

VYSOCE EFEKTIVNÍ NÁVRH POHLEDOVÝCH SENDVIČOVÝCH PANELŮ

Luboš Musil, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
Lubos.musil@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Článek pojednává o návrhu pohledového panelu složeného ze dvou vrstev. Hlavní myšlenkou je využití lehké nosné vrstvy (vyztužené drátky, 2D, 3D sítěmi) v tažené oblasti a pohledové hutné betonové vrstvy v tlačené části konstrukce. Pohledová vrstva je tvořena převážně odpadními složkami. Její nosnou kostru tvoří nadrcený odpad vzniklý při těžbě dekoračního kamene a odřezky vzniklé při úpravě. Další odpadní surovinou je kal vzniklý při řezání, broušení a leštění kamene. Kal je použit jako filer v pohledové vrstvě a zlepšuje tak její vlastnosti (nasákavost, mrazuvzdornost, smršťování při vysychání, pevnost v tlaku, atd.). Takto navržený panel má v porovnání se samostatnou nosnou vrstvou stejné tloušťky vyšší pevnost v tahu za ohybu. V porovnání s pouze pohledovou vrstvou je panel lehčí a duktilní. Jelikož je při výrobě panelu použité velké množství odpadních surovin a má vyšší únosnost, lze jej charakterizovat jako vysoce efektivní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pohledový panel • Únosnost • Filer • Lehký beton • Hutný beton

ABSTRACT

The paper deals with the design of a exposed panel consisting of two layers. The main idea is to use a light load-bearing layer (reinforced with wires, 2D, 3D meshes) in the tensile zone and a exposed dense concrete layer in the compression zone of the structure. The exposed layer consists mainly of waste components. Its supporting skeleton consists of crushed waste generated during the extraction of decorative stone and cuttings generated during treatment. Another waste material is sludge from cutting, grinding and polishing stone. The sludge is used as a filler in the exposed layer and thus improves its properties (water absorption, frost resistance, drying shrinkage, compressive strength, etc.). The panel designed in this way has a higher flexural tensile strength compared to a separate support layer of the same thickness. Compared to the exposed layer only, the panel is lighter and ductile. As a large amount of waste raw materials is used in the production of the panel and has a higher load-bearing capacity, it can be characterized as highly efficient.

KEYWORDS

Exposed Panel • Load Capacity • Filler • Lightweight Concrete • Dense Concrete

1. ÚVOD

S ohledem na aktuální trend použití betonových komponentů v bytovém i zahradním mobiliáři, bylo využito výsledků výzkumu Ing. arch. Terezy Cibulky. Článek navazuje na její výzkum v rámci doktorského studia, kde byl optimalizován návrh receptur a technologie postupu výroby lehkých betonových desek vyztužených tzv. trezorovými drátky, skelnými 3D sítěmi a uhlíkovými 2D sítěmi. Výstupem výzkumu je podaná patentová přihláška. Při této spolupráci vznikla též myšlenka doplnit lehkou nosnou konstrukci pohledovou vrstvou.

Sendvič byl navržen z 18 mm silné nosné konstrukce a 12 mm silné pohledové vrstvy. Tloušťky vrstev byly zvoleny s ohledem na maximální zrno kameniva, kde minimální tloušťka desky by měla mít trojnásobek D_{max} . Povrchová vrstva byla navržena jak z estetických, tak praktických důvodů. S ohledem na povrch pohledové vrstvy je možné mnoho úprav od klasického pohledového betonu až po broušení, leštění nebo kartáčování. Důležitým přínosem pohledové vrstvy je také její praktické využití - menší nasákavost, větší mrazuvzdornost, odolnost CHRL, menší smršťování a v neposlední řadě pevnostní charakteristiky. V článku byla stručně popsána lehká nosná konstrukce, dále především pohledová vrstva a nakonec jejich interakce. Nejvíce bylo v článku zkoumáno vzájemné spolupůsobení, respektive únosnost sendvičového panelu v tahu za ohybu.

2. METODY

Jak již bylo zmíněno v úvodu, základem je subtilní nosná vrstva. V tomto článku sloužila pro porovnání (samostatné nosné konstrukce a sendviče) jako nosná vrstva drátkobetonová lehká deska. Je možné využít i výztuž ze skelných nebo uhlíkových 2D či 3D sítí. Výhodou těchto sítí je minimální krycí vrstva, jelikož jsou velmi tenké a nekorodují. Důležité při výrobě desek pro nábytek (mobiliář) je subtilnost, maximální odlehčení nosné konstrukce a současně zachování dostatečné únosnosti. Efektivní odlehčení lze řešit nejen snížením tloušťky konstrukce, ale i vylehčením samotné matrice betonu nahrazením přírodního ka-

* Školitel: doc. Ing. Jan Vodička, CSc., školitel specialista: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

meniva pórovitým kamenivem. Takto vzniklý kompozit nazýváme lehký beton. Při experimentech byla zvolena jako vhodná náhrada běžného kameniva frakce expandovaného jílu 0/2, 0/4 značky Liapor. V případě použití expandovaného kameniva do betonu nastává problém s výrobní technologií, jelikož lehké kamenivo při zpracování (vibrování) vzlíná a naopak cementová matrice segreguje na dno formy. Tento nedostatek byl právě vyřešen v podaném patentu č. PV 2020-561. To má velký význam pro využití lehkého betonu (drátkobetonu) v praxi.

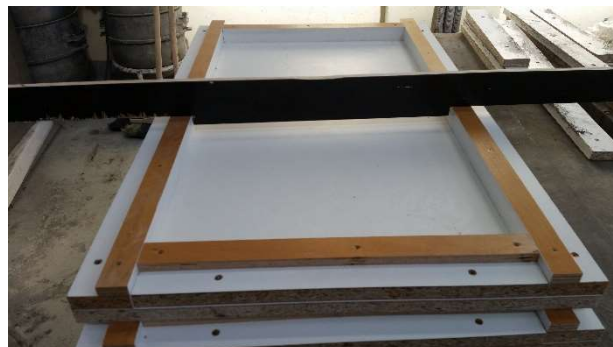


Obrázek 1: Lehká drátkobetonová deska bez povrchové úpravy

Povrchová vrstva byla navržena s ohledem na oběhové hospodářství (nebo tzv. cirkulární ekonomiku, ve které teoreticky neexistuje odpad) a byly v ní maximálně využity druhotné suroviny. Kompozit byl složen pouze ze 3 surovin: cement, žulový filer, drcené kamenivo ze zbytků (odřezků, odštěpů) dekorativního kamene vzniklých při těžbě a úpravě. Pro lepší estetický vjem byly použity 2 frakce (1/4, 2/4) různých typů hornin. To má za následek větší pestrost a barevnost po vyleštění pohledové vrstvy. Jelikož není složení směsi vhodné s ohledem na křivku zrnitosti, bylo by pro zaplnění mezer (dutin) třeba velké množství cementového tmele. Proto je značná část pojiva (25%) mezi zrny tvořena žulovým filerem. Dle vlastních výzkumů je žulový filer velmi vhodný jako náhrada cementu, jelikož má přijatelné chemické složení, tvar zrn, velikost zrn, měrný povrch, atd. Velmi výhodnou vlastností je velikost zrn, která jsou menší než zrna u použitého cementu. S tím souvisí i měrný povrch fileru, který je větší než běžné cementy. Proto lze směs označit za velmi hutnou a odolnou. Zlepšuje to například již zmíněnou nasákavost, mrazuvzdornost, ale i pevnost. Mezi další velké výhody patří minimální úprava fileru. Zde záleží, jestli filer vzniká při suchém procesu (drcení, pískování – žádná úprava) nebo při mokrámu procesu (řezání, broušení, leštění pod vodou – nutno vzniklý kal usušit a přesát). Při úpravě dekorativního kamene vzniká velké množství těchto odpadů a využitím do cementových kompozitů zaniká problém s jejich skládkováním.

Postup výroby vzorku byl vždy stejný. Nejprve byla do formy nalita směs pro nosnou konstrukci z lehkého drátkobetonu.

Zpracování proběhlo pomocí vibrační stolu a zarovnávací latě. Lať sloužila především k zarovnání a zajištění zvolené výšky. Následně byla do formy nalita směs určená pro povrchovou vrstvu. Zpracování proběhlo pouze pomocí vibrace, jelikož směs byla velmi řídká. Po 24 hodinách byla deska odbedněna a vložila se do vodní lázně, čili postup probíhal jako u klasických vzorků.



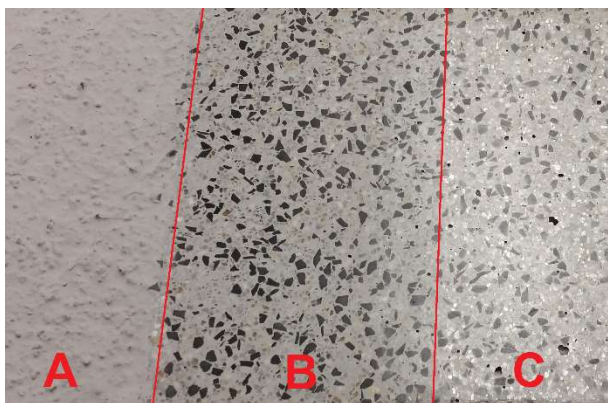
Obrázek 2: Forma pro výrobu sendviče

Pro experiment bylo použito několik vzorků. Rozdíl mezi jednotlivými zkouškami byl ve velikosti vzorku, typu směsi lehkého drátkobetonu, způsobu zkoušky pevnosti v tahu za ohybu (čtyřbodové, tříbodové uspořádání). Proto lze porovnávat vždy každou zkoušku jednotlivě. Jelikož byly vždy vytvořeny 3 vzorky bez povrchové úpravy a 3 vzorky s povrchovou úpravou, lze únosnost samostatné desky a sendviče bez problémů porovnat. První a druhá zkouška měla potvrdit větší únosnost konstrukce s pohledovou hutnou vrstvou. Jelikož byla lehká nosná vrstva vždy přibližně 18 mm a sendvič výšky 30 mm (18 mm lehká nosná vrstva + 12 mm pohledová vrstva), bylo rozhodující porovnání napětí a ne maximální síly při porušení. Přesto byly zkoušky doplněné porovnáním lehké nosné konstrukce výšek 20 mm a 40 mm pro ověření size effectu. Pro označení v tabulkách byla použita zkratka pro lehkou nosnou konstrukci FRLC (fiber reinforced lightweight concrete) a pro sendvič FRLC+C (fiber reinforced lightweight concrete + concrete)

Posledním bodem pro tento experiment byla úprava povrchu pohledové vrstvy. Na obrázku níže je vidět rozdíl jednotlivých úprav. Může se jedno pouze o:

- beton bez povrchové úpravy (Obr. 3A),
- zbrúšený a zaleštěný beton (Obr. 3B),
- zbrúšený, zaleštěný, chemicky upravený beton (Obr. 3C),
- kartáčovaný beton (Obr. 4).

* Školitel: doc. Ing. Jan Vodička, CSc., školitel specialista: Ing. Hana Hanzlová, CSc.



Obrázek 3: Úprava betonu leštěním



Obrázek 4: Úprava betonu kartáčováním

3. VÝSLEDKY

Porovnání výsledků proběhlo mezi jednotlivými experimenty. Jak již bylo zmíněno, rozhodující je přepočítání na pevnost v tahu za ohybu a ne maximální sílu.

3.1. Velkorozměrová deska

Při tomto experimentu byla zkoušená deska o šířce 400 mm, délce 700 mm. Zkouška v tahu za ohybu měla čtyřbodové uspořádání. Z tabulky 1 je vidět podstatně větší únosnost. Při porovnání sil je sendvič více než 3x únosnější. Jelikož je sendvič vyšší, je rozhodující přepočítání na maximální pevnost v tahu za ohybu, kde je únosnost sendviče o 43 % vyšší.

Tabulka 1: Pevnostní charakteristiky velkorozměrové desky

Zkušební vzorky	Hmotnost	Objemová hmotnost	Síla	Pevnost v tahu za ohybu
	m [g]	ρ [kg/m ³]	F [kN]	σ [MPa]
FRLC	8301,7	1537	0,895	3,704
FRLC+C	15643,5	1871	2,970	5,315

3.2. Úzká deska

Ve druhém experimentu byla zkoušena úzká deska o šířce 150 mm, délce 620 mm. Výška lehké nosné konstrukce byla přibližně 20 mm, výška sendviče byla opět vyšší – v průměru necelých 31 mm. Zkouška měla tříbodové uspořádání, ačkoliv je pro kompozity vhodnější čtyřbodové uspořádání. V níže uvedené tabulce 2 byla potvrzena větší únosnost sendviče. Síla je v porovnání více než 4,5x větší. Rozhodujícím faktorem pro porovnání je přepočítaná pevnost v tahu za ohybu, která je u sendviče o 86 % větší.

Tabulka 2: Pevnostní charakteristiky úzké desky

Zkušební vzorky	Hmotnost	Objemová hmotnost	Síla	Pevnost v tahu za ohybu
	m [g]	ρ [kg/m ³]	F [kN]	σ [MPa]
FRLC	2885,0	1572	0,341	4,420
FRLC+C	5569,6	1936	1,580	8,263

3.3. Porovnání vlivu výšky desky

Ačkoliv byly v předchozích odstavcích porovnávány přepočtené hodnoty na pevnost, je možný vliv tloušťky desky na únosnost. Proto byla v tomto experimentu porovnána pevnost u nosné desky průměrné výšky necelých 23 mm a necelých 44 mm. Rozměr desek byl 100x600 mm (jednalo se o částečně vylitou formu na klasické zkoušky betonu v tahu za ohybu). Uspořádání zkoušky bylo čtyřbodové. Z uvedených výsledků v tabulce 3 vyplývá, že výška konstrukce v našem měřítku nemá významný vliv na pevnost v tahu za ohybu. Silnější deska měla průměrnou maximální sílu více než 4x větší. Naopak u přepočtené hodnoty na pevnost v tahu za ohybu byly maximální napětí téměř stejné. Silnější deska měla větší pevnost přibližně o 11 %.

Tabulka 3: Pevnostní charakteristiky nosných vrstev

Zkušební vzorky	Hmotnost	Objemová hmotnost	Síla	Pevnost v tahu za ohybu
	m [g]	ρ [kg/m ³]	F [kN]	σ [MPa]
TENKÉ	1510,0	1651	1,017	5,893
SILNÉ	2965,7	1685	4,215	6,556

3.4. Povrchová úprava desky

V tomto případě byl hodnocen estetický vjem a pórovitost. Dle dotázaných respondentů byla velice kladně hodnocena úprava povrchu kartáčováním, která je velmi příjemná na dotek. U kartáčovaných ploch byl vybroušen cementový tmel a zahlazené ostré hrany kamínků. Z tohoto důvodu zde nebyla porovnávána pórovitost, jelikož byly dutinky kartáčováním zcela odstraněny. Na vyleštěném vzorku byly zaznamenány póry velikosti 1 – 4 mm. Plocha pórů odpovídá 0,24 % plochy desky, což splňuje

* Školitel: doc. Ing. Jan Vodička, CSc., školitel specialista: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

požadavky na třídu pohledového betonu PB3. S ohledem na rozměr, výrobu, použití atd. by bylo vhodnější posoudit povrch dle normy pro teracové dlaždice (ČSN EN 13748-1).

4. DISKUZE

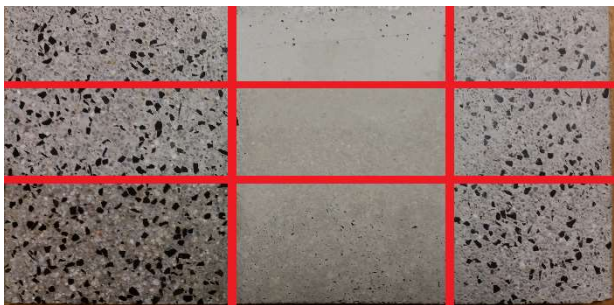
Zkoušky potvrdily vhodnost využití pohledové vrstvy, která má pozitivní vliv na pevnost betonu v tahu za ohybu. Velkou otázkou je velikost vrstev pro optimální rozdělení napětí. Tloušťka vrstev byla v těchto experimentech volena s ohledem na maximální zrno kameniva a délku drátků. V tomto případě je uvažovaná větší část namáhaná tahem (vyšší lehká nosná drátkobetonová konstrukce), což lze s ohledem na typ namáhání považovat za vhodnější.

Důležitým faktorem je spojení a rovnoměrná výška jednotlivých vrstev. Při experimentu byly desky v místě porušení rozříznuty, aby byla zjištěna odchylka výšky jednotlivých vrstev. Ačkoliv byla na zpracovanou a vyrovnanou nosnou lehkou drátkobetonovou desku betonovaná pohledová vrstva a proběhlo její zpracování (ruční, vibrováním), nezpůsobila tato operace výraznou deformaci spodní nosné vrstvy (viz Obr. 5). Současně je na obrázku vidět i homogenita lehké drátkobetonové nosné desky.



Obrázek 5: Řez deskou v místě porušení

Mezi další otázky do diskuze patří postup betonáže, respektive pořadí betonovaných vrstev. V případě tohoto postupu je povrch pohledové vrstvy více nerovnoměrný a musela být zbrusněná větší vrstva. Naopak byla vhodnější pro úpravu kartáčováním. Z těchto důvodů byla i betonovaná samostatná pohledová vrstva a byl leštěn a broušen povrch přilehlý k bedně. Výhodou tohoto postupu byl hladký povrch a více možností povrchových úprav. Lze například leštit i samotný beton bez broušení (viz Obr. 6 uprostřed).



Obrázek 6: Povrch pohledové vrstvy z bednění (vlevo zbrusněný a leštěný beton, uprostřed leštěný beton, vpravo kartáčovaný beton)

5. ZÁVĚR

V experimentech byly porovnány lehké nosné desky se sendvičem s pohledovou povrchovou vrstvou. V obou případech zatížení (čtyřbodové, třibodové) měl po přepočtu vyšší pevnost v tahu za ohybu sendvič. Doplňující zkouškou byl vliv výšky na pevnost v tahu za ohybu, jelikož samostatná lehká nosná konstrukce a sendvič neměly stejné výšky. Rozdíl pevností při výšce samostatné nosné vrstvy 23 a 44 mm byl pouze 11%. Oproti tomu pevnost v tahu za ohybu při čtyřbodovém uspořádání byla u sendviče vyšší o 43% a u třibodového uspořádání o 86%. Povrchová vrstva byla tvořena pouze druhotnými surovinami a cementem. Ačkoliv bylo 25% tmele mezi zrny pohledové vrstvy tvořeno žulovým filerem, pevnosti byly vyšší. Jelikož jsou v povrchové vrstvě použity převážně druhotné suroviny a pevnosti sendviče jsou vyšší, lze tento návrh považovat za vysoce efektivní.

Dalším zkoumaným aspektem byl vliv použití odpadních surovin na pohledový povrch. Beton lze ponechat bez povrchové úpravy nebo lze dále klasicky upravovat jako kámen leštěním, broušením, kartáčováním. Použití odpadního materiálu nemělo zásadní vliv na potřebné úpravy. Současně to nemělo vliv na povrchovou pórovitost betonu. Plocha pórů odpovídá 0,24 % plochy sendviče, což splňuje požadavky na třídu pohledového betonu PB3. Při povrchové úpravě kartáčováním lze téměř veškeré póry snadno odstranit.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finanční podpory ČVUT v Praze v rámci projektu SGS20/109/OHK1/2T/11.

Reference

- T. Hlaváčová, L. Musil, J. Vodička, V. KŘÍSTEK (2018), Lehký beton vyztužený textiliemi pro tenkostěnné konstrukce In: konference Speciální betony 2018, str. 23-27, ISBN 978-80-86604-78-7.
- KASAL, Pavel, Rudolf HELA, Petr FINKOUS a Václav LORENC. Pohledový beton: technická pravidla ČBS 03 (2018). 2., přepracované vydání. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2018. ISBN 978-80-906759-3-3.
- Musil, L.; Cibulka, T.; Vodička, J., The Surface Treatment of LC Slabs Using Waste Material, In: ICBMPT 2019 – International Conference Building Materials, Products and Technologies. Brno: VUSTAH - Výzkumný ústav stavebních hmot, 2019. ISBN 978-80-87397-31-2.

* Školitel: doc. Ing. Jan Vodička, CSc., školitel specialista: Ing. Hana Hanzlová, CSc.