication 224* (2004).

- [5] Hegger, J., and S. Voss. "Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete." *Engineering structures* 30.7 (2008): 2050-2056.
- [6] Fiala, C., Kynčlová, M. „Methodology of Life Cycle Assessment of Structures from High Performance Concrete“, 9th conference Special Concrete, Skalský Dvůr, Sekurkon, ISBN 978-80-86604-58-9, 2012
- [7] Kynčlová, M. Environmentally effective waffle floor structures from fibre concrete, in: *Proceedings of the 8th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, 2010.
- [8] ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, Vydavatelství ÚNM, Praha, 2009
- [9] ČSN EN 12390-5: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles, Vydavatelství ÚNM, Praha, 2009