LEHKÝ BETON | LIGHTWEIGHT CONCRETE

MICHALA HUBERTOVÁ

Článek stručně uvádí současný stav lehkého betonu u nás a v zahraničí z hlediska vstupních materiálů (zejména lehkých kameniv), návrhu, technologie výroby a ukládání. Dále představuje zajímavé realizace v posledních letech za účelem vysvětlení přínosu lehkého betonu jako materiálu tepelně izolačního i konstrukčního. | The article briefly shows contemporary status of lightweight concrete in the Czech Republic and abroad from the input materials (especially light aggregates), design, technology of production and placing point of view. It also presents remarkable realizations of the recent years to explain the contribution of lightweight concrete as thermal insulation and construction material.

Lehké kamenivo je dnes používáno v širokém rozmezí objemových hmotností od 50 kg/m^3 u expandovaného perlitu po 1 000 kg/m^3 u např. popílkového kameniva, ale také v širokém rozmezí pevností a velikostí zrn. Díky tomu je možné navrhnout beton ve velmi širokém spektru pevností a objemových hmotností, což ho předurčuje jak pro aplikace tepelně izolačního výplňového mezerovitého betonu, tak pro aplikace lehkého hutného konstrukčního betonu.

Základní výhodou použití lehkého betonu je snížení zatížení konstrukcí, které mohou výrazně snížit náklady celé stavby, dalšími výhodami jsou nižší přepravní náklady hotových dílců, používání lehčí výrobní a manipulační techniky a v neposlední řadě také vyvstává v dnešní době otázka šetrnosti k životnímu prostředí, např. v případě použití vedlejších energetických produktů pro výrobu lehkých kameniv.

STRUČNÁ HISTORIE

Lehké betony mají své kořeny již v antickém období cca v období 3 000 let př. n. l., kdy byla v éře Harappské civilizace (doba bronzová) [1] vybudována slavná města Mohenjo-Daro a Harappa. Kamenivo používané pro výrobu lehkého betonu bylo sopečného původu.

V Evropě došlo k prvnímu použití lehkého betonu před dvěma tisíci lety, kdy Římané vybudovali slavný Pantheon, akvadukty a Koloseum v Římě. Variabilita vlastností přírodního kameniva byla při výstavbě Pantheonu řešena jeho ručním tříděním dle objemové hmotnosti s ohledem na konečnou objemovou hmotnost betonu. Kromě stavebních konstrukcí Římané používali přírodní kameniva a čistý jíl pro výstavbu tzv. „Opus Caementum“ (druh římského litého zdiva). Použité přírodní lehké kamenivo – pemza – se dodnes používá v Itálii, Německu, Japonsku a na Islandu.

S rostoucí poptávkou a nedostupností přírodních kameniv po celém světě byly vyvinuty technologie pro jejich výrobu průmyslovými postupy. V roce 1918 Stephen J. Hayde patentoval kamenivo „Haydite“. Byl první, kdo zavedl technologii expandace břidlic. Toto kamenivo se dodnes v USA vyrábí. Umělá kameniva tohoto typu byla všeobecně přijata do prostého, železového i předpjatého betonu. Jedny z časných aplikací byly válečné lodě postavené na konci první světové války. Nedlouho po patentu S. J. Haydea v USA byl udělen patent Oskaru Ohlsenu v roce 1919.

V Německu byla zavedena první výroba kameniva na bázi expandovaného jílu v letech 1935 až 1939 v Sommerfeldu a v Rudesdorfu poblíž Berlína. Výrobu i aplikace však zde provázela řada potíží. Obecně lze považovat za zakladatele výroby tohoto typu kameniva Dánsko, kde byla v roce 1939 založena továrna poblíž Kalundborgu. Později byla výrobna přesunuta do Hinge, kde mají k dispozici šest rotačních pecí a dodnes zde vyrábí kamenivo Leca.

V Evropě bylo kolem roku 1960 postaveno mnoho továren na výrobu kameniva na bázi expandovaných jílů. Např. v roce 1955 a 1964 byly vybudovány dva závody v tehdejším Československu, a to v Bratislavě a ve Vintířově. Byly zde dokonce v letech 1967 a 1968 pořádány mezinárodní konference na toto téma. Po roce 1968 však byla mezinárodní spolupráce vzhledem k politické situaci přerušena.

Na rozdíl od USA, Evropané používají jako surovinu pro výrobu kameniva elektrárenský popílek. Tato technologie se začala užívat v roce 1960 ve Velké Británii, v roce 1973 v Německu a v roce 1985 v Nizozemí. V roce 1993 byla v Nizozemí vybudována výrobna kameniva na bázi vápnem pojeného popílku vytvrzeného parou.

V Rusku historie umělého kameniva začala v roce 1930, kdy profesor Kostyrko zavedl výzkum výroby těchto typů kameniv. Zde bylo kamenivo nazváno Keramzit. Jeho práce byla během druhé světové války pozastavena, takže první rotační pec byla postavena až v roce 1955 ve Volgogradu. V roce 1980 bylo aktivních více jak tři sta výroben. Výzkum a vývoj pokrýval speciální institut v Kujbyševu, v celé zemi bylo postaveno mnoho budov včetně panelových z tzv. keramzitbetonu, ale reálná efektivita výroby byla nízká. Objemové hmotnosti kameniv byly vysoké, pouze 10 % produkce bylo pod 400 kg/m^3. V roce 1995 bylo aktivních už pouze padesát tři výroben a šestnáct výroben na Ukrajině [2].

První objekty z lehkého vyztuženého betonu byly postaveny ve Velké Británii v roce 1958. Jednalo se o třípodlažní administrativní budovy v Bentfordu v blízkosti Londýna.

Dalším mezníkem v historii je vývoj lehkého vysokopevnostního betonu, který probíhal zejména v Norsku. Impulsem pro tento vývoj byla rozsáhlá výstavba mostních konstrukcí, přímořských konstrukcí a plovoucích plošin. V těchto konstrukcích je nízká objemová hmotnost vhodná, ale naopak je třeba vysoké pevnosti v tlaku.

DRUHY LEHKÝCH KAMENIV

Suroviny pro výrobu lehkého kameniva jsou přírodního původu (jíly, břidlice, lupky) i na bázi vedlejších průmyslových produktů (polétavý a ložový popílek, vysokopecní struska). Používá se i syntetické organické kamenivo (např. polystyrenové kuličky).

Přírodní kameniva

Dříve se používalo přírodní kamenivo většinou sopečného původu (pemza, škvára, tuf atd.). Tato kameniva byla používána jako jemné i hrubé kamenivo do betonu a malt. Přírodní kameniva jsou známa jako aktivní pucolánový materiál v případě použití jako jemné kamenivo (filer). Tzn. že kamenivo reaguje s hydroxidem vápenatým, který vzniká při hydrataci cementu a produkuje CSH produkty, které zpevňují strukturu a upravují strukturu pórů, což má za následek zvýšení životnosti betonu. V Malajsii, Indonésii a Nigérii používají jako přírodní kamenivo zemědělské odpady, např. skořápky palmových ořechů.

Umělá kameniva

Umělá lehká kameniva, obr. 1, se nejčastěji vyrábí tepelným zpracováním:

- přírodních materiálů, např. perlitu, vermikulitu, jílu, břidlice (nejznámější typy kameniv v Evropě jsou Liapor, Leca a Perlit),
- průmyslových produktů, např. skla (nejznámější typy kameniv v Evropě jsou Liaver, Poraver, Technopor, Misapor, Geocell, Technopor, Refaglass),
- průmyslových vedlejších produktů, např. popílku (nejznámějším typem kameniv v Evropě je Lytag).

Umělá kameniva lze vyrábět i bez tepelného zpracování, např. za studena sbalkovaná popílková kameniva (Aardelit v Holandsku). Další možností je např. použití granulátu expandovaného polystyrenu nebo cihelného recyklátu či recyklátu z lehkého betonu.

ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ A POUŽITÍ LC

Dle struktury dělíme lehké betony na obr. 2:

- mezerovité
- napěněné, provzdušněné (u této varianty je možné i použití pórovitých kameniv)
- hutné konstrukční

Hutné lehké betony se používají obdobně jako obyčejné betony. Norma ČSN EN 206-1 zahrnuje rovnocenně vedle obyčejných betonů i betony lehké, které mají podobné pevnostní třídy, tab. 1. Pouze se svým zatříděním liší svou objemovou hmotností, která je definována do 2 000 kg/m^3, tab. 2. Lehké betony se navrhují podle stejných pravidel, zohledňují se ale samozřejmě rozdílné vlastnosti (např. deformační vlastnosti).

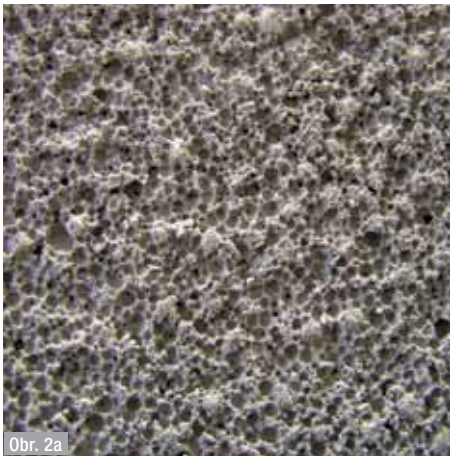
Pro navrhování konstrukcí z **mezerovitých lehkých betonů** platí odlišná pravidla hlavně v použití pro vyztužené betony. Normy použití nosné výztuže v těchto betonech povolují za předpokladu její ochrany proti korozi a omezení využitelné pevnosti oceli.

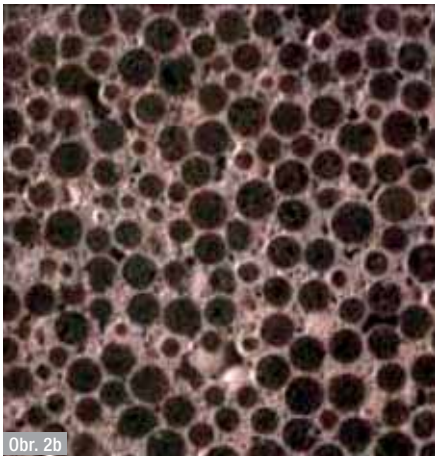
Již zaniklá norma ČSN 73 2402 (Provádění a kontrola konstrukcí z lehkého betonu z umělého pórovitého kameniva) klasifikovala lehké mezerovité betony (označení MLB). Tato norma od roku 2004 neplatí a v současné době neexistuje norma, která by zahrnovala lehké mezerovité betony. Pro tento účel lze použít normu ČSN EN 1520 (Prefabrikované vyztužené dílce z mezerovitého betonu z pórovitého kame-

Obr. 1a

Obr. 1b

Obr. 1c


Obr. 2a


Obr. 2b

Obr. 2c

Tab. 1 Pevnostní třídy hutných lehkých betonů dle ČSN EN 206 – 1/Z3 | Tab. 1 Classification of strength of LWCs acc. to ČSN EN 206 – 1/Z3

Třída	$f_{ck,cyl}$ [MPa]	$f_{ck,cube}$ [MPa]	x3 [MPa]
LC 8/9	8	9	14
LC 12/13	12	13	18
LC 16/18	16	18	23
LC 20/22	20	22	27
LC 25/28	25	28	33
LC 30/33	30	33	38
LC 35/38	35	38	43
LC 40/44	40	44	49
LC 45/50	45	50	55
LC 55/60	55	60	65
LC 60/66	60	66	71
LC 70/77	70	77	82
LC 80/88	80	88	93

$f_{ck,cyl}$ značí charakteristickou pevnost stanovenou na válcích (r = 150 mm, h = 300 mm) [MPa], $f_{ck,cube}$ charakteristickou pevnost stanovenou na krychlích s délkou hrany 150 mm [MPa], x3 min. průměrnou pevnost tří vzorků, a to krychlí s délkou hrany 150 mm [MPa].

Tab. 4 Třídy objemové hmotnosti mezerovitých lehkých betonů podle ČSN EN 1520 | Tab. 4 Classification of volume weight of LWCs with open structure acc. to EN 1520

Třída objemové hmotnosti lehkého betonu	Hranice objemové hmotnosti betonu ve vysušeném stavu [kg/m³]
0,5	400 < ρ ≤ 500
0,6	500 < ρ ≤ 600
0,7	600 < ρ ≤ 700
0,8	700 < ρ ≤ 800
0,9	800 < ρ ≤ 900
1	900 < ρ ≤ 1 000
1,2	1 000 < ρ ≤ 1 200
1,4	1 200 < ρ ≤ 1 400
1,6	1 400 < ρ ≤ 1 600
1,8	1 600 < ρ ≤ 1 800
2	1 800 < ρ ≤ 2 000

Tab. 2 Třídy objemové hmotnosti hutných lehkých betonů dle ČSN EN 206 – 1/Z3 | Tab. 2 Classification of volume weight of compact LWCs acc. to EN 206 – 1/Z3

Třída	Objemová hmotnost [kg/m³]
D 1,0	≥ 800 a ≤ 1 000
D 1,2	> 1 000 a ≤ 1 200
D 1,4	> 1 200 a ≤ 1 400
D 1,6	> 1 400 a ≤ 1 600
D 1,8	> 1 600 a ≤ 1 800
D 2,0	> 1 800 a ≤ 2 000

Tab. 3 Pevnostní třídy mezerovitých lehkých betonů dle ČSN EN 1520 | Tab. 3 Classification of strength of LWCs with open structure acc. to ČSN EN 1520

Třída	LAC 2	LAC 4	LAC 6	LAC 8	LAC 10	LAC 12	LAC 15	LAC 20	LAC 25
f_{ck} [MPa]	2	4	6	8	10	12	15	20	25
x3 [MPa]	4,8	8,3	10,6	13	15,3	17,7	21,2	28,3	34,2

$f_{c,k}$ je charakteristická pevnost stanovená na válcích průměru 150 mm a výšky 300 mm [MPa].

niva), která velmi dobře klasifikuje lehký mezerovitý beton a jeho základní vlastnosti, tab. 3. Bohužel ale platí pouze pro prefabrikované konstrukce.

Z hlediska funkce lze lehké betony rozdělit na:

- **konstrukční** LC, jejichž hlavní funkcí je nosnost a hlavním požadavkem je pevnost při využití nízké objemové hmotnosti,
- **konstrukčně izolační** LC, u kterých se současně využívá nosné i tepelně izolační funkce,
- **tepelně izolační** LC, u kterých se využívá převážně tepelně izolačních vlastností.

Lehké betony jsou využitelné v oblasti monolitických konstrukcí pozemních, občanských a dopravních staveb, stejně tak i pro výrobu prefabrikovaných dílců pro stejné určení. Lehké betony lze použít jako prosté, vyztužené i předpjaté. Dále se LC používají při výrobě vibrolisovaných prvků (zdící tvarovky, prvky zahradní architektury apod.).

ZÁKLADY TECHNOLOGIE – ZÁKLADNÍ ODLIŠNOSTI OD TECHNOLOGIE OBYČEJNÉHO BETONU

Vliv povrchu, tvaru a vlastností lehkého kameniva na pevnost betonu

Vlastnost povrchu lehkého kameniva ovlivňuje volbu výběru ostatních vstupních surovin a technologického postupu výroby. Některé typy lehkých kameniv (expandované jíly, břidlice) mají zřetelné rozdíly mezi hutností vnější slupky a pórovitým vnitřkem zrna. Např. u popílkového kameniva nebo kameniva na bázi expandovaného skla není žádný odlišný rozdíl v celé struktuře zrna kameniva. Rozdíly v pórovitosti a zvláště vlastnosti povrchu ovlivňují chování lehkého kameniva v betonu, zejména nasákavost v čerstvém stavu [5].

Důležité jsou fyzikálně-mechanické vlastnosti lehkého kameniva, zejména objemová hmotnost, pevnost a nasákavost, které se u jednotlivých druhů lehkých pórovitých kameniv mohou lišit. Distribuce zrn a maximální zrno lehkého kameniva jsou při výrobě lehkého betonu rozhodující. Doporučená maximální velikost zrna je limitována požadavky na pevnost betonu, větší zrna lehkého kameniva mají sklon snižovat pevnost a inklinují k segregaci způsobené rozdílnou objemovou hmotností jednotlivých složek. Stejně jako u přírodního kameniva měrný povrch lehkého kameniva ovlivní zpracovatelnost v čase, a to zejména v případě, kdy tvar povrchu představuje otevřenou pórovou strukturu. Měrný povrch kameniv ovlivní nejen zpracovatelnost betonu ale také spojení s cementovým tmelem.

Pevnost lehkého kameniva je spíše nízká a je potvrzeno, že jako primární faktor omezuje možnosti dosažení horní meze pevnos-

Obr. 1 Umělá lehká kameniva, a) kamenivo na bázi expandovaného jílu Liapor (Německo), b) popílkové kamenivo Aardelite (Holandsko), zdroj: ***www.aardinglg.com***, c) kamenivo na bázi expandovaného skla Misapor (Švýcarsko), zdroj: ***www.misapor.ch*** | Fig. 1 Artificial lightweight aggregate, a) aggregate based on expanded Liapor clay (Germany), b) ashes based aggregate Aardelite (The Netherlands), source: ***www.aardinglg.com***, c) aggregate based on expanded glass Misapor (Switzerland), source: ***www.misapor.ch***

Obr. 2 Struktury lehkých betonů, a) struktura mezerovitého LC – napěněná struktura (zdroj: TBG Pražské malty, s. r. o.), b) struktuta mezerovitého LC – napěněná struktura + pórovité kamenivo, (zdroj Lias Vintířov, LSM k. s.), c) struktura mezerovitého betonu – přirozená mezerovitá struktura (pórovité kmenivo), (zdroj Lias Vintířov, LSM k. s. | Fig. 2 Structure of lightweight concrete, a) LWC with open structure – foamed structure (source TBG Pražské malty, s. r. o.), b) structure of LWC with open structure – foamed structure + pore aggregate (source Lias Vintířov, LSM k. s.), c) structure of LWC with open structure – natural open structure (pore aggregate), (source Lias Vintířov, LSM k.s.)

ti LC. Mezní působení pevnosti lehkého kameniva na výslednou pevnost LC se zvyšuje s klesajícím vodním součinitelem.
Zajímavá je vlastnost tzv. „vnitřního samoošetřování“ lehkého kameniva. Voda nasáklá v jeho pórech může být později „využita“ pro hydrataci během zrání betonu, což má za následek redukci smrštění způsobené samovysýcháním ztvrdlého betonu, zvláště u betonů s nízkým vodním součinitelem. Menší smrštění snižuje riziko trhlin v raném stadiu.
Pro výrobu LC se často používá kombinace lehkého a hutného přírodního kameniva. Faktory ovlivňující optimální mísení hutného a lehkého kameniva jsou jejich objemová hmotnost, pevnost, kvalita a velikost zrn.
U lehkého kameniva je nejčastěji dosažitelná jemná frakce 0–1 mm pouze v drcené formě. V těchto případech se potřeba vody rapidně zvýší a je zhoršena zpracovatelnost. Experimentálními pracemi [8] se prokázalo, že není vhodné používat velké frakce přírodního kameniva, nejvhodnější je využívat přírodní písek frakce 0–4 mm s malým množstvím jemných podílů. Tzn. že nejčastěji je doporučováno kombinovat přírodní kamenivo s max. zrnem 4 mm a lehké kamenivo s max. zrnem 8 mm. V praxi se ale již používá přírodní kamenivo i s max. zrnem 8 mm stejně jako u lehkého kameniva (např. prefabrikované dílce sportovního stadionu Eden SK Slavia Praha).

Vlhkost, sypná hmotnost, objemová hmotnost zrna

U lehkých kameniv obecně je vliv vody na hmotnostní vlhkost podstatně větší než u hutných kameniv. Rovněž rozptyl výrobních tolerancí některých vlastností lehkého kameniva, i když jsou menší než normami povolené, způsobuje nerovnoměrnost sypné a objemové hmotnosti zrna. Z toho vyplývá, že při dávkování lehkého kameniva je nutná častější kontrola vlhkosti, sypné a objemové hmotnosti kameniva. V ideálních podmínkách je nejvhodnější objemové dávkování lehkých kameniv.
Lehká kameniva mohou mít na rozdíl od hutných kameniv podstatnou vnitřní vlhkost. Tato vlhkost se při míchání nepodílí na vytváření cementové malty a nemá vliv na vodní součinitel. Má však vliv na celkovou vlhkost betonu, dobu vysychání, další nasákavost kameniva při míchání a dopravě betonu, čerpatelnost lehkého betonu atd. Celková vlhkost lehkého kameniva se určí vysušením při 105 °C do konstantní hmotnosti.

Nasákavost za atmosférického tlaku a za vysokého tlaku během čerpání

Vyšší nasákavost lehkých kameniv ve srovnání s obyčejným hutným kamenivem je nutno zohlednit při návrhu dávek vody. Záměsová voda při míchání lehkého betonu z pórovitého nasákavého kameniva sestává z vody přídavné a vody účinné. Přídavná voda je voda, která se sice přidává do čerstvého betonu, ale která se vsákne do lehkého kameniva během míchání a neúčastní se bezprostředně na tvorbě cementového tmele. Přídavná voda se tedy nezapočítává do vodního součinitele. Množství přídavné vody závisí na nasákavosti kameniva (rozdílná dle druhu či objemové hmotnosti) a na jeho okamžité vlhkosti.
Je nutné si uvědomit, že díky nasákavosti lehkého kameniva lehký beton vyžaduje větší množství vody. Při použití suchého lehkého kameniva se musí dodat přídavná voda potřebná pro jeho nasáknutí. Přídavná voda by se měla stanovit na základě skutečné vlhkosti a nasákavosti použitého lehkého kameniva a času nezbytného pro míchání, dopravu a uložení betonu. Některé výzkumy [7] hovoří o tom, že plného nasycení lehkého kameniva je možné docílit za normálního tlaku až po měsících ponoření a vyplnění všech pórů může být dosaženo tlakem vody min. 50 barů. To signalizuje, že pórový systém lehkého kameniva je složen částečně z kapilár a částečně z uzavřených pórů.
Kamenivo na bázi expandovaných jílů má nižší procento vzájemně spojených pórů než např. kamenivo na bázi spékaných popílků. Kamenivo na bázi expandovaného skla obsahuje zejména uzavřené póry, tudíž je jeho nasákavost pouze povrchová. Důležité dopady nasákavosti kameniva jsou ve ztrátě zpracovatelnosti betonu, dále ve zmenšení efektivního vodního součinitele penetrací vody do lehkého kameniva během čerpání či v počáteční fázi tuhnutí cementového tmele.
Důležitá je rychlost počáteční nasákavosti lehkého kameniva. V případě kameniv na bázi expandovaných jílů, které se používají v technologii lehkých betonů nejčastěji, se při návrhu směsi stanovuje množství přídavné vody obvykle, jako nasáknutí lehkého kameniva za 1 h. V Norsku používají 90 až 100% hodinové hodnoty, v Německu je doporučeno uvažovat dvojí hmotnostní objem nasákavosti po 30 min namočení ve vodě [7].
Pro návrh množství přídavné vody se dle ČSN EN 206-1 bere v případě hrubého lehkého kameniva v lehkém betonu hodnota nasákavosti zjištěná po 1 h podle metody uvedené v EN 1097-6, příloha C, přičemž se jako základní bere hodnota pro kamenivo obvyklé vlhkosti, nikoli hodnota pro vysušené kamenivo. Účelnější a přesnější je však pracovat s nasákavostí pro skutečnou počáteční vlhkost kameniva.
Kromě nasákavosti za atmosférického tlaku má u lehkého kameniva význam i nasákavost za vysokého tlaku, tj. tlaku, kterému může být kamenivo vystaveno v potrubí s betonem během čerpání. Tato vlastnost se uplatňuje pouze při čerpání betonu.
Při návrhu složení betonové směsi pro čerpatelné lehké betony z lehkého pórovitého kameniva a při samotném čerpání lehkých betonů je nutno zohlednit určité skutečnosti, které se při čerpání obyčejných betonů nebo při použití lehkých betonů bez čerpání nevyskytují, nebo jsou nevýznamné. Hlavním důvodem odlišného chování lehkých betonů při čerpání je vyšší nasákavost lehkých kameniv pod tlakem, než jakou mají obyčejná hutná kameniva (ani u těch však není nasákavost pod tlakem nulová, ale pro praxi není významná).
Při čerpání betonu dochází ke vtlačení části vody z cementového tmele do zrn lehkého kameniva. Množství vtlačené vody závisí převážně na druhu použitého kameniva, jeho okamžité vlhkosti a na maximálním dosaženém tlaku v potrubí. Stav betonu před a po čerpání je různý, a proto je třeba k hodnocení čerpaného lehkého betonu přistupovat poněkud odlišněji než k hodnocení obyčejného hutného betonu nebo lehkého betonu bez čerpání.
Významným aspektem při čerpání lehkého betonu je vtlačování vody do zrn lehkého kameniva vlivem tlaku v potrubí. Aby tlak v potrubí při čerpání mohl být co nejnižší, musí být betonová směs co nejvíce tekutá a pohyblivá a přitom stabilní

a dostatečně robustní. Směs musí obsahovat vyšší podíl drobných částic analogicky s návrhem směsi pro samozhutnitelné betony.

Během realizace čerpaného lehkého betonu je nutno sledovat konzistenci ve třech etapách, a to ihned po namíchání, po dopravě a v průběhu ukládání. V případě lehkého betonu použitého jako transportbeton bez čerpání je nutno počítat se ztrátou konzistence během dopravy.

Návrh a průkazní zkoušku čerpaného lehkého betonu provádíme tak, aby složení betonu odpovídalo stavu po čerpání. V recepturách pro čerpatelné betony je vhodné uvádět množství účinné i přídavné vody. Při laboratorní průkazní zkoušce se musí zvolit dávka záměsové vody tak, aby v okamžiku hutnění zkušebních vzorků obsahovala betonová směs dávku účinné vody. Lehké kamenivo musí při laboratorní průkazní zkoušce obsahovat vodu, kterou obsahuje po čerpání, tj. rozdíl mezi záměsovou a účinnou vodou uvedenou v receptuře, tzn. že je nutné ho důkladně předem nasytit vodou.

Ovlivnění nasákavosti lehkého kameniva předvlhčením

Nasákavost lehkého kameniva a hlavně nasákavost lehkého kameniva pod tlakem je možno omezit nebo eliminovat předvlhčením kameniva. Předvlhčení je možné provést postřikem na skládce, zkrápěním na páse během dopravy do zásobníků nebo přímo v míchačce na začátku procesu míchání, kdy se změní postup dávkování složek a prodlouží doba míchání pouze směsi lehkého kameniva a části dávkované vody. Vodu, která se použije na předvlhčení kameniva a ještě před vstupem do míchačky se do kameniva vsákne tak, že neulpívá na povrchu jako povrchová voda, můžeme nazývat předmáčecí vodou. Tato voda se rovněž nezahrnuje do výpočtu vodního součinitele ani se s ní nepracuje při návrhu betonu. Je však nutno stanovit, jaká je vnitřní vlhkost a nasákavost lehkého kameniva po tomto předmáčení, a s těmito hodnotami pak pracovat při návrhu záměsové vody.

Různá objemová hmotnost zrn různých frakcí

Různá objemová hmotnost zrn různých frakcí se projeví při podrobném sledování křivek zrnitosti kameniva. Tento vliv je ještě výraznější při kombinaci lehkého a hutného kameniva. Křivka zrnitosti kameniva v betonu je totiž obvykle sestavována podle hmotnostního podílu zrn dílčích frakcí kameniva. Zrna lehkého kameniva větších frakcí (i v rozmezí jedné frakce) mají však menší objemovou hmotnost než zrna drobných frakcí a celkově mají zrna lehkého kameniva výrazně nižší objemovou hmotnost než zrna hutného kameniva. Tím vzniká určitý rozdíl mezi objemovým podílem, který různá zrna v betonu skutečně zaujímají, a jejich hmotnostním podílem. Důsledkem je, že kamenivo určité skladby s optimální hmotnostní křivkou má podle objemové křivky zrnitosti menší podíl zrn drobných frakcí.

Dávkování, postup míchání, doprava a ukládání

Při ověřování vhodnosti objemového či hmotnostního dávkování bylo zjištěno, že při hmotnostním dávkování lehkého kameniva nejsou jednotlivé receptury reprodukovatelné při požadavku, aby se dosáhlo požadovaných již jednou ověřených vlastností včetně zpracovatelnosti konkrétní receptury. Důvod je jednoduchý. Výrobce uvádí deklarovanou odchylku hodnot objemových hmotností jednotlivých frakcí lehkého kameniva až ± 15 % (dle normy). Např. je-li objemová hmotnost frakce kameniva 1 200 kg/m^3 a dávka této frakce 100 kg/m^3 betonu, může to prakticky znamenat, že při uváděné odchylce ±15 % bude rozpětí dávkování v intervalu od 85 do 115 kg/m^3. Z tohoto důvodu je vhodnější místo hmotnostního dávkování uplatnit dávkování objemové. V případě, že z nějakého důvodu nelze dávkovat objemově, ale jen hmotnostně, je třeba věnovat vyšší pozornost stanovení skutečné objemové hmotnosti jednotlivých frakcí.

Pokud se pro míchání čerstvého betonu použije předvlhčené kamenivo, postup dávkování surovin do míchačky je shodný s normálními betony. Použije-li se suché lehké kamenivo, nejdříve se nechají delší dobu (min. 5 min) promísit jednotlivé frakce kameniva s přídavnou vodou. Po navlhčení kameniva se přidá cement, příměsi a případné práškové přísady a za současného míchání se přidá záměsová voda s tekutými přísadami.

Doprava na stavbu pomocí domíchávačů a jejich ukládání pomocí košů a žlabů probíhá za stejných podmínek jako u normálních betonů. Je možná i doprava pomocí čerpání a čerpatelnost lehkého betonu je tím lepší, čím je vyšší jeho objemová hmotnost. Pro zlepšení čerpatelnosti je vhodné přidat přísady modifikující viskozitu. Zlepšení čerpatelnosti se dosáhne rovněž použitím vodou nasyceného lehkého kameniva. Pro čerpání se doporučuje používat pístová čerpadla. Zkušenosti ukazují, že je možno čerpat lehký beton až do vzdálenosti 30 m při minimální objemové hmotnosti nad 1 400 kg/m^3.

Při ukládání do forem nesmí dojít k rozmísení a sedimentaci cementové malty dolů na dno formy a vyplavání lehkého zejména hrubého kameniva na povrch, aby nevznikly vrstvy s různou objemovou hmotností, a tím i různými pevnostmi.

I přes dobré vnitřní samoošetřování prostřednictvím přídavné vody obsažené v nasáklých zrnech kameniva potřebuje lehký beton starostlivé ošetřování stejně jako normální beton. Lehký beton se během hydratace zahřívá více než obyčejný beton, protože jeho tepelná jímavost a vodivost je nižší než u obyčejného betonu. Pro omezení smršťovacích trhlin od vysokého teplotního gradientu je účelné pozdější odformování nebo obložení bednění tepelnou izolací. Horní plocha betonu musí být chráněna proti vysychání.

Při výrobě dílců z lehkého betonu se dnes obvykle nepoužívá proteplování a při použití cementů s rychlejším nárůstem pevnosti a při teplotě nad 15 °C je možné odformování po 24 h.

VÝHODY A NEVÝHODY LC

Výhody použití lehkého betonu lze shrnout do následujících bodů:

- nízká vlastní hmotnost – úspory v množství použitého konstrukčního materiálu, úspory v oblasti zakládání, úspory v bednící technice, při manipulaci a přepravě atd.;
- tepelně izolační vlastnosti přímo úměrné s objemovou hmotností lehkého betonu;
- dobrá tepelná jímavost jako výhodná vlastnost pro nízkoenergetické a pasivní stavby;

Obr. 3a

Obr. 3b

- některé fyzikálně-mechanické vlastnosti výhodnější oproti obyčejnému betonu, např. vysoká pevnost vzhledem k nízké objemové hmotnosti, nižší koeficient teplotní roztažnosti, díky vnitřnímu samoošetřování menší autogenní smršťování, lepší opracovatelnost ztvrdlého betonu atd.;
- vyšší životnost díky menšímu smršťování a permeabilitě, kvalitnější kontaktní zóně mezi lehkým kamenivem a cementovou pastou a velmi dobré mrazuvzdornosti;
- přátelský k životnímu prostředí v případě použití lehkých kameniv vyrobených z vedlejších průmyslových produktů;
- snížení nákladů vzhledem k nízké objemové hmotnosti a dlouhé životnosti lehkého betonu.

Nevýhody lehkého betonu jsou následující:

- křehkost v případě hutných konstrukčních betonů s vyššími pevnostmi (díky vysoké pevnosti cementové pasty);
- vyšší teplota během zrání betonu díky hydrataci cementu (vysoká tepelná jímavost lehkého betonu);
- nižší odolnost vůči lokálnímu koncentrovanému břemenu, které se vyskytuje v ukotvení při předpínání;
- nasákavost lehkého kameniva způsobuje komplikace při míchání a ukládání betonu čerpáním.

TRENDY POUŽITÍ LEHKÉHO BETONU A REALIZOVANÉ STAVBY

Lehký pohledový monolitický beton – nízkoenergetické a pasivní budovy (monolitické konstrukce)

Poslední dobou vzrůstá požadavek stavět co nejúsporněji. Nové stavby podléhají stále přísnějším pravidlům a s tímto směřováním souvisí i trend pasivních domů. Severské země jsou stejně jako u všech jiných technologií a použití lehkého betonu lídrem v použití LC v pasivních domech. Např. CF Møller Architects vyvinuli projekt residenčního bydlení pro dánské výrobce lehkých prefabrikovaných betonových panelů dle pasivních standardů. Jedná se o trojúhelníkový rodinný dům, nazvaný Nordpilen („ukazatel severu“), protože dům je otevřen k jihu a má minimální expozici na sever. V tomto trendu pokračuje i Nizozemsko, kde se vyvíjí koncepty pasivních domů z lehkého prefabrikovaného betonu [12].

Sakrální stavba – hřbitovní kaple „Dům na rozloučenou“, Salgesch, Švýcarsko 2011

Nová hřbitovní kaple ve švýcarském Salgesch uprostřed Alp je výraznou monolitickou stavbou z lehkého betonu v kvalitě pohledového betonu s odpovídající tepelnou izolací objektu, obr. 3. Budova byla architektem Norbertem Trufferem (Cometti Truffer Architekten AG) navržena ve tvaru krychle s přiloženými hranoly a tvoří zajímavý akcent v historickém prostředí městečka založeného ve 13. století. Při plánování a realizaci stavby kladl architekt důraz na komunikaci s okolním prostředím. Umístění okenních otvorů u podlahy a v různé výšce na stěnách vytváří ve vnitřním prostoru zajímavé světelné nálady. Budova harmonicky ladí s okolní vinicí. Na stavbu bylo použito z více jak 200 m^3 lehkého Liaporbetonu třídy LC20/22 o objemové hmotnosti 1 600 kg/m^3. Prováděcí firmou byla Constantin Bau AG a dodavatel betonu Volken Beton AG. Pro výrobu betonu bylo použito lehké kamenivo Liapor frakce 4–8 mm se sypnou hmotností 350 kg/m^3 a přírodním pískem frakce 0–4 mm. Tloušťka stěn je 450 mm, jejich povrch byl následně hydrofobizován [10].

Muzeum Biedermann, Donaueschingen, Německo 2009

Nedávno byla renovována klasicistní budova muzea v německém Donaueschingenu a výsledkem renovace je zajímavý koncept velmi elegantně se pohybující mezi tradicí a modernou. Nová přístavba muzea, obr. 4, je moderní monolitickou stavbou z lehkého Liaporbetonu v provedení pohledového betonu probarveného černou barvou, která opticky i fyzicky kontrastuje a harmonizuje s původní bílou budovou.

Původní budova byla postavena v roce 1841 muzejní společností. Krátce po dokončení došlo v objektu k požáru, byl však rychle obnoven a poté budova sloužila až do první

Obr. 4a

Obr. 4b

Obr. 4c

světové války. V letech 1937 až 2006 byl dům využíván jako kino. Později budovu získali manželé Margaret a Lutz Biedermannovi, kteří si vytkli cíl – transformovat zchátralou budovu na stylové muzeum pro vlastní sbírku umění. Rehabilitaci a sanaci dvoupodlažní budovy převzal tým architektů Tanya Raufer a Lukas Gäbele z gäbele&raufer.architekten BDA. V prostorách původní budovy jsou nyní vystaveny sbírky, dvě moderní přístavby v její zadní části slouží jako další výstavní prostory a správní budova. Celý komplex je vybaven nejmodernějšími technologiemi pro větrání, vytápění a klimatizaci.

Přístavba z lehkého černého pohledového betonu má stěny silné 650 mm a není dále zateplena. Bylo zde tedy využito nízké tepelné vodivosti a vysoké kapacity pro akumulaci tepla lehkého Liaporbetonu. Byla použita třída LC12/13 s objemovou hmotností 1 200 kg/m^3 speciálně navržená pro tuto stavbu. Celkově zde bylo uloženo 800 m^3 betonu [10].

Výstavní pavilon Laufen Forum, Basilej, Švýcarsko 2010

Nový výstavní pavilon společnosti Keramik Laufen AG v Basileji zaznamenal u veřejnosti mimořádný ohlas, obr. 5. Jedná se o zákaznické a předváděcí centrum, které zcela neobvyklým způsobem prezentuje výrobky společnosti. Nová oválná budova byla postavena z monolitického pohledového betonu. Dvoupodlažní objekt, s interiérem o objemu přibližně 6 500 m^3 a užitnou plochu 700 m^2, navrhlo architektonické studio Nissen & Wentzlaff z Basileje. Pro účely prezentace značky a produktů vytvořili architekti emocionální koncept, přičemž vycházeli z myšlenky funkčnosti – při pohledu z ptačí perspektivy připomíná tvar budovy známé umyvadlo společnosti.

Architekti vzali v úvahu úsporu plochy a nový objekt umístili do svahu tak, že výstavní část přesahuje přes spodní podlaží do prostoru o 25 m. Dvě třetiny budovy jsou podepřeny pouze jediným excentrickým bodem, na němž spočívá hmot-

Obr. 3 Sakrální stavba – hřbitovní kaple, Švýcarsko a), b) (zdroj: Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*) | Fig. 3 Sacral building – graveyard chapel, Switzerland a), b), (source Lias Vintířov, LSM k.s.)

Obr. 4 Muzeum Biedermann, Německo , a), b), c) (zdroj: Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*) | Fig. 4 Biedermann Museum, Germany, a), b), c) (source Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*)

Obr. 5a

Obr. 5b

Obr. 5c

nost asi 150 t. Vzhledem k rozměrům a rozpětí, v kterém je budova podepřena, odpovídá nosná konstrukce typově spíše mostu než výškové budově, takže celý návrh vyžadoval velmi náročné a rozsáhlé modelové výpočty. Za nosné konstrukce byla zodpovědná inženýrská společnost Walther Mory Maier. Společnost pro místo koncentrovaného namáhání navrhla ocelovou konstrukci, uloženou v betonu, která zabezpečuje přenos zatížení do základů vysokým stěnovým nosníkem. Čtyři další podpůrné body vnější zakřivené stěny o tloušťce 320 mm leží na podsklepené sekci. Stejně náročný byl návrh konstrukce mezistropu horní železobetonové střešní desky o délce 20 m a tloušťce 440 mm. Pro snížení zátěže slouží dvanáct kruhových ocelových sloupů ve vnitřním meziprostoru konstrukce střechy, kudy prochází vedení elektroinstalace a odvodnění střechy.

Excentricita zatížení a podepření v kombinaci s velkým otvorem pro atrium vedla k velké koncentraci vodorovného napětí v nosných stěnách střechy, které na takové zatížení musejí být dimenzovány. Pro snížení vlastní hmotnosti střechy bylo asi na polovinu střechy použito 150 m^3 lehkého betonu LC35/38, D 1.8 s lehkým kamenivem Liapor frakce 2–10 mm. Betonáž střechy z lehkého Liaporbetonu probíhala ze statických důvodů v jednom pracovním kroku, který trval 14 h.

Předváděcí centrum bylo vyznamenáno „Cenou za marketing a architekturu 2010“. Ocenění bylo uděleno za zvláštní technické a emocionální prvky objektu, který jako speciálně odlitý objekt prezentuje značku keramiky Laufen [10].

Administrativní veřejná budova, Erftstadt, Německo 2011

Budova byla postavena jako monolitický objekt se složitou konstrukcí a s vysokými estetickými a energetickými požadavky, které u veřejné budovy musely být splněny, obr. 6. Řešení bylo nalezeno u lehkého světlého pohledového betonu s využitím kameniva Liapor. Výstavbě předcházela architektonická soutěž, jejímž vítězem se stal architekt Marc Hůber z architektonické kanceláře raumwerk.architekten z Kolína nad Rýnem. Architekt upřednostnil beton a skleněné povrchy, které vizuálně vytváří klasický styl, který reprezentuje charakter města. Představu pohledového betonu a požadavky zákona na šetření energií splnil lehký beton. Tloušťka stěn je 650 mm, beton byl probarven do odstínu v místě používaného pískovce a jeho povrchy byly opatřeny hydrofobním nátěrem. Byl použit beton LC12/13 D 1,2, který obsahoval kamenivo Liapor frakce 2–8 mm a drcenou frakci 0–2 mm a CEM III/A 42,5 N s popílkem. Uloženo bylo cca 300 m^3 betonu. Beton byl do bednění ukládán po vrstvách tloušťky 1 m, jeho objemová hmotnost v čerstvém stavu byla 1 370 kg/m^3 a součinitel tepelné vodivosti 0,45 W/m^{2}K [10]. (*více o tomto objektu na str. 120, pozn. red.*)

Obr. 6

Nízkoenergetický rodinný dům, St. Erhard/Sursee, Švýcarsko 2009

Švýcarský architekt a umělec Urs Sigrist se rozhodl postavit svůj nový dům z monolitického lehkého betonu, obr. 7. Dům má tvar krychle s nápadným povrchem z pohledového betonu. Díky použití lehkého betonu je dům energeticky účinný a svou jižní orientací optimálně využívá sluneční energii. Vysoká tepelná kapacita izolačního lehkého betonu snižuje náklady na využitou energii na minimum.

Vnější stěny mají tloušťku 450 mm, stropy jsou z běžného betonu. Bylo uloženo cca 120 m^3 lehkého betonu, který obsahoval lehké kamenivo Liapor frakce 0–8 a 4–8 mm a lehké kamenivo Liaver frakce 1–4 mm. Dále byl použit portlandský cement, popílek, superplastifikátor a stabilizátor. Výsledný beton byl ve třídě LC8/9 se součinitelem tepelné vodivosti 0,32 W/m^{2}K. Betonáže proběhly během čtyř dnů a povrchy byly opatřeny hydrofobním nátěrem [10].

Obr. 7a

Obr. 7b

Obr. 8a

Obr. 8b

VÝSTAVBA RODINNÝCH DOMŮ (PREFABRIKACE)

Bezesporu největší výhodou prefabrikované technologie je rychlý postup výstavby a omezení mokrých procesů na stavbě na minimum. V případě lehkého betonu se k tomu ještě přidávají nižší přepravní náklady a tepelně izolační a akumulační vlastnosti. Na trhu jsou nabízeny nejen prefabrikované dřevostavby, ale také rodinné domy z prefabrikovaného lehkého betonu, obr. 8. V zahraničí již existují první pasivní či nízkoenergetické domy v prefabrikovaném systému z lehkého betonu, např. dům z roku 2009 stojící v Nizozemsku [11]. V současné době se prefabrikovaná technologie od monolitic-

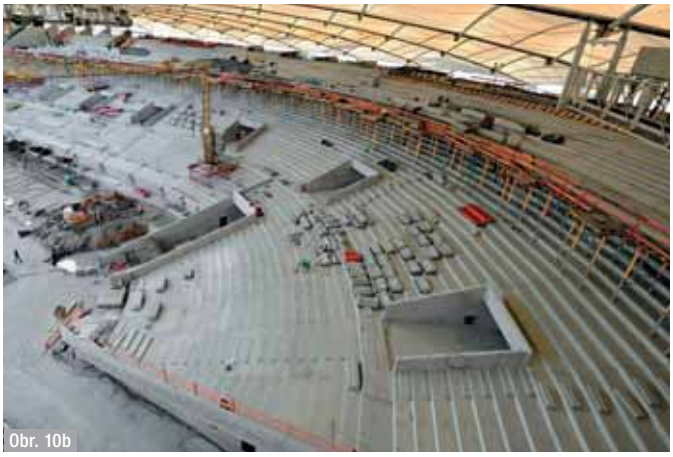
Fig. 5 Středisko Laufen Německo (zdroj: Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*) | Fig. 5 Laufen Centre Germany (source Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*)

Obr. 6 Administrativní budova Německo (zdroj: Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*) | Fig. 6 Administration building Germany (source Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*)

Obr. 7 Nízkoenergetický RD Švýcarsko (zdroj: Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*) | Fig. 7 Low-energy house Switzerland (source Lias Vintířov, LSM k.s., *www.liapor.com*)

Obr. 8 Výstavba domu z prefabrikátů vyrobených z probarveného lehkého betonu, zdroj: *www.dumjednimtahem.cz* | Fig. 8 Construction of a house of precast elements, manufactured from coloured LWC, Source: *www.dumjednimtahem.cz*

Obr. 10a



Obr. 10b

Obr. 10c

ké liší tím, že prefabrikované stěny jsou vyráběny v tloušťkách od 150 do 200 mm a domy jsou dodatečně zateplovány.

SPORTOVNÍ STAVBY (PREFABRIKACE)

Využití lehkého betonu v konstrukcích sportovních staveb je v ČR dobře známé. Máme bohaté zkušenosti s použitím lehkého samozhutnitelného betonu (LWSCC) třídy LC35/38 D 1,8 na prefabrikované dílce sportovního stadionu Eden (fotbalový klub SK Slavia Praha) v roce 2008, obr. 9b, a dále LC25/28 D 1,6 u multifunkční arény v Karlových Varech [13] (*Beton TKS 1/2008, pozn. red.*). Pro obě stavby byla inspirací výstavba Volkswagen arény ve Wolksburgu v Německu, kde byl použit lehký samozhutnitelný beton LC25/28 D 1,6 pro některé dílce (zejména vrchní ochoz areny).

Zajímavou světovou aplikací je např. Westpack stadion ve Wellingtonu na Novém Zélandu, obr. 9a. Jedná se o tamní první použití lehkého konstrukčního betonu. V konstrukci je osazeno 4 000 prefabrikovaných prvků z lehkého betonu. Pro jeho výrobu bylo použito lehké kamenivo na bázi expandované břidlice. Výsledný beton měl objemovou hmotnost 1 850 kg/m^3 a pevnost v tlaku 35 MPa (průměrná pevnost z kontrolních zkoušek 44 MPa). Hlavní důvody pro použití LC byly špatné základové podmínky, riziko silného zemětřesení, vysoká trvanlivost lehkého betonu a rychlá výstavba [6].

Obr. 9a

Obr. 9b

Poslední aplikací je rekonstrukce sportovního stadionu v německém Stuttgartu v roce 2011.

Mercedes-Benz Arena, Stuttgart, Německo 2011

Na konci roku 2011 došlo v německém Stuttgartu k rekonstrukci Mercedes-Benz Areny, obr. 10. Nové schodišťové prvky tribuny byly navrženy z lehkého prefabrikovaného betonu LC35/38 D,6 XC4, XF1. Nová vetknutá tribuna pro dva tisíce návštěvníků navržená architektonickou kanceláří Architekten Stuttgart se skládá z cca 720 prefabrikovaných dílců. Důvodem pro výběr lehkého betonu byla jeho vysoká pevnost, nízká objemová hmotnost a vysoká trvanlivost [10].

DOPRAVNÍ STAVBY

Lídrem v oblasti použití lehkého betonu v dopravních stavbách jsou bezesporu v Evropě skandinávské země (*Most Raftsundet z vysokohodnotného lehkého betonu, str. 126, pozn. red.*) a dále Severní Amerika.

Rekonstrukce mostu pomocí lehkého betonu, Washington DC, USA

Most nadzemní části dálnice Whitehurst ve Washingtonu DC byl modernizován s cílem navýšit únosnost mostu a rozšířit vozovku. Zvýšení únosnosti bylo dosaženo výrazným snížením vlastní váhy použitím lehkého konstrukčního betonu, který nahradil obyčejný beton konstrukce desky mostovky a asfalt krytu vozovky. Byl to jediný možný způsob, jak obnovit stávající objekt. Došlo tak ke snížení vlastní váhy o 205 kg/m^2, tedy více než jednu třetinu z původní hmotnosti.

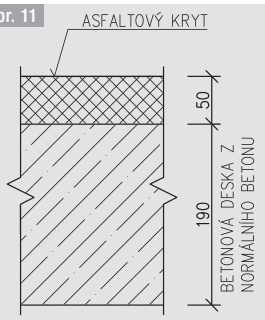
Obr. 11 ukazuje srovnání mezi původním a modernizovaným průřezem deskou mostovky. Snížení vlastní hmotnosti přispělo k vyrovnání nárůstu zatížení kvůli rozšíření mostu a zvýšení jeho zatížitelnosti. Použitý lehký beton měl pevnost v tlaku 31 MPa a objemovou hmotnost 1 800 kg/m^3, obsah vzduchu 6 % a vodní součinitel 0,44. Byl použit cement typu II [6].

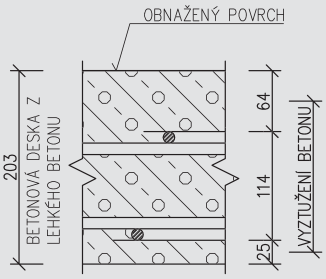
Most na silnici R6, Sokolov–Tisová, 2010

Lehký beton není zatím v České republice v dopravních stavbách příliš využíván.

První aplikací v oblasti mostních konstrukcí byl most přes silnici a potok Tisová na rychlostní silnici R6 mezi Sokolovem a Chebem (obr. 12, *Beton TKS 4/2010, pozn. red.*). Vzhledem ke složitým geologickým poměrům se přistoupilo k použití lehkého betonu. Nosná konstrukce byla navržena jako spojitý nosník o sedmi polích. V příčném směru se jedná o dvoutrámový monolitický most z dodatečně předpjatého betonu s lehkým kamenivem Liapor třídy LC35/38 D2,0 XF2. Použití lehkého betonu o objemové hmotnosti 1 950 kg/m^3 a modulu

Obr. 11





PŮVODNÍ KRYT	kg/m^2
190MM BETONOVÁ DESKA	459
50MM ASFALT	122
CELKEM	581

NOVÝ KRYT	kg/m^2
203MM DESKA Z LEHKÉHO BETONU	376
CELKEM	376

Obr. 9 a) Wellington Stadium Nový Zéland (zdroj: ***www.escsi.org***), b) Stadion SK Slavie Praha (fotografie M. Smutek) | Fig. 9 a) Wellington Stadium New Zealand (source: ***www.escsi.org)***, b) Slavie Praha Arena (Photo M. Smutek)

Fig. 10 Mercedes Benz Arena Sttutgart Německo (zdroj: Lias Vintířov, LSM k.s., ***www.liapor.com***) | Fig. 10 Mercedes Benz Arena, Stuttgart, Germany (source: Lias Vintířov, LSM k.s., ***www.liapor.com***)

Fig. 11 Původní a modernizovaný kryt vozovky [6] | Fig. 11 Initial and refurbished pavement of a road [6]

Obr. 12

pružnosti 24 GPa se jeví jako efektivní způsob snížení dominantní části stálého zatížení mostu. Vyšší cena betonu byla bezpečně kompenzována úsporami na založení a výztuži nosné konstrukce [14].

Vnitřní samoošetřování lehkého betonu (nejen) v dopravních stavbách

Inovativní přístup k navrhování lehkého betonu zejména pro dopravní stavby zavedli v USA, kde se velmi podrobně věnují pozitivní vlastnosti vnitřního samoošetřování betonu.

Vnitřní samoošetřování lehkého betonu nabízí výhody zlepšení hydratace, snížení průniku chloridů a nižší smršťování. To pomáhá betonu dosáhnout svého maximálního potenciálu jako udržitelného stavebního materiálu s dlouhou životností. Vnitřní samoošetřování (dále VS) není nový pojem, ale v posledních letech probíhalo mnoho výzkumů na toto téma. V současné době dobře známe, jak VS funguje a dokonce známe způsob, jak navrhnout řízený proces vnitřního samoošetřování. V USA se při návrhu lehkého betonu začíná počítat s VS za účelem zvýšení odolnosti a životnosti budované konstrukce. Jedná se o nový přístup k návrhu LC. VS nabízí něco, co klasické betony ani konvenční ošetřování betonu nemůže nabídnout, a to přídavnou vodu, která pomáhá bránit smršťování betonu a zvyšuje hydrataci cementu. Potřeba VS se zvyšuje při nižším vodním součiniteli (dále *v/c*). Výzkumy ukazují, že i u betonů s běžným *v/c* (0,4 až 0,46) nedojde ke kompletní hydrataci cementu, a to i po mnoha měsících.

Ukazuje se, že VS může být výhodně použito u betonů využívajících vyšší množství příměsí (popílek, struska atd.), protože potřeba vody je během jejich reakce zvýšená. V těchto případech se objevuje myšlenka využití pórovitého kameniva v běžném betonu, tzn., že objemová hmotnost ztvrdlého betonu bude nad 2 000 kg/m^3. Pouze část přírodního kameniva je nahrazena pórovitým, jehož hlavní úlohou je tzv. rezervoár pro vodu během hydratace betonu. Je třeba ale zdůraznit, že VS nenahrazuje konvenční ošetřování povrchu betonu [6].

Příručka ESCSI's (Expanded Shale, Clay and Slate Institute; Chicago, USA) „Guide for Concrete Mixture Designs using Prewetted ESCS Lightweight Aggregates for Internal Curing" z roku 2011 udává doporučená množství přídavné vody. Autor ale upozorňuje, že je vhodnější toto množství vždy stanovit na základě druhu použitého pórovitého kameniva a použité technologie míchání a ukládání betonu.

První experimenty ukládání tohoto betonu finišerem prokázaly podstatné snížení vzniku trhlin v betonu. Následně se přistoupilo k reálným aplikacím, kterých je v poslední době čím dál více [6], např.:

- The Union Pacific Intermodal Terminal (Hutchins, Texas 2005);
- Texas State Highway SH 121 (Dallas, Texas 2007);

mostní desky (State of Indiana, USA 2010).

Další informace lze získat na ***www.esci.org***.

MEZEROVITÝ BETON

Lehký mezerovitý beton z lehkého pórovitého kameniva pro oblast transportbetonu není zakotven v žádné současně platné normě. Přesto byl použit v roce 2010 jako drenážní beton tunelu Dobrovského v Brně, obr. 13. Lehký beton zde tvořil přímé nadloží tunelové trouby. Zatřídění a značení lehkého mezerovitého betonu bylo použito dle ČSN EN 1520. Byl použit beton LAC2/0,6 (dle již neplatné české normy MLB 2–600) s jednou frakcí lehkého kameniva Liapor tuzemské výroby 4–8 mm.

Další známé aplikace jsou použití v protihlukových stěnách, obr. 14, jako výplňový tepelně-izolační beton, v oblasti prefabrikace a jako zavěšené deskové pohledové prvky provětrávaných fasád. Často je také mezerovitý beton užíván v oblasti vibrolisované výroby (zdící systémy, zahradní architektura).

ZÁVĚR

Lze konstatovat, že při současných trendech výstavby nachází lehký beton opakovaně využití. V zahraničí je však již používán i v konstrukcích, v kterých se v našich končinách používá jen sporadicky nebo vůbec.

Významným aspektem pro použití lehkého betonu je jeho znalost ze strany architektů a projektantů a v průběhu samotné realizace je důležitá práce technologa, bez jehož znalostí dochází k zbytečným problémům během výstavby betonových konstrukcí.

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení programu MPO TIP FR-TI4/412.

Ing. Michala Hubertová, Ph.D.
FAST VUT v Brně, THD
Veveří 331/95, 602 00 Brno
tel.: 777 740 014
e-mail: m.hubertová@centrum.cz; hubertova.m@fce.vutbr.cz

Obr. 13

Obr. 14a

Obr. 14b

Literatura:

[1] Harapská kultura on-line na ***http://cs.wikipedia.org/wiki/Harappská_kultura***

[2] *Chandra, Benstsson*: Lightweight Aggregate Concrete – Science, Technology and applications, 2002

[3] *Spitzner J.*: A Review of the Development of Lightweight Aggregate, History & Actual Survey, Proc. of Int. Symp. Structural Lightweight Concrete, Sandefjörd, Norway, pp. 13.21, 1995

[4] *Stark J.*: Proc. of Int. Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete, Sandefjörd, 1995, Paper by Spitzner., pp. 13.20 (1995)

[5] *Hubertová M.; Hela R.*: Lehký samozhutnitelný beton, kap. v Samozhutnitelný beton, ISBN 978-80-87158-12-8, ČBS ČSSI, Praha, 2008

[6] Expanded Shale, Clay And Slate Institute (ESCSI) on-line na ***http://www.escsi.org***

[7] Eurolightcon – Economic design and construction with lightweight aggregate concrete, on-line na ***http://www.sintef.no***

[8] *Henkensiefken R., Nantung T. and Weiss J.*: Internal curing – from the laboratory to implementation, LWC Bridges Workshop 2009 IBC 1 U.S. Concrete, San Jose, CA

[9] *McSaveney L. G.*: New Zealand´s first use of high strength leightweight precast concrete, Golden Bay Cement, Auckland New Zealand

[10] ***www.liapor.com, www.liapor.cz***

[11] ***http://www.ecbcs.org/docs/Annex_38_Netherland_Dalem.pdf***

[12] *Hubertová M., Hela R.*: Celosvětové trendy výzkumu a aplikací lehkého betonu s pórovitým kamenivem, sb. konf. Technologie betonu 2012, ČBS ČSSI, Praha, 2012, str. 125–130

[13] *Hubertová M.*: LWSCC precast elements used in SK Slavia Prague stadium, Concrete Engineering International, ISSN 1742-352X, The Concrete Society, United Kindgom, 2008

[14] *Chůra M., Němec P., Komanec J., Popsimov P., Hubertová M.*: Most přes silnici a potok Tisová na R6, sb. 16. mezinár. symp. Mosty 2011, ISBN 978-80-86604-52-7, Sekurkon, Praha, 2011, str. 382–387

Obr. 12 Most na silnici R6 ČR | Fig. 12 Bridge on the R6 road, CR

Obr. 13 Tunel Dobrovského Brno – ukládání mezerovitého betonu (Stappa mix, spol. s r. o.) | Fig. 13 Dobrovsky Tunnel in Brno – pouring of LWC with open structure (Stappa mix, Ltd.)

Obr. 14 Mezerovitý lehký beton v protihlukových stěnách (zdroj. ***www.liadur.cz***), a), b) | Fig. 14 LWC with open structure in acoustic walls (source: ***www.liadur.cz***), a), b)