

Mladá veda

Young Science



Rozhovor s Eliškou Gunišovou

**Prehľad ľahkých betónov s využitím
odpadových plastov**

**Zakladanie onshore a offshore podnikov za účelom
daňového plánovania a daňovej optimalizácie**

Mladá veda

Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Jún 2015 (číslo 1)

Ročník tretí

ISSN 1339-3189

Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk

Fotografia na obálke: Helsinki 2014. © Branislav A. Švorc, foto.branisko.at

REDAKČNÁ RADA

doc. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)

doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociálnej geografie a regionálneho rozvoja, Univerzita Karlova, Praha)

doc. PaedDr. Peter Čuka, PhD. (Katedra cestovného ruchu, Slezská univerzita v Opavě)

prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)

Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)

doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)

prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)

prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

REDAKCIA

Mgr. Richard Nikischer (Sociologický ústav Akademie věd ČR, Praha)

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD. šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)

PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)

Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.

www.universum-eu.sk

Javorinská 26, 080 01 Prešov

Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

PREHĽAD ĽAHKÝCH BETÓNOV S VYUŽITÍM ODPADOVÝCH PLASTOV

THE OVERVIEW OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH USING WASTE PLASTIC

Valéria Gregorová¹

Autorka pôsobí ako interná doktorandka na Katedre materiálového inžinierstva, na Stavebnej fakulte STU v Bratislave. Vo svojom výskume sa venuje ľahkým betónom na báze odpadových plastov.

Author acts as an internal doctoral student at the Department of Material Engineering at the Faculty of Civil Engineering STU in Bratislava. She deals with the lightweight concrete based waste plastics in her research.

Abstract

Lightweight concretes present a special group of concretes that have in construction practice more and more applications. They are characterized by low density and good thermal insulation properties. Lightening of concrete can be achieved directly in the structure of the material by foaming or gassing ingredients or indirectly, using a variety of light organic or inorganic fillers (expanded clay, shale, liapor, wood waste, polystyrene, recycled waste plastics, etc.).

Key words: lightweight concrete, history, development

Abstrakt

Ľahké betóny predstavujú špeciálnu skupinu betónov, ktoré nachádzajú v stavebnej praxi čoraz častejšie uplatnenie. Vyznačujú sa nízkou objemovou hmotnosťou a dobrými tepelnoizolačnými vlastnosťami. Ich vyľahčenie možno doceliť priamo v štruktúre materiálu pomocou penotvornej či plynotvornej prísady alebo nepriamo, použitím rôznych ľahkých organických alebo anorganických plnív (expandovaný íl, bridlica, liapor, drevené odpady, polystyrén, recyklované odpadové plasty a pod.).

Kľúčové slová: ľahký betón, história, vývoj

¹Adresa pracoviska: Ing. Valéria Gregorová, Katedra materiálového inžinierstva, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava
E-mail: valeria.gregorova@stuba.sk

Ľahké betóny

Betón, umelý kompozitný materiál, patrí v súčasnosti vďaka svojim mechanickým, fyzikálnym, chemickým a štrukturálnym vlastnostiam k najpoužívanejším stavebným materiálom na svete. Presadil sa v najrôznejších oboroch stavebníctva a postupne nahradil staré materiály ako napr. kameň, tehlu, drevo či oceľ. S ohľadom na rôzne požiadavky a účely použitia, ako i nezanedbateľné ekonomické kritéria výroby, majú v dnešnej dobe jednotlivé betóny odlišné zloženie, spôsob spracovania i široké spektrum vlastností.

Ľahké betóny (označované ako LC - Lightweight Concrete) majú v stavebnej praxi čoraz častejšie uplatnenie. Tvoria zvláštnu skupinu medzi bežnými betónmi vzhľadom k svojej nízkej objemovej hmotnosti (800 až 2 000 kg/m³) a tým aj lepším tepelnoizolačným vlastnostiam. Oproti obyčajnému betónu sa vyznačujú zníženou objemovou hmotnosťou a ich konečné vlastnosti možno ľahko a cielene upravovať skladbou zložiek. K ich nevýhodám patrí menšia pevnosť v tlaku a v ťahu, vyššia nasiakavosť, a tým menšia odolnosť proti mrazu. Nepriaznivou vlastnosťou je aj väčšie zmrašťovanie a dotvarovanie (Svoboda 2004, Bajza a Rouseková 2006).

História vývoja ľahkých betónov

Prvé zmienky o použití ľahkých stavebných materiálov siahajú až do obdobia Rímskej ríše. Na výrobu prvých ľahkých betónov sa používalo pálené vápno vyrábané z vápenca, ktoré malo funkciu spojiva a ako ľahké plnivo sa využívala grécka a talianska sopečná pemza, prípadne ďalšie ľahké horniny. Rímsky betón nebol zrovnateľný s tým dnešným, bol to však materiál, ktorý umožňoval Rimanom zhotovovať veľkolepé stavby (ESCI 1971). Medzi najvýznamnejšie a dodnes zachované patrí napr. Pantheon a Koloseum v Ríme, akvadukt Pont du Gard v obci Vers-Pont-du-Gard (oblasť Provensalsko v juhovýchodnom Francúzsku).



Obr. 1. Bočný pohľad na Pont du Gard
Zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard

Pantheon bol postavený v rokoch 120 - 126 n. l. a je dodnes využívaný. Rimanovia na jeho výstavbu použili betón s kamenivom rôznej objemovej hmotnosti. V spodnej časti kupoly je použité najťažšie kamenivo a pri jej vrchole najľahšie, pričom hrúbka steny kupoly sa po výške zužuje z 6,4 m na 1,2 m, priemer kupoly je 43,3 m (Paulík 2014).

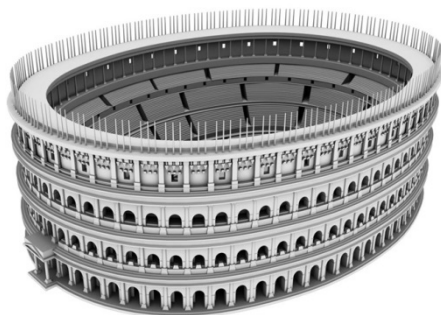


Obr. 2. Pantheon - 3D model

Zdroj: <http://www.turbosquid.com/3d-models/maya-pantheon-rome-italy/511084>

Koloseum, obrovský amfiteáter s kapacitou 50 000 divákov bol postavený v rokoch 75 – 80 n. l.. Základy siahajúce do hĺbky 9 metrov boli vyhotovené z betónu obsahujúceho rozdrvenú lávu. Na realizáciu stien boli do betónu pridané rozdrvené tehly, na klenby a medzery medzi stenami zase tufy.

Po páde Rímskej ríše technológia výroby betónu takmer zanikla, znovuobjavená a zdokonalená bola až v 18. storočí počas priemyselnej revolúcie.



Obr. 3. Koloseum - 3D model

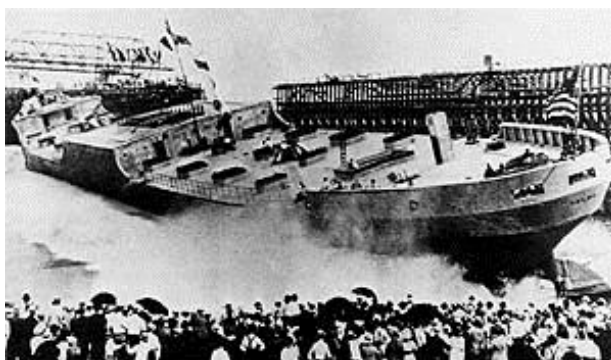
Zdroj: http://www.derrickwildey.com/design3d_colosseum.html

Na prelome 19. a 20. storočia sa ako náhrada za vápno začína vo väčšej miere používať cement. V roku 1824 získal Joseph Aspdin patent na receptúru a výrobný postup portlandského cementu. Názov je odvodený od ostrova Portland, na ktorom sa ťažil kvalitný vápenec farebne pripomínajúci zatvrdnutý cement (Paulík 2014).

Nemecko začalo v roku 1845 s priemyselným využitím prírodného ľahkého kameniva. Architekt Ferdinand Nebel použil na výrobu tvárnic pemzu ako plnivo a pálené vápno ako spojivo. Na Islande sa pemza využíva v oblasti stavebníctva od roku 1928 (Chandra a Berntsson 2002).

Najväčší rozvoj priemyselnej výroby ľahkých kamenív z expandovaných ílov a bridlíc prebehol v prvej polovici 20. storočia v USA. Pôvodcom súčasného spôsobu výroby expandovaných ílov je Stephen John Hayde z Kansas City v Missouri. Všeobecne je uznávaný ako zakladateľ priemyselnej výroby ľahkého betónu. Bol stavebným podnikateľom a výrobcom tehál, ktorý si pri ich výrobe všimol nafukovanie niektorých blokov pri

dosiahnutí vysokých teplôt počas vypaľovacieho procesu. V rokoch 1911 a 1912 uskutočnil prvé pokusy s kamenivom tohto druhu. 12. februára 1918 dostal patent (U.S Patent No. 1255878) na svoj postup výroby kameniva expandovaním bridlice v rotačnej peci. V roku 1920 začal v Kansas City prvý priemyslový podnik vyrábať expandovanú bridlicu – tzv. Haydite (ESCI 1971, Liapor).



Obr. 4. Lod' U.S.S. Selma, 1919, Mobile, Alabama

Zdroj:http://www.escsi.org/uploadedFiles/Technical_Docs/General_Information/7600.1%20Lightweight%20Aggregate%20History.pdf.

Americká spoločnosť Emergency Fleet Corporation ako prvá využila „Haydite“ na výrobu ľahkého konštrukčného betónu použitého na výstavbu lode počas prvej svetovej vojny. Požiadavky na kvalitu betónu boli vysoké. Pevnosť v tlaku musela byť 35 MPa, objemová hmotnosť maximálne 1760 kg/m³, tieto požiadavky však boli splnené. Podobne sa ľahký konštrukčný betón použil i v druhej svetovej vojne, kde sa z neho postavilo cca 105 lodí (Paulík 2014).



Obr. 5. Southwestern Bell, Kansas City
1928, Missouri



Obr. 6. Chase-Park Plaza Hotel, St. Louis
1929, Missouri

Zdroj:http://www.escsi.org/uploadedFiles/Technical_Docs/General_Information/7600.1%20Lightweight%20Aggregate%20History.pdf.

Historicky prvou stavbou postavenou z ľahkého betónu bola budova telocvične Westport High School v Kansas City (1922). Prvým veľkým projektom, pri ktorom bol použitý konštrukčný ľahký betón, bola nadstavba administratívnej budovy telekomunikačnej spoločnosti Southwestern Bell v Kansas City, v roku 1928 a 1929. Budova bola pôvodne postavená ako 14 poschodová. Nadstavbou sa mala zvýšiť o ďalších 8 poschodí. Inžinieri sa však zhodli, že použitím ľahkého betónu do konštrukcie podláh a stien možno výrazne znížiť stále zaťaženie stavby, a tak z pôvodných 8 podlaží navrhli nadstavbu až na 14 podlaží.

Prvou výškovou budovou postavenou z konštrukčného ľahkého betónu bol hotel Park Plaza v St. Louis (dnešný hotel Chase - Park Plaza). Postavený bol v roku 1929 ako 28 poschodový objekt, ktorého celá rámová i podlahová konštrukcia je vyhotovená z ľahkého betónu (ESCI 1971).

Stavebný priemysel prijímal ľahké umelé kamenivo na výrobu betónu s určitou nedôverou, a to z hľadiska bezpečnosti, trvanlivosti a hlavne pre vyššiu cenu. Napriek tomu sa v období medzi vojnami postavili stavby, ktoré ukázali na možnosti ľahkého betónu a na jeho hospodárnosť. Nielen v USA sa postavilo niekoľko hotelov a administratívnych budov, uplatnenie malo i v mostnom staviteľstve (Kivrak et al. 2006).

Ruská história výskumu a výroby ľahkého kameniva do betónu, ktorá sa začala v roku 1930, je spätá s menom prof. Kostyrko, ktorý vyrobil kamenivo pod názvom Keramsit. Jeho práca bola však prerušená druhou svetovou vojnou, takže prvé rotačné pece na výrobu kameniva boli uvedené do prevádzky až po roku 1955 (Svoboda 2013).

Za európsku kolísku výroby expandovaného ílu možno považovať Dánsko. V roku 1939 bol vybudovaný závod na výrobu produktu označovaného ako Leca (expandovaný íl) v meste Rösnes neďaleko Kalundborgu. Neskôr bol závod presťahovaný do mesta Hinge. Technické know-how výroby sa dostalo do mnohých krajín. Prvý nemecký závod na výrobu Lecy začal s výrobou v roku 1956 neďaleko Mittelholsteinu (Svoboda 2013).

Veľká Británia disponovala do roku 1970 pomerne rozsiahlym výberom ľahkého kameniva pre výrobu konštrukčne ľahkého betónu. Popri spracovaní prírodných materiálov sa zameriavala aj na výrobu kameniva ako Leca, Aglite (expandovaná bridlica, nepravidelného tvaru) a Solite (expandovaná bridlica – najmä zaoblené zrná). Na rozdiel od Aglitu a Solitu (vyššia hustota a pevnosť) sa Leca vyznačovala nízkou hustotou a tým aj nízkou pevnosťou (Svoboda 2013).

Od roku 1955 sa postupne rozvinula výroba ľahkých kamenív aj v bývalom Československu. Na Slovensku sa spracovávali tufy a kremelina, začalo sa s výrobou keramzitu v Bratislave, expanditu v Prešove a perlitu v Košiciach. V Českej republike v obci Vintířov sa začalo s výrobou keramzitu a dodnes sa vyrába pod názvom Liapor (Fajkus 2009).

Od začiatku 20. storočia sa objavujú aj prvé pokusy o získanie ľahkých pórovitých betónov. Začalo sa používať autoklávkovanie za účelom zvyšovania pevnosti pórovitých betónov a urýchlenia jej dosiahnutia.

Za prvým pokusom vyrobiť pórobetón stál E. Hoffman, v roku 1889. Prevzdušnenie materiálu docielil prostredníctvom CO₂, ktorý vznikol pri reakcii kyseliny chlorovodíkovej s vápencom. Základy pre výrobu pórobetónu položili v roku 1914 J. W. Aylsworth a F. A. Dyer, ktorí využili kovové prášky (hliník a zinok) na vytvorenie bublínok v alkalickom prostredí

cementovej kaše. Pre rovnaký účel použili v roku 1922 Adolf a Pohl peroxid vodíka s chlornanom sodným (Building research institute, 1961).

Prvý doložený pokus výroby autoklávovaného pórobetónu bol uskutočnený v roku 1923 vo Švédsku. O tento takmer náhodný objav sa zaslúžil Dr. Johan Axel Eriksson, ktorý pracoval na výrobe rôznych pórobetónových vzoriek. Z dôvodu nedostatku času sa rozhodol urýchliť proces tvrdnutia hmoty, ktorá bola tvorená páleným vápnom, vodou a hliníkovým práškom, umiestnením vzoriek do laboratórneho autoklávu. Novovzniknutý pórovitý materiál dosahoval po 12 hodinách v autokláve vysoké pevnosti v tlaku, čo bolo spôsobené novou a silnejšou kryštalickou mriežkou. Pri dostatočnej teplote, tlaku a za prítomnosti pary sa oxid kremičitý (SiO_2) a hydroxid vápenatý (Ca(OH)_2) postupne premenili na minerál Tobermorit, vyskytujúci sa v prírode. V roku 1924 bol pórobetón patentovaný a v novembri roku 1929 bol postavený prvý závod na jeho výrobu. Výrobok dostal názov Y-TONG, čo zahŕňalo skratku mesta Yxhult a švédskeho názvu betónu BETONG (Superbuild).

Vo Švédsku vznikla prvá technológia výroby vystužovaného pórobetónu, známa od roku 1937 pod názvom SIPOREX. Na túto technológiu nadviazal Josef Hebel, ktorý v roku 1945 získal patent na výrobu vystužovaných pórobetónových výrobkov (Hellers a Schmidt 2011).

Po druhej svetovej vojne začala prudko narastať výroba pórobetónu hlavne s rozvojom výroby ďalších producentov, napr.: Danskasbeton v Dánsku alebo Durox (Calsilox) v Holandsku. Na rozvoji výroby pórobetónu sa spoločnosti podieľali vlastnými technológiami a strojno-technologickým zariadením. Rozdiely sú predovšetkým v používaných spojivách (jedno, dvojzložkové), v plnivách a v spôsobe prípravy surovín. Jednotlivé technológie predpokladajú vo výrobných receptúrach použitie rôznych prísad predovšetkým na reguláciu reologických vlastností pórobetónových zámesí. Receptúry sú často predmetom výrobného tajomstva a sú nezriedka patentovo chránené. Základné výrobnotechnologické rozdiely sú v použití rôznych systémov krájania zatuhnutej hmoty a z toho vyplývajúcich rozdielov v strojnej technológii a v organizácii prípravy a formovania pórobetónovej hmoty. Charakteristickým príkladom rozdielných systémov krájania a technológie prípravy pórobetónovej hmoty sú systémy Ytong a Calsilox (Balkovič a Hanečka 2006).

Odpadové plasty ako plnivo do ľahkých betónov

Z dôvodu rastúcej produkcie komunálneho a priemyselného odpadu, sa čoraz častejšie uvažuje s jeho začlenením do stavebnej výroby. Stavebný priemysel zaťažuje životné prostredie výrobou stavebných materiálov, hlavne ťažbou prírodných surovín a spotrebou energie pri výrobe, ale na druhej strane umožňuje široké zhodnotenie odpadov rôznych druhov. Odborníci na stavebné materiály sa snažia tradičné materiály nahrádzať odpadovými, či už vo forme doplnkov do kompozitných materiálov alebo ako náhrada kameniva. V princípe sa v stavebníctve druhotné suroviny používajú najmä pri výrobe kompozitov ako sú betóny a malty, a to ako plnivá (popolčeky a popoly z elektrární a teplární, popol a škvara zo spaľovania komunálneho odpadu, vysokopecná a oceliarska troska, odpadné formovacie piesky zo zlievarní, odpady zo spracovania dreva, odpady z výroby umelého kameňa a kameniva, odpady z ťažby a úpravy nerastných surovín a uhlia, odpady z recyklácie stavebných materiálov a stavebných konštrukcií, odpadný papier, celulóza, plasty atď.) alebo

ako spojivá a prímеси (mletá vysokopecná troska, popolčky, energosadrovec z odsírovania spalín, chemosadrovec a odpadné sírany z chemických výrob, odprašky z cementární a vápeniek, mikrosilika atď. (TZB portal 2011). Svoje uplatnenie má aj tzv. agro - odpad, ako je napr. popol z cukrovej trstiny, pšeničnej slamy, ryže a pod.

V poslednej dobe sa čoraz viac zameriava na využitie recyklovaných odpadových plastov (napr. recyklovaný polystyrén, polyuretánová pena, PET fľaše, odpad z elektrických a elektronických zariadení, PVC potrubia a pod.).

Uskutočnených bolo viacero štúdií zameraných na využitie plastového odpadu nahradzujúceho plnivo v betóne. Rebeiz (2007) vo svojej práci poukázal, že za pomoci živice získanej recykláciou PET (polyetyléntereftalát) možno vyrobiť kvalitný prefabrikovaný betón. Ďalšie štúdie prezentujú použitie gumového granulátu z ojazdených pneumatík (Nosek a Unčík 2012, Pelliser et al. 2011, Li et al. 2014). Tie sa môžu využiť na výrobu betónových panelov, podláh, stien, cementových dosiek a pod. Ganjian et al. (2009) vo svojich experimentoch nahradili hrubé kamenivo gumovým granulátom s veľkosťou zŕn maximálne 25 mm. Cement nahradili práškom získaným mletím gumovej drviny v špeciálnych mlynch. V oboch prípadoch boli betónové zmesi upravené odpadom v množstve 5 %, 7,5 % a 10 % z hmotnosti nahradzujúcej zložky. Pevnosť v tlaku ovplyvňovali dva faktory: veľkosť zŕn granulátu a percentuálny podiel v zmesi. S narastajúcim podielom odpadu v betóne sa znižovala jeho pevnosť v tlaku. Najvyšší pokles pevnosti v tlaku zaznamenali pri 7,5 % a 10 % náhrade kameniva i cementu. Pevnosť v ťahu klesá so zvyšujúcim obsahom gumového odpadu. Kľúčovú úlohu pri tejto závislosti zohráva nedostatočná väzba medzi gumou a cementovým tmelom. Pevnosť v ťahu betónu modifikovaného granulátom (náhrada kameniva) bola nižšia ako betón obsahujúci gumový prášok (náhrada cementu).

Choil et al. (2005) experimentovali s recyklovanými PET fľašami. Ich výsledky ukázali, že aplikáciou týchto odpadov sa znížila hmotnosť o cca 2 - 6 % z hmotnosti normálneho betónu, a rovnako sa znížila aj pevnosť v tlaku až o 33 % v porovnaní s normálnym betónom. Batayneh et al. (2007) zistili, že so zvyšujúcim obsahom plastového odpadu v betóne sa znižuje jeho pevnosť v tlaku. Nahradením drobného kameniva plastovým odpadom (20 % z množstva kameniva) spôsobilo zníženie pevnosti v tlaku až o 70 % v porovnaní s normálnym betónom. Rovnako i vedci Remadnia et al. (2009) a Yazoghli - Marzouk et al. (2007) sa zaoberali nahradením drobného kameniva recyklovanými PET fľašami. Dospeli k záveru, že nahradením viac ako 50 % objemu piesku recyklátom, spôsobí pokles objemovej hmotnosti a pevnosti v tlaku betónu.

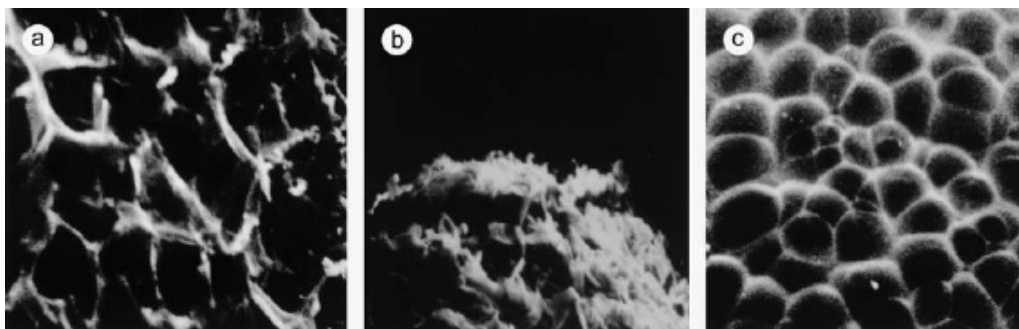
Ghernouti et al. (2014) nahradili jemné kamenivo v betóne recyklátom z plastových tašiek. Zamerali sa na vplyv rôznej dávky odpadu (množstvo 10, 20, 30 a 40 % z hmotnosti piesku) na mechanické vlastnosti betónu. Pred samotným použitím materiálu bolo nutné plastové tašky spracovať na požadovanú frakciu (tepelné spracovanie, ochladenie a následné drvenie). V štúdií dospeli k záverom, že použitím recyklátu sa zlepšila konzistencia a spracovateľnosť čerstvého betónu. Objemová hmotnosť zatvrdnutých betónov sa priamo úmerne znižovala s rastúcou dávkou recyklátu. Rovnaký priebeh dosahovala aj 28 dňová pevnosť v tlaku v porovnaní s referenčnou vzorkou. Zníženie pevnosti môže byť spôsobené nesúdržnosťou medzi odpadom a cementovým tmelom, ale aj nízkou pevnosťou samotného recyklátu.

Recyklovaním PVC rúr a následným využitím odpadu sa zaoberali Kou et al. (2009). Granulát s maximálnou veľkosťou zŕn 5 mm použili v rôznom pomere ako náhradu za drobné kamenivo (0 %, 5 %, 15 %, 30 % a 45 % z objemu kameniva). Sledovali vplyv odpadu na vlastnosti čerstvého i zatvrdnutého betónu. S narastajúcim množstvom PVC agregátu v betóne sa znižovala objemová hmotnosť, pevnosť v tlaku, zmrašťovanie a zlepšila sa odolnosť proti chloridom. Dospeli k záverom, že granulovaný PVC odpad môže byť vhodnou náhradou za drobné kamenivo používané pri výrobe nekonštrukčného ľahkého betónu. Optimálne množstvo odpadu predstavuje 15 % z objemu drobného kameniva.

Elektrický šrot, tzv. e-odpad (vyraďené elektrické a elektronické zariadenia) predstavuje ďalšiu možnosť aplikácie v oblasti technológie betónu. Touto témou sa zaoberali aj Lakshmi a Nagan (2010), ktorí e-odpadom nahrádzali hrubé a drobné kamenivo v množstve 10 až 30 % z jeho objemu. Do základnej zmesi taktiež pridali popolček (10 %) a sledovali hlavne pevnosť betónu v tlaku, ťahu pri ohybe a priečnom ťahu. Výsledky práce potvrdili, že e-odpad nie je vhodnou náhradou drobného kameniva, ale môže sa využiť ako náhrada kameniva hrubého. Pevnosť v tlaku a pevnosť v ťahu pri ohybe betónu obsahujúceho e-odpad (do 20 %) bola porovnateľná s referenčným betónom. Avšak, betóny obsahujúce viac ako 20 % recyklátu, vykazovali výrazne nižšie pevnosti. Pridaním popolčka do zmesi sa podstatne zlepšili všetky pevnostné charakteristiky.

Polystyrénbetón je známym a dlhšiu dobu využívaným druhom ľahkého betónu. Spočiatku sa vyrábal z polystyrénových tzv. „panenských“ perál. Ich dostupnosť je značne obmedzená, s čím súvisí i pomerne vysoká cena. Z týchto dôvodov sa čoraz častejšie používa recyklovaný polystyrén, ktorý sa vyrába spracovaním stavebného odpadu (zatepl'ovací materiál) a priemyselných obalov (elektronika, elektrotechnika a biela technika). S recyklovaným EPS, ako náhradou za hrubé alebo drobné kamenivo, bolo uskutočnených viacero experimentov (Ferrándiz-mas et al. 2014, Assad a Tawfik 2011, Laukaitis et al. 2005).

Predmet štúdie Laukaitisa et al. (2005) spočíval v aplikácii troch frakcií zŕn polystyrénu (obr. 7) ako plniva do tepelnoizolačného penového betónu. Na zvýšenie kohézie plniva a cementového tmelu sa použili povrchovo aktívne látky (stabilizačná a napeňovacia prísada). Polystyrén sa vzhľadom na cementový tmel dávkoval v pomere 1:1, 1:2 a 1:3. Sledovali sa mechanické a tepelno-technické vlastnosti. Dôraz sa kládol aj na súdržnosť kontaktnej plochy medzi granulami a tmelom.



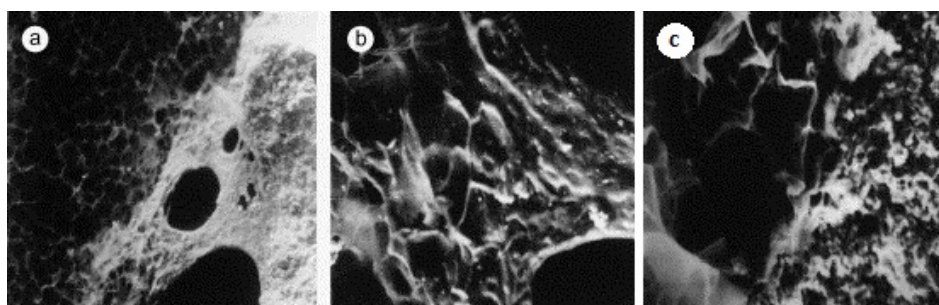
Obr. 7. Štruktúra zŕn polystyrénu získaná pomocou elektrónového mikroskopu (x 120)

a) hrubé zrná 5 – 10 mm, b) drť frakcie 2,5/10 mm, c) jemné zrná max 5mm

Zdroj: Laukaitis et al. (2005)

Objemová hmotnosť betónu sa priamo úmerne znižovala so zvyšujúcim obsahom polystyrénu. Najnižšiu hodnotu objemovej hmotnosti dosiahol betón s pomerom zložiek 1:3. Súčiniteľ tepelnej vodivosti i pevnosť v tlaku závisia od druhu použitých zŕn a od celkovej objemovej hmotnosti kompozitu. Najnižší súčiniteľ tepelnej vodivosti 0,06 W/m.K dosiahla zmes s pomerom drobných zŕn polystyrénu 1:3.

Z obrázkov elektrónového mikroskopu možno identifikovať faktory ovplyvňujúce rozpad cementového tmelu a plniva. Ak betón tvoria hrubé zrná polystyrénu, pri pôsobení tlaku dochádza k ich porušeniu, zatiaľ čo vrstva spojiva pokrývajúca povrch zŕn zostáva neporušená (obr. 8a, 8b). Pri použití polystyrénovej drti k jej porušeniu nedochádza z dôvodu silnej súdržnosti medzi povrchom drti a tmelom (obr. 8c). Správanie jemných častíc polystyrénu počas zaťažovania je odlišné v porovnaní s hrubými zrnami. Spôsobuje to špecifická štruktúra častíc vytvorená z malých „zlúčených bubliniek“ (obr. 7c), do ktorých nemôže preniknúť cementový tmel. Výsledkom je podstatne nižšia súdržnosť jemných častíc a cementového tmelu.



Obr. 8. Mikroštruktúra kontaktnej plochy: a) hrubé zrná (x 30), b) cementový tmel (x 120), c) polystyrénová drť na ľavej strane, vpravo cementový tmel (x 120)
Zdroj: Laukaitis et al. (2005)

Kan et al. (2009) nahradili prírodné kamenivo EPS recyklátom frakcie 0/4 mm a 4/16 mm v množstve 0 %, 25 %, 50 %, 75 % a 100 % z objemu kameniva. Skúšali rôzne variácie s prírodným a odpadovým kamenivom (tab. 1). Výsledky preukázali veľmi dobrú spracovateľnosť. Z dôvodu minimalizovania segregácie betónu je nutné dbať na správny spôsob miešania, dávkovania a zhutňovania čerstvého betónu. Na zabezpečenie lepšieho zhutňovania je nutné aplikovať plastifikačné prísady. Pevnosť betónu sa zvyšovala s rastúcim podielom prírodného kameniva a bola priamo úmerná hustote betónu. Pohybovala sa v rozmedzí od 12,58 MPa do 23,34 MPa, čo spĺňa požiadavky na konštrukčno-izolačný ľahký betón.

Označenie zmesi	Dávka odpadového kameniva [%]		Dávka prírodného kameniva [%]	
	Drobné	Hrubé	Drobné	Hrubé
C1	50	50	0	0
C2	25	50	25	0
C3	0	50	50	0

C4	50	0	0	50
C5	25	25	25	25
C6	25	0	25	50

Tab.1 - Dávka kameniva v skúšobnom betóne

Zdroj: Kan et al. 2009

Ďalším z plastových odpadov, ktorého objem sa neustále zvyšuje, je tvrdá polyuretánová pena. Momentálne existuje viacero výsledkov experimentálnych výskumov zaoberajúcich sa problematikou využitia drvenej PUR peny ako plniva do stavebných látok (Gutiérrez-González et al. 2012, Fraj et al. 2010, Nabajyoti a Drito 2012). Gadea et al. (2010) experimentovali so zložením cementovej malty. Jemné kamenivo nahradili v rôznom percentuálnom obsahu (0 %, 25 %, 50 %, 75 % a 100 %) odpadovou penou frakcie 0/4 mm. Sledovali vlastnosti čerstvej i zatvrdnutej malty pri rôznej dávke vody a plniva, t.j. objemovú hmotnosť, pevnostné a tepelno-technické charakteristiky, obsah vzduchu. Výsledky preukázali, že narastajúce množstvo polyuretánu v malte spôsobuje zvýšenie priepustnosti a obsahu vzduchu, zlepšenie spracovateľnosti, ale zníženie objemovej hmotnosti i mechanických vlastností. Problematiku riešia aj mnohí českí výskumníci (Dvorský et al. 2012, Šťastný et al. 2012).

Daxner a Václavík (2009, 2010a) použili na základe výsledkov svojich experimentov tepelnoizolačné omietky na báze odpadovej polyuretánovej peny, ktoré úspešne aplikovali aj v stavebnej praxi. Spoločnosť D&DAXNER Technology, s.r.o. od roku 2009 vyrába suché tepelnoizolačné polyuretánové omietky a momentálne sa špecializuje na ľahký betón na báze polyuretánu (transport, prefa - polyuretánbetón, prípadne suchá hotová zmes) (Daxner a Václavík, 2010b). Tento nový stavebný materiál sa vyznačuje hlavne tým, že:

- uzatvára vzduch v drvenom polyuretáne, ktorý tak v hmote udržiava väčšie množstvo tepla, tzn. znižuje tepelnú vodivosť materiálu,
- má nízku objemovú hmotnosť,
- do hodnoty vodného súčiniteľa 1,2 nedochádza k segregácii jednotlivých zložiek zmesi.

Na dosiahnutie vyhovujúcich pevnostných parametrov týchto betónov je potrebné, aby mala polyuretánová drvina stanovenú požadovanú čiaru zrnitosti. Pevnosť je tým väčšia, čím je väčší počet frakcií polyuretánu ako plniva. Ten sa v súčasnosti dodáva vo frakciách 0/4, 4/8, 8/16 a 16/32 mm.

Polyuretán svojimi vlastnosťami predstavuje plnohodnotnú náhradu ľahkých plnív na báze expandovaných vulkanických skiel a recyklovaného polystyrénu. Nakoľko polyuretánbetóny dosahujú nízke pevnosti, z tohto hľadiska nemôžu konkurovať bežným betónom. Využitie môžu byť v monolitických konštrukciách alebo ako výplňový materiál pre vodorovné konštrukcie striech, v podlahách alebo stropných konštrukciách. Ich použitím sa výrazne zníži celková objemová hmotnosť konštrukcie a zlepšia sa akustické a tepelnoizolačné vlastnosti.

Záver

História vývoja ľahkých betónov siaha až do obdobia Rímskej ríše. Postupné zdokonaľovanie

technológie výroby i samotného strojno-technického vybavenia doviedlo ľahký betón do dnešnej podoby. V posledných rokoch sa z dôvodu narastajúcej produkcie plastového odpadu čoraz viac uvažuje s jeho začlenením do stavebnej výroby. Odborníci na stavebné materiály hľadajú rôzne spôsoby ako využiť takto vyprodukovaný odpad. Táto snaha by sa mohla odzrkadliť v ekonomike a hlavne v oblasti ochrany životného prostredia.

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
Ing. Zuzana Štefunková, PhD.

Použitá literatúra

Knižné publikácie

1. BAJZA, A. a I. ROUSEKOVÁ, 2006. *Technológia betónu*. Bratislava: Jaga group, s. r. o., ISBN 80-8076-032-2.
2. BALKOVIC, S. a K. HANEČKA, 2006. *Pórobetón*, Bratislava.
3. BUILDING RESEARCH INSTITUTE, 1961. *Structural foams*. Washington, D.C. 61-60247.
4. CHANDRA, S. a L. BERNTSSON, 2002. *Lightweight aggregate concrete. Science, Technology, and Applications*. Noyes Publications, ISBN 0-8155-1486-7.
5. ESCSI - Expanded Shale, Clay and Slate Institute. *Lightweight concrete, 1971. History-Application-Economics*. [online] [cit. 8. 1. 2015].
Dostupné z :
http://www.escsi.org/uploadedFiles/Technical_Docs/General_Information/7600.1%20Lightweight%20Aggregate%20History.pdf.
6. SVOBODA, L. et al., 2004. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga group, s. r. o. ISBN 80-8076-007-1.
7. SVOBODA, L. et al., 2013. *Stavební hmoty*. [online] [cit. 20. 1. 2015] Dostupné z:
<http://people.fsv.cvut.cz/~svobodas/sh/SH3v1.pdf>. ISBN 978-80-260-4972-2.

Články v časopise

8. ASAAD, J. N. a S. Y. TAWFIK, 2011. Polymeric composites based on polystyrene and cement dust wastes. In: *Materials and Design*. Vol. 32, pp. 5113 – 5119.
9. BATAYNEH, M., MARIE, I. a I. ASI, 2007. Use of selected waste materials in concrete mixes. In: *Waste Management*. Vol. 27, No. 12, pp. 1870 – 1876.
10. DAXNER, J. a V. VÁCLAVÍK, 2010b. Nové plnivo do ľahkých betonů na bázi polyuretanu. In: *Stavební noviny*. [online] [cit. 10. 2. 2015.]. Dostupné z:
<http://tvstav.cz/clanek/394-nove-plnivo-do-lehkych-betonu-na-bazi-polyuretanu>.
11. FERRÁNDIZ-MAS, A., BOND, T., GARCÍA - ALCOCEL, E. a C. R. CHEESEMÁN, 2014. Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 61, pp. 285 - 292.
12. FRAJ, A. B., KISMI, M. a P. MOUNANGA, 2010. Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 24, No. 6, pp. 1069 – 1077, ISSN 0950-0618.
13. GADEA, J., RODRÍGUEZ, A., CAMPOS, P. L., GARABITO, J. a V. CALDERÓN, 2010. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. In: *Cement & Concrete Composites*. Vol. 32, pp. 672 – 677.
14. GANJIAN, E., KHORAMI, M. a A. A. MAGHSOUDI, 2009. Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 23, No. 5, pp. 1828 – 1836.
15. GHERNOUTI, Y., RABEHI, B., SAF, B. a R. CHAID, 2014. Use of Recycled Plastics Bag Waste in the Concrete. In: *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*. Vol. 8, pp. 480 – 487, ISSN 1314-7269.

16. GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, S., GADEA, J., RODRÍGUEZ, A., JUNCO, C. a V. CALDERÓN, 2012. Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 28, pp. 653 – 658.
17. CHILDIAC, S. E. a S. N. MIHALJEVIC, 2011. Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates. In: *Cement and Concrete Composites*. Vol. 33, No. 8, pp. 855 – 863.
18. CHOI YW, MOON DJ, CHUNG JS & CHO SK, 2005. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. In: *Cement and Concrete Research*. Vol. 35, No. 4, pp. 776 – 781, ISSN 0008-8846
19. KAN, A. a R. DEMIRBOGA, 2009. A novel material for lightweight concrete production. In: *Cement & Concrete Composites*. Vol. 31, pp. 489 – 495.
20. KOU, S. C., LEE, G., POON, C. S. a W. L. LAI, 2009. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. In: *Waste Management*. Vol. 29, No. 2, pp. 621 – 628.
21. LAKSHMI, R. a S. NAGAN, 2010. Studies on Concrete containing E plastic waste. In: *International Journal of Environmental Sciences*. Vol. 1, No. 3, pp. 270 – 281, ISSN 0976-4402.
22. LAUKAITIS, A., ZURAUSKAS, R. a J. KERIEN, 2005. The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. In: *Cement & Concrete Composites*. Vol. 27, pp. 41 – 47.
23. LI, L., RUAN, S. a L. ZENG, 2014. Mechanical properties and constitutive equations of concrete containing a low volume of tire rubber particles. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 70, pp. 291 – 308.
24. NABAJYOTI, S. a J. DRITO, 2012. Use of plastics waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 12, pp. 385 – 401, ISSN 0950-061.
25. PAULÍK, P. 2014. História betónu. In: *Mladý vedec*, Vol. 23, pp. 26-28, ISSN 1337-5873.
26. PELLISSE, F., ZAVARISE, N., LONGO, T. A. a A. M. BERNARDIN, 2011. Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. In: *Journal of Cleaner Production*. Vol. 19, No. 6 - 7, pp. 757 – 763.
27. REBEIZ, K.S. 2007. Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET. In: *Cement and Concrete Composites*. Vol. 17, pp. 603 – 608.
28. REMADNIA, A., DHEILLY, R. M., LAIDOUDI, B. a M. QUÉNEUDEDEC, 2009. Use of animal proteins as foaming agent in cementitious concrete composites manufactured with recycled PET aggregates. In: *Construction and Building Materials*. Vol. 23, No. 10, pp. 3118 – 3123.
29. Superbuild. *History - Autoclaved Aerated Concrete*. [online] [cit. 25. 1. 2015]. Dostupné z: http://www.superbuild.co.nz/about/history_AAC.html.
30. TZB portal. *Plastový odpad z elektronického šrotu ako plnivo do betónu*. [online] [cit. 1. 2. 2015]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/beton-betonarky/plastovy-odpad-z-elektronickeho-srotu-ako-plnivo-do-betonu.html>.
31. VÁCLAVÍK, V. a J. DAXNER, 2010a. Plnivo na bázi polyuretanové pěny do izolačních malt a lehkých betonů. In: *Stavebnictví*, č. 9, s. 38 - 44. ISSN 1802 – 2030.
32. YAZOGLI MARZOUK, O., DHEILLY, R.M. a M. QUÉNEUDEDEC, 2007. Valorization of postconsumer waste plastic in cementitious concrete composite. In: *Waste Management*. Vol. 27, No. 2, pp. 1870 - 1876

Články (kapitoly) z knižnej publikácie

33. DVORSKÝ, T., ŠTASTNÝ, M. a P. ŠILAROVÁ, 2012. Nové plnivo do lehkých betonů. In: *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*, Roč. 2, s. 69 - 76, ISSN 12-13-1962.
34. HELLERS, B. G. a B. R. SCHMIDT, 2011. Autoclaved aerated concrete (AAC) – the story of a low-weight material. In: *5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete: “Securing a sustainable future” to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland*. Bydgoszcz: University of Technology and Life Sciences Press, pp. 63 – 71.
35. KIVRAK, S., TUNCAN, M., ONUR, M. I. a G. ARSLAN, 2006. An Economic Perspective of Advantages of Using Lightweight Concrete. In: *Construction 31st Conference on our World in Concrete & Structure*. 16-17 August 2006.

36. NOSEK, K. a S. UNČÍK, 2012. Možnost využití odpadního gumového granulátu při výrobě samonivelačního cementového potěru. In: *RECYCLING 2012 "Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"*. VUT Brno, s. 165 – 170, ISBN 978-80-214-4432-4.
37. ŠŤASTNÝ, M. et al. 2012. Plnivo na bázi polyuretanové pěny do lehkých betonů. In: *RECYCLING 2012 "Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"*. Brno, s. 151 – 158, ISBN 978-80-214-4432-4.
38. VÁCLAVÍK, V. a J. DAXNER, 2009. Aplikace polyuretanových recyklátu v tepelně izolačních omítkových směsích. In: *RECYCLING 2009 „Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin“*. VUT Brno, s. 16 – 21, ISBN 978-80-214-3842-2.

Iné

39. FAJKUS, P. 2006. Odborné prednášky z predmetu Ľahké betóny, STU
40. LIAPOR. Výroba kameniva Liapor. [online] [cit. 17. 1. 2015]. Dostupné z:
<http://www.liapor.cz/cz/vyroba-kameniva-liapor>