

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

BJ56 – VYBRANÉ STATĚ Z TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT

STUDIJNÍ TEXT PRO CVIČENÍ

Jiří Bydžovský, Tomáš Melichar, Lenka Bodnárová, Vít Černý, Šárka Keprdová, David Procházka

BRNO 2011

Abstrakt

Tento podpůrný studijní text slouží především studentům bakalářského studia v prezenční formě k objasnění některých základních pojmů a souvislostí v oblasti rozšířené problematiky stavebních hmot v rámci předmětu BJ56 – Vybrané statě z technologie stavebních hmot. Důraz je kladen zejména na odpady a vedlejší energetické produkty potažmo druhotné suroviny. V současné době představuje mnoho z výše uvedených potenciální alternativní zdroj pro výrobu stavebních hmot a dílců, kdy lze shledat výhodu především z ekologického a ekonomického hlediska. Z anorganických druhotných surovin a vedlejších energetických produktů lze zmínit např. popílky, strusky, recyklované sklo, slévárenský písek. Typickým zástupcem rychleobnovitelných organických surovin je např. konopí. S ohledem na uvažované alternativní suroviny je také nutné se zabývat vhodnou technologií, a tím i daným finálním výrobkem či materiálem. Obecně však platí, že lze využít danou surovinu pro více účelů (např. popílky pro výrobu betonu, cementu, lehkého kameniva, keramiky, stmelených směsí).

OBSAH:

ÚVOD	4
1 PŘÍMĚSI II DRUHU V CEMENTOVÝCH KOMPOZITECH	5
2 ZRNITÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU STAVEBNÍCH HMOT	8
3 CEMENTOVÉ KOMPOZITY S OBSAHEM VLÁKEN	11
3.1 Betony a malty s vláknovou výztuží - vláknobetony	11
3.1.2 Použití vláknové výztuže pro zabránění vzniku smršťovacích trhlin	12
3.1.3 Použití vláknové výztuže pro zvýšení pevnosti betonu (zejména vlákna kovová)	12
3.1.4 Zvýšení odolnosti vůči působení vysokých teplot (pro zamezení explozivního odprýskávání betonu)	13
4 SILIKÁTOVÉ PÁLENÉ VÝROBKY	14
5 CEMENTOVÉ KOMPOZITY S ORGANICKÝMI VÝPLNĚMI	17
6 SINTROVANÉ SKLO.....	21
7 PĚNOVÉ SKLO.....	24
8 LEHKÉ KAMENIVO VYRÁBĚNÉ SAMOVÝPALEM.....	27
9 TĚŽKÉ A LEHKÉ KAMENIVO V CEMENTOVÝCH KOMPOZITECH	30
ZÁVĚR	32
POUŽITÉ ZDROJE.....	33

ÚVOD

S ohledem na aktuální globální ekonomickou a environmentální situaci je běžné v mnoha průmyslových odvětvích využívat alternativních surovinových či energetických zdrojů. Výroba stavebních hmot není v tomto ohledu žádnou výjimkou, ba naopak vzhledem k „velkotonážní“ produkci nejrůznějších typů materiálů (především na silikátové bázi) je stále třeba postupovat kupředu a hledat nové alternativy a varianty.

V několika posledních dekadách minulého století nastal ve stavebnictví dynamický rozvoj v oblasti využívání odpadů ve formě druhotných surovin. Důležitou roli v této problematice zaujímá recyklační proces, jehož výstupem jsou v podstatě druhotné suroviny, které jsou v mnoha případech považovány za plnohodnotné suroviny a nejen ve stavební praxi nalézají hojně uplatnění. Významným kritériem využití druhotných surovin při výrobě nejen stavebních hmot je schopnost jejich uplatnění v matici nového materiálu, buď jako součásti této matrice (tj. materiál, který se vyznačuje vlastnostmi obdobnými jako konkrétní matrice) či pouze jako plniva (prakticky inertní látky). Rovněž je nutné též zmínit legislativní aspekty, které se také podílejí výrazně na nakládání s odpady a druhotnými surovinami. Typickým příkladem využití těchto surovin je aplikace vysokoteplotních popílků v cementových kompozitech, vysokopecní strusky např. při výrobě betonu, popř. energosádrovce či chemosádrovce pro výrobu sádrového pojiva. Zmíněné suroviny jsou také známy pod názvem tzv. vedlejších energetických produktů. Specifickou, avšak ne neznámou, oblast dnes představují i nejrůznější druhy rychleobnovitelných surovin, kde probíhá stále intenzivní výzkum v nejrůznějších směrech. Za zmínku rovněž stojí i různé druhy recyklovaného skla. Pravděpodobně nejnámějším typem skloviny v souvislosti s recyklací jsou číré a barevné obalové lahve a nádoby, dále se pak jedná např. o klasické ploché sklo pocházející většinou z demolic staveb, popř. z vraků automobilů. Některé typy recyklovaného skla však nejsou pro sklárny lukrativní vůbec. Za zmínku stojí elektrotechnické výrobky, které vyčerpaly již svou životnost, tj. zářivky, reflektory, lampy, světlomety (z automobilů) atd. Značný objem odpadu skla vzniká též z demontáží již neupotřebitelných televizorů a monitorů. I přesto, že jsou zpracovávány značné objemy odpadů, nezanedbatelné množství stále končí na skládkách bez dalšího využití.

1 PŘÍMĚSI II DRUHU V CEMENTOVÝCH KOMPOZITECH

Cementové kompozity jsou v průmyslu stavebních hmot beze sporu jedním z nejrozšířenějších materiálů. Typickým zástupcem je beton. Nejen pro výrobu betonu, ale i jiných kompozitních materiálů na bázi cementové matrice jsou využívány nejrůznější druhy příměsí. Dle ČSN EN 206-1 je příměs definována jako práškovitý materiál, který se přidává do betonu za účelem zlepšení určitých vlastností nebo k docílení speciálních vlastností betonu. Z hlediska uplatnění těchto příměsí v cementové matici výše uvedená norma rozeznává dva typy anorganických příměsí:

- téměř inertní příměsi (druh I);
- pucolány nebo latentní hydraulické příměsi (druh II).

Pro příměsi druhu II je charakteristická pucolánová aktivita nebo latentní hydraulická. Pucolány jsou dle ČSN EN 197-1 přírodní látky křemičité nebo křemičito-hlinité popřípadě kombinace obou variant. Pucolány po smíchání s vodou samy netvrdnou, avšak jsou-li jemně semlety, reagují v přítomnosti vody za normální teploty s rozpuštěným hydroxidem vápenatým – Ca(OH)_2 a tvoří sloučeniny křemičitanů vápenatých a hlinitanů vápenatých, které jsou nositeli narůstajících pevností. Tyto sloučeniny jsou podobné těm, které vznikají při tvrdnutí hydraulických látek. Pucolány obsahují zejména aktivní oxid křemičitý – SiO_2 a oxid hlinitý – Al_2O_3 . Obsah aktivního oxidu křemičitého musí být nejméně 25 % hmotnostních. V případě pucolánů jsou také rozlišovány dva typy:

- přírodní pucolán – obvykle látky vulkanického původu nebo sedimentární horniny vhodného chemického a mineralogického složení;
- přírodní kalcinované pucolány – látky vulkanického původu, tj. hlíny, břidlice nebo sedimentované horniny, aktivované tepelnou úpravou.

Latentní hydraulická je schopnost látky reakcí s Ca(OH)_2 za normální teploty ve vodném prostředí tvrdnout. Rozdíl v pucolanitě a latentní hydraulicitě je dán přítomností různých typů sloučenin resp. minerálů, kdy latentně hydraulické látky jsou schopny po smíchání s vodou tuhnut a tvrdnout bez dalších aditiv. V důsledcích jsou však tyto vlastnosti totožné.

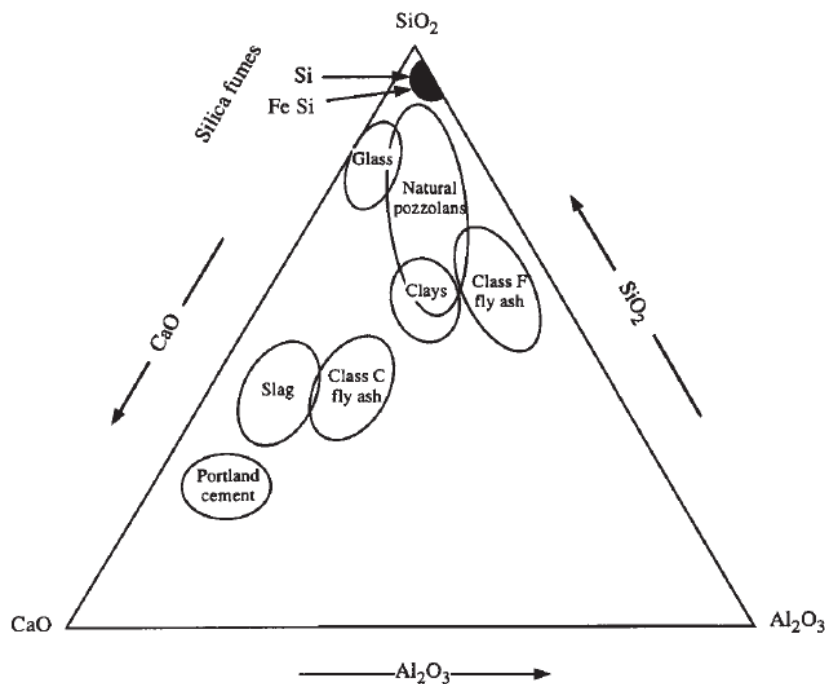
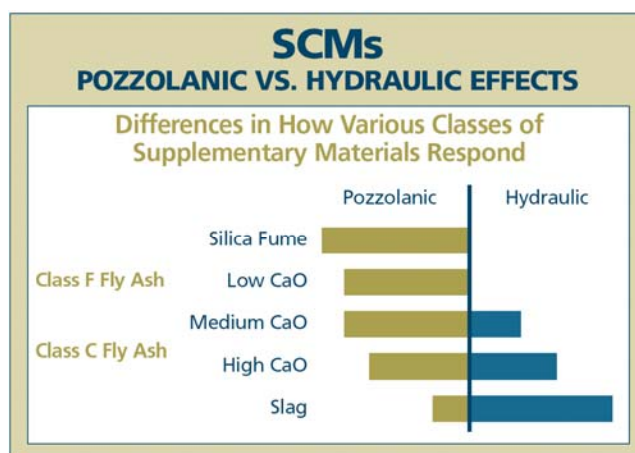
Diference ve složení (a tedy i předpokladů) latentně hydraulických a pucolánových příměsí jsou patrné z následujícího obrázku (viz. *Obr. 1.2*), kde je uveden ternární diagram soustavy $\text{SiO}_2\text{--CaO--Al}_2\text{O}_3$. Z uvedeného diagramu je patrné zastoupení a poměr jednotlivých složek podstatných pro průběh hydratačních reakcí. Velmi zjednodušeně lze tvrdit, že dle *Obr. 1.2* představuje hranici mezi latentně hydraulickou a pucolánovou látkou obsah CaO . Kdy pucolány zpravidla obsahují vyšší množství SiO_2 . Ovšem aktivní SiO_2 musí být obsaženo v obou typech látek.

Minerální příměsi, které se vyznačují buď latentní hydraulicitou nebo pucolánovou aktivitou jsou také označovány jako SCM (Supplementary Cementitious Materials) a některé druhy současně vyráběného betonu si již nelze představit bez použití těchto SCM. Důvodem je docílení specifických parametrů betonu, které se uplatní např. při výstavbě výškových budov, mostů, podzemních staveb, vrtných plošin v mořích a oceánech atd.

Následující tabulka (viz. *Tab. 1.1*) uvádí kritéria obsahu resp. poměru CaO a SiO_2 proto, aby se daná látka vyznačovala určitým typem reaktivity (v souvislosti s hydratačními reakcemi).

Tab. 1.1 : Poměr CaO a SiO₂ v jednotlivých typech příměsí [1]

Typ příměsí dle vlastnosti	Poměr CaO/SiO ₂
Hydraulická	> 2
Latentně hydraulická	1 – 1,5
Pucolánová	< 0,5

Obr. 1.2 : Ternární diagram soustavy SiO₂-CaO-Al₂O₃ (Silica fumes – silika, Glass – sklo, Natural pozzolans – přírodní pucolány, Clays – jíly, Class F fly ash – popílek s nízkým obsahem CaO, Class C fly ash – popílek s vysokým obsahem CaO, Slag – struska, Portland cement – portlandský cement) [2]

Obr. 1.3 : Grafické znázornění pucolánových a hydraulických (resp. latentně hydraulických) vlastností vybraných příměsí (překlad – viz. předchozí obrázek, tj. Obr. 1.2) [3]

Jak je patrné z výše uvedeného obrázku, pro některé typy příměsí jsou charakteristické jak pucolánové tak hydraulické vlastnosti, což je příznačné zejména pro popílek s vysokým obsahem CaO.

Pro stanovení pucolánové aktivity lze použít např. Chapelle test. Jedná se o zkoušku, která vychází z francouzské podnikové normy používané pro výrobu metakaolinů. Metoda Chapelle test slouží pro určení relativní schopnosti pucolánů absorbovat Ca(OH)_2 . Jedná se o reakci vlastního pucolánu s přesně definovaným množstvím Ca(OH)_2 po dobu 16 hodin. Reakce probíhají za zvýšené teploty, a výsledek zkoušky je uváděn jako množství Ca(OH)_2 absorbované 1 g pucolánového materiálu. Následující tabulka (viz. Tab. 1.2) uvádí příklady vybraných aktivních příměsí a porovnání jejich pucolánové aktivity.

Tab. 1.2 : Porovnání pucolánové aktivity (Chapelle test) vybraných typů příměsí [4]

Příměs	Měrný povrch [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$]	Objemová hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	Míra pucolánové aktivity mg Ca(OH)_2 [g^{-1}]
Mikrosilika Norsko	22000	2800	278
Mikrosilika Chryso	23000	2100	429
Mikrosilika AVAS	27000	2150	999
Mikrosilika Degussa	23000	2170	337
Metakaolin	25000	2430	921
Odprašky Mokrá	220	3000	0
Popílek Dětm. rovice	254	2340	278
Popílek Dětm. mletý	391	2340	329
Popílek Chval. etice	287	2250	344
Popílek Chval. mletý	439	2250	703
Recyklované sklo mleté (čiré obalové)	2530	2400	342

Nepřímo lze pak vliv aktivních příměsí v cementových kompozitech posoudit např. pomocí tzv. indexů účinnosti, kdy se jedná o přípravu maltových směsí se substituovaným pojivem právě vybraným typem příměsí a v normovém stáří jsou sledovány základní fyzikálně mechanické charakteristiky. Komparace probíhá s referenčními tělesy, která obsahují pouze cementové pojivo. Vzhledem k tomu, že vliv příměsí se projevuje až po delší době než je standardně (normově) uváděné stáří zkoušení, tj. 28 dní, provádí se zkoušení také v delším časovém horizontu, tj. po 90 dnech.

Vybrané související normativní dokumenty s danou problematikou:

- ČSN EN 206–1 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (včetně všech změn);
- ČSN EN 197–1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití;
- ČSN EN 450–1 Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody;
- ČSN 72 2080 Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely - Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení;
- ČSN EN 15167–1 Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody;
- ČSN EN 13263-1 Křemičitý úlet do betonu - Část 1: Definice, požadavky a kritéria shody.

2 ZRNITÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU STAVEBNÍCH HMOT

Pro výrobu stavebních hmot je používáno nesčetné množství materiálů v různých formách a skupenstvích. Zrnité materiály jsou zastoupeny snad v největším měřítku. Typickými zástupci jsou kamenivo do betonu, pórobetonu, malt, materiály pro výrobu keramických těst a střepeů, rovněž příměsi uvedené v předchozí kapitole představují významné zástupce zrnitých materiálů určených k produkci stavebních hmot. Ať už se jedná o materiály, které se podílejí na hydratačních reakcích cementových kompozitů, nebo materiály, jež jsou přetvářeny tepelným procesem, je podstatné ověření jejich původních parametrů a charakteristik. Tyto mají totiž vliv jednak na průběh výrobního procesu a dále pak také na finální parametry z nich vyrobených produktů. Typickým příkladem je kamenivo do betonu, kdy např. nevhodná skladba zrnitosti může negativně ovlivnit konzistenci, což v praxi souvisí s čerpatelností betonu a dále ukládáním do bednění obsahujícího aratury, v neposlední řadě se pak jedná o snížení pevnosti atd. Aplikací kameniva frakce 0 až 4 mm o vyšší vlhkosti do dobetonu má za následek změnu konzistence (v závislosti na množství obsažené vody a dávky do dané receptury), což se primárně projeví na pevnosti betonu. Při použití pórovitého kameniva o nevyhovující pevnosti stlačením ve válci může dojít k jeho poškození či destrukci již v míchacím zařízení při přípravě čerstvého lehkého betonu.

Mezi základní zkoušky vlastností zrnitých materiálů lze zařadit stanovení:

- vlhkosti;
- síťový rozbor – analýza zrnitosti;
- velikosti částic např. přístroji na principu laserové difrakce – analýza zrnitosti jemnozrných materiálů (viz. *Obr. 2.1*);
- sypané hmotnosti ve volně sypaném a setřeseném stavu;
- objemové hmotnosti;
- měrné hmotnosti;
- pevnosti stlačením ve válci;
- aj.



Obr. 2.1 : Přístroj pro stanovení velikosti a distribuce částic menších než 2 mm – Malvern Mastersizer 2000E System EPA5011

S ohledem na současnou situaci odpadového hospodářství, a s tím souvisejícího množství produkovaných druhotných surovin a vedlejších produktů, které nalézají širokého uplatnění nejen při výrobě stavebních hmot, představují významné zástupce zrnitých materiálů i nejrozličnější druhy recyklátů. Lze zmínit např. recyklované sklo, které nalézá uplatnění v mnoha stavebních prvcích. Jedná se kupř. o sintrované sklo, pěnové sklo, umělý kámen (s pojivem na bázi pryskyřic) a vláknové tepelné izolace. Zde je rovněž nutné znát parametry těchto alternativních surovin a navíc je třeba přihlídnout k jejich zvýšené variabilitě v porovnání s primárními surovinami. Zvýšená variabilita představuje problém z hlediska dosažení konstatních parametrů finálních výrobků.



Obr. 2.2 : Pycnometrické stanovení objemové hmotnosti recyklovaného skla – pycnometr naplněný vzorkem a vodou (vpravo – detail vzorku)

Vybrané související normativní dokumenty s danou problematikou:

- ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch;
- ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu;
- ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor;
- ČSN EN 933-3 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 3: Stanovení tvaru zrn - Index plochosti;
- ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn - Tvarový index;
- ČSN EN 933-6 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 6: Posouzení povrchových charakteristik - Tekutost kameniva;
- ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 9: Posouzení jemných částic - Zkouška methylenovou modří;
- ČSN EN 933-10 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 10: Posouzení jemných částic - Zrnitost filerů (proseávání proudem vzduchu);

- ČSN EN 933-11 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 11: Klasifikace složek hrubého recyklovaného kameniva;
- ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti;
- ČSN EN 1097-7 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 7: Stanovení měrné hmotnosti fileru - Pyknometrická zkouška;
- ČSN EN 14617-1 Umělý kámen - Zkušební metody - Část 1: Stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti vodou;
- ČSN EN 1936 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti;
- ČSN EN 13139 Kamenivo pro malty;
- ČSN EN 13242+A1 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace;
- ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo - Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty;
- ČSN EN 13055-2 Pórovité kamenivo - Část 2: Pórovité kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy a pro nestmelené a stmelené aplikace;
- ČSN EN 13450 Kamenivo pro kolejové lože;
- ČSN 73 6127-4 Stavba vozovek - Prolévané vrstvy - Část 4: Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí;
- ČSN 72 1330 Jílové suroviny. Základní technické požadavky.



Obr. 2.3 : Střepy čirého obalového skla – OBC (vlevo), střepy recyklovaného barevného obalového skla – OBBj (vpravo)

3 CEMENTOVÉ KOMPOZITY S OBSAHEM VLÁKEN

Kompozitní materiály s cementovou maticí a vláknovou výztuží lze zjednodušeně rozdělit do těchto základních skupin:

- Sklovláknobeton (GFRC glass fibre reinforced concrete, beton vyztužený skleněnými vlákny v dávce až 100 kg vláken na 1 m³, u nás je známý také pod názvem sklocement, podle platných norem je označován jako sklovláknobeton).
- Vláknobeton - Betony a malty s vláknovou výztuží (nejčastěji s ocelovými, polypropylenovými a skleněnými vlákny).
- Vláknocement (dříve azbestocementová technologie nahrazena nyní vláknocementovou technologií bezazbestovou, pro výrobu střešní krytiny, obkladových fasádních prvků).
- Dřevocementové kompozitní materiály.

3.1 Betony a malty s vláknovou výztuží - vláknobeton

Vláknobeton je kompozitní materiál vytvořený spojením betonové matrice a krátké výztuže dispergované v matici, přitom vláknitá složka zaujímá pouze malou část objemu.

Prostý beton se vyznačuje poměrně vysokou pevností v tlaku, křehkostí, malou pevností v tahu za ohybu a malou pevností ve smyku. Rozptýlená výztuž zachycuje převážně tahová namáhání a brání vzniku mikrotrhlin od smršťování a rozvoji tahových trhlin v konstrukci. Přidáním vláknové výztuže můžeme vyztužit betonovou matici v celém objemu, na rozdíl od použití klasické výztuže ocelovými pruty. Vyztužení betonu vlákny (nejčastěji kovovými, skleněnými, polymerními) může výrazně ovlivnit vlastnosti betonu, přitom ale vyztužení vlákny nemá za úkol nahradit klasické vyztužení tyčovou ocelí.

Účelem rozptýlené výztuže je dosáhnout omezení vzniku smršťovacích trhlin, zvýšení lomové a rázové houževnatosti, zvýšení odolnosti vůči dynamickému namáhání, zvýšení odolnosti vůči působení vysokých teplot – zabránění explozivnímu odprýskávání betonu, snížení obrusnosti a případně další speciální vlastnosti.

Jako vláknovou výztuž do betonu lze použít celou řadu vláken – vlákna ocelová, skleněná, polypropylenová, uhlíková, celulózová, polyamidová, polyetylenová, polyvinylalkoholová, aramidová, nylonová, a další.

Dle toho, co je očekáváno od použité výztuže, volí se typ a materiál vláken. Vlastnosti vláken užívaných jako rozptýlená výztuž do betonu jsou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 3.1).

Tab. 3.1 : Vlákna používaná jako rozptýlená výztuž do betonu

Vlákna	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Mezní protažení [%]	Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]
Azbestová	550-960	82-138	0,6	3200
Celulózová	400-620	6,9	10-25	1500
Ocelová	270-2700	200	0,5-35	7800
Polyethylenová	÷ 690	0,14-0,41	÷ 10	950
Polypropylenová	550-750	3,45	÷ 25	900
Polyesterová (houževnatá)	720-860	8,28	11-13	1400
Skleněná	1700 (prameny) 3500	72	2,4	2680

	(monovlákná)			
Uhlíková	÷ 2000	200-500	0,6-1,25	do 2000
Cementová matrice	3,7	10-45	0,02	2500

3.1.2 Použití vláknové výztuže pro zabránění vzniku smršťovacích trhlin

Pro omezení objemových změn cementové matrice a omezení vzniku trhlin se používají jemná vlákna organická i anorganická (polymerní a skleněná). Beton betonu je v tomto případě vyztužen vysokým počtem vláken i při malých objemových dávkách vláken (1 kg polymerních či skleněných vláken obsahuje kolem 300 milionů kusů vláken). Podle technologie výroby mohou být jemná polymerní vlákna fibrilovaná nebo monofilamentní. Vlákna monofilamentní jsou jemnější a je jich tedy ve struktuře betonu při stejné hmotnosti dávce větší počet. Monofilamentní vlákna jsou vyráběná jednotlivě a následně jsou dělená na požadovanou délku s hladkým kruhovým průřezem. Fibrilované (rozvlákněné) vlákno je vlákno vyráběné z folie a též následně dělené na požadovanou délku s hranatým průřezem a drsnějším povrchem. Z důvodu odlišného způsobu výroby mají fibrilovaná vlákna několikanásobně vyšší průřez, čímž je v hmotnostní jednotce počet vláken řádově nižší – několik milionů.

Nejpoužívanější pro zabránění vzniku smršťovacích trhlin jsou vlákna polypropylénová a skleněná. Polypropylénová vlákna mají oproti vláknům na bázi skla nižší moduly pružnosti, jejich účinnost je zejména v prvních hodinách tuhnutí a tvrdnutí betonu.

Dávkování skleněných a polymerních pro omezení vzniku smršťovacích trhlin je od 0,7 – 1,1 kg na 1m³ čerstvé směsi betonu nebo malty dle doporučení výrobce.

Při použití jemných vláken je nutné počítat, že se sníží zpracovatelnost betonu (pokles o cca 30 až 60 mm při zkoušce sednutím kužele).

3.1.3 Použití vláknové výztuže pro zvýšení pevnosti betonu (zejména vlákna kovová)

Oproti křehkému prostému betonu je beton vyztužený vlákny houževnatější. Vlákna od určitých dávek (při vyšším objemovém vyztužení betonu) ovlivňují pracovní diagram betonu. Je patrný nárůst pevnosti v tahu a mírné zvýšení pevnosti v tlaku. Vlákna umožňují betonu deformovat se a přenášet tahová namáhání při překročení pevnosti betonu i po vzniku trhlin. Mezní protažení betonu vyztuženého vlákny je větší než u prostého betonu. Pro zvýšení pevnosti betonu v tahu za ohybu, houževnatosti a rázu se používají zejména vlákna kovová.

V závislosti na doporučení výrobců konkrétních typů vláken lze vlákna použít např. pro těžce namáhané podlahy, do konstrukcí, kde vyžadujeme zvýšenou vodotěsnost a mrazuvzdornost, pro vytvoření podkladů bez trhlin pro další speciální vrstvy, do stříkaného betonu pro snížení ztrát z odpadu, do sanačních malt a omítek, při výrobě prefabrikátů, pro zvýšení nepropustnosti betonu, pro zvýšení odolnosti betonu proti ohni.

Při použití ocelových vláken jako rozptýlené výztuže do betonu lze očekávat získání těchto výhodnějších vlastností:

- vyšší pevnost v tahu, příčném tahu a tahu za ohybu
- zvýšená rázová pevnost
- odolnost proti vzniku mikrotrhlin při tuhnutí betonu.

Nejčastěji využívané délky ocelových vláken jsou 30 – 55 mm. Do vysokohodnotných betonů jsou určena speciální kovová vlákna délky cca 12 mm. Profily vláken jsou buď kruhové (průměry od 0,6 do 1,4 mm) nebo čtvercové a častěji obdélníkové. Vlákna s kruhovým profilem jsou vyráběna tažením z drátu. Následuje sekání, úprava konců nebo vylisováním vtisků pro zlepšení soudržnosti s betonem. Obdélníkové průřezy drátků jsou získávány stříháním z plechů, často jsou profilovaná vytvořením vtisků na povrchu drátků.

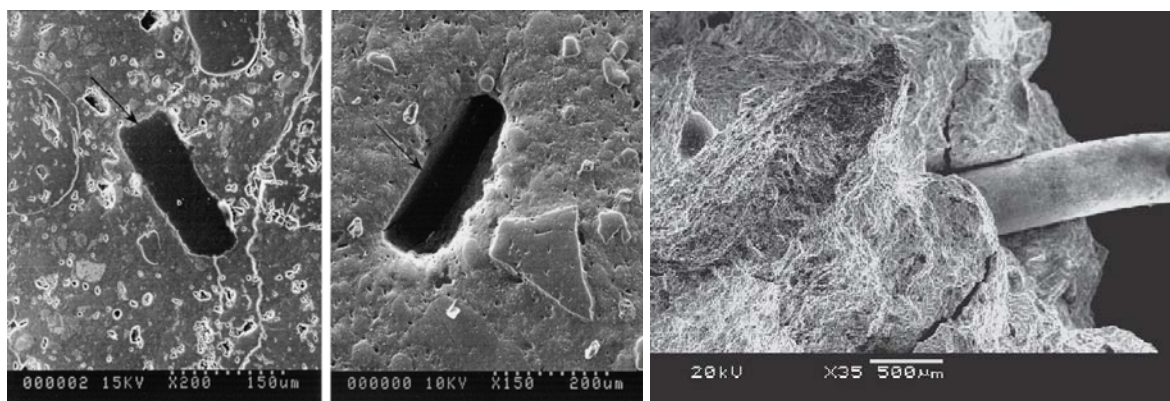
Konzistence drátkobetonů je výrazně ovlivňována jak typem drátků, tak zejména jejich hmotnostní dávkou. Při návrhu čerpatelných drátkobetonů je proto nutné v průkazných zkouškách navrhnout beton na zpracovatelnost cca 180 – 200 mm sednutí kužele, neboť přidavek drátků sníží zpracovatelnost na cca 100 až 140 mm sednutí kužele, což je vhodná zpracovatelnost pro čerpatelné betony.

3.1.4 Zvýšení odolnosti vůči působení vysokých teplot (pro zamezení explozivního odprýskávání betonu)

Pro zvýšení odolnosti betonu vůči působení vysokých teplot se nejčastěji používají vlákna polypropylenová (PP), dále přírodní vlákna (celulózová) a speciální vlákna ocelová. Při zvýšené teplotě dojde k roztavení PP vláken, čímž se uvolní prostor pro expandovanou vodní páru, která by jinak mohla při svém uvolňování z betonu způsobit trhliny.

Vybrané související normativní dokumenty s danou problematikou:

- ČSN EN 14889-1 Vlákna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda.
- ČSN EN 14889-2 Vlákna do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda.
- ČSN EN 14845-2 Zkušební metody pro vlákna do betonu - Část 2: Vliv na beton



Obr. 3.1 : Mikrostruktura příčného řezu vláknobetonu obsahujícího polymerní vlákna (vlevo – před zatížením teplotou 200 °C, uprostřed – po vystavení teplotnímu namáhání 200 °C, kde je patrné pouze zbylé „lože“ po vláknu) [5], detail struktury vláknobetonu s ocelovými vlákny po vystavení teplotě 900 °C (vpravo) [6].

4 SILIKÁTOVÉ PÁLENÉ VÝROBKY

Silikátové pálené prvky jsou ve stavebnictví poměrně rozšířené a hojně užívané. Stejně jako je tomu u jiných typů stavebních materiálů i zde existuje mnoho podskupin, jejichž parametry a charakteristiky jsou determinovány především účelem použití v daném konstrukčním celku, a s tím souvisejícími požadavky.

Významnou skupinu náležející do speciální keramiky představují žárovzdorné materiály, bez jejichž užití si lze některé technologické procesy, resp. průmyslová odvětví jen těžko představit. Především se jedná o procesy v oblasti vysokých teplot. Ve stavebnictví se lze setkat např. s vyzdívkami tavicích (vanových) pecí, rotačních pecí, s prvky v konstrukci ohřívačů větru (pro stavbu koksárenských baterií) atd. Kromě vysokých teplot musí žárovzdorné výrobky odolat kontaktu s taveninou, otěru a také agresivním plynům. Žárovzdorné výrobky jsou rozdělovány dle zpracování na tvarové a netvarové. Tvarové slouží převážně ke zdění, kdežto netvarové k opravám či vytvoření monolitických vyzdívek. Zdicí tvarové materiály se vyrábí z plastického těsta, z polosuché výrobní směsi (drolenky), anebo tavením, mohou být hutné nebo lehčené. Vlastnosti žárovzdorných výrobků, které určují jejich vhodnost pro různé tepelné agregáty, závisí především na jejich chemickém a mineralogickém složení.

Za základní rozdělení dle ČSN EN 12475 považujeme dělení žárovzdorných materiálů na prvky tvarové a výrobky netvarové. Každá z těchto skupin může být dále rozdělena na výrobky hutné a výrobky izolační. Rozdělení izolačních výrobků je v podstatě totožné jako rozdělení výrobků hutných, jedná se o materiály stejného chemického a mineralogického složení, ale pórovitost těchto materiálů je vyšší než 45 %. [7]

Pro dosažení vyšší pórovitosti jsou používána lehčiva, resp. lehčená plniva. Tato se vyznačují nízkou objemovou hmotností v rozmezí cca 400–1200 kg.m⁻³, vysokou pórovitostí a nižší pevností. Pro izolační žárobetony vystavené nižšímu tepelnému namáhání se jako lehčené plnivo používá keramzit, vermikulit nebo expandovaný perlit. Pro izolační žárobetony vystavené střednímu tepelnému namáhání se jako lehčené plnivo používá lehčený šamot, pěnošamot, lehčený kaolín a pro vyšší teploty se jako lehčiva používá kuličkového korundu. [7]

Při technologii výroby s přidavkem lehčeného plniva do směsi, která je charakteristická spíše pro přípravu žáromonolitů, ale lze se s ní setkat také u tvarových pálených materiálů jako je lehčený šamot a lehčené vysocehlinité materiály, je možné využít kromě obvyklých zdrojů surovin (expandovaný perlit, dutý kuličkový korund a duté kuličky na bázi SiO₂–Al₂O₃ atd.) i materiály získané tříděním vedlejších energetických produktů, konkrétně cenosféry. [7]

Cenosféry jsou získávány plavením z popílku. Tyto částice jsou využívány také v organických i anorganických látkách především jako:

- součást izolačních malt a izolačních prefabrikovaných prvků používaných v konstrukcích;
- součást tepelně a zvukově izolačních materiálů charakteristických svojí vysokou tepelnou odolností a odolností vůči žáru;
- plnivo v plastických materiálech.

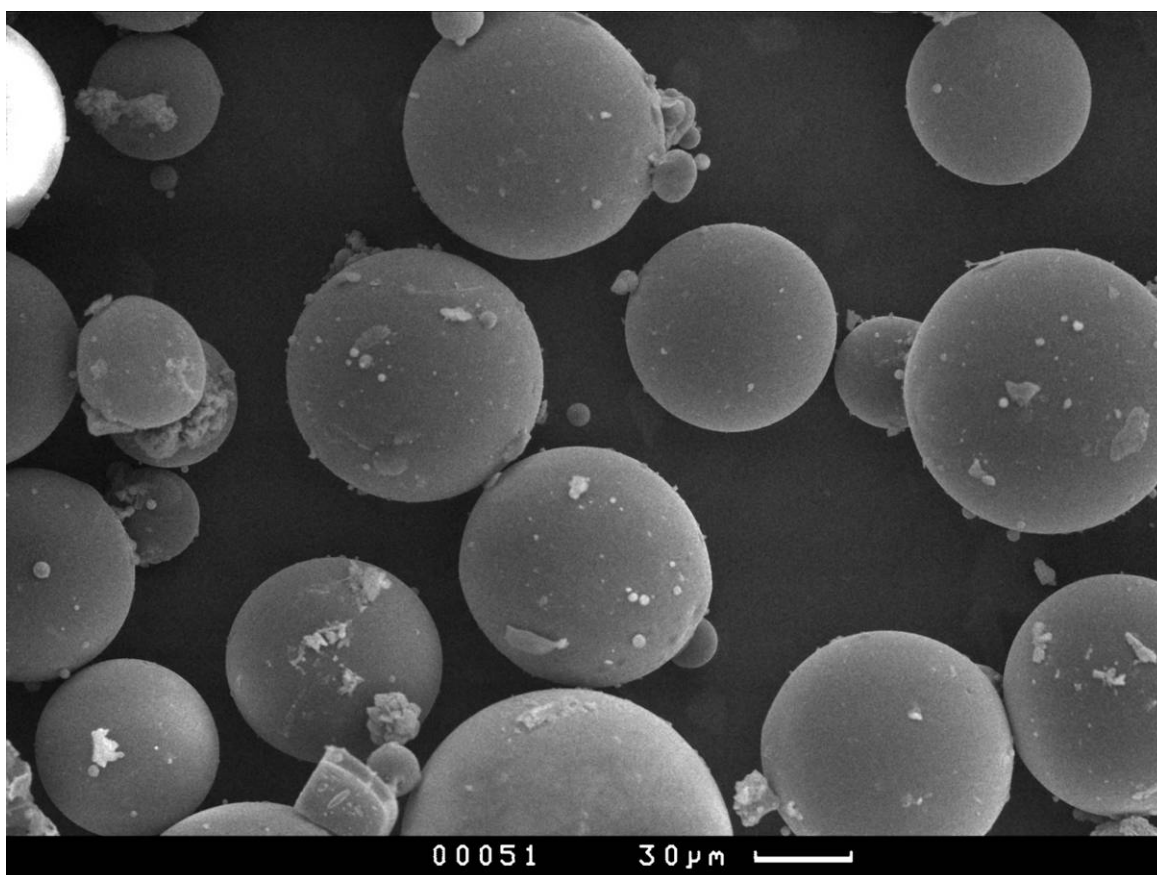
Charakteristika cenosfér je následující:

- sypký materiál;
- sférický;

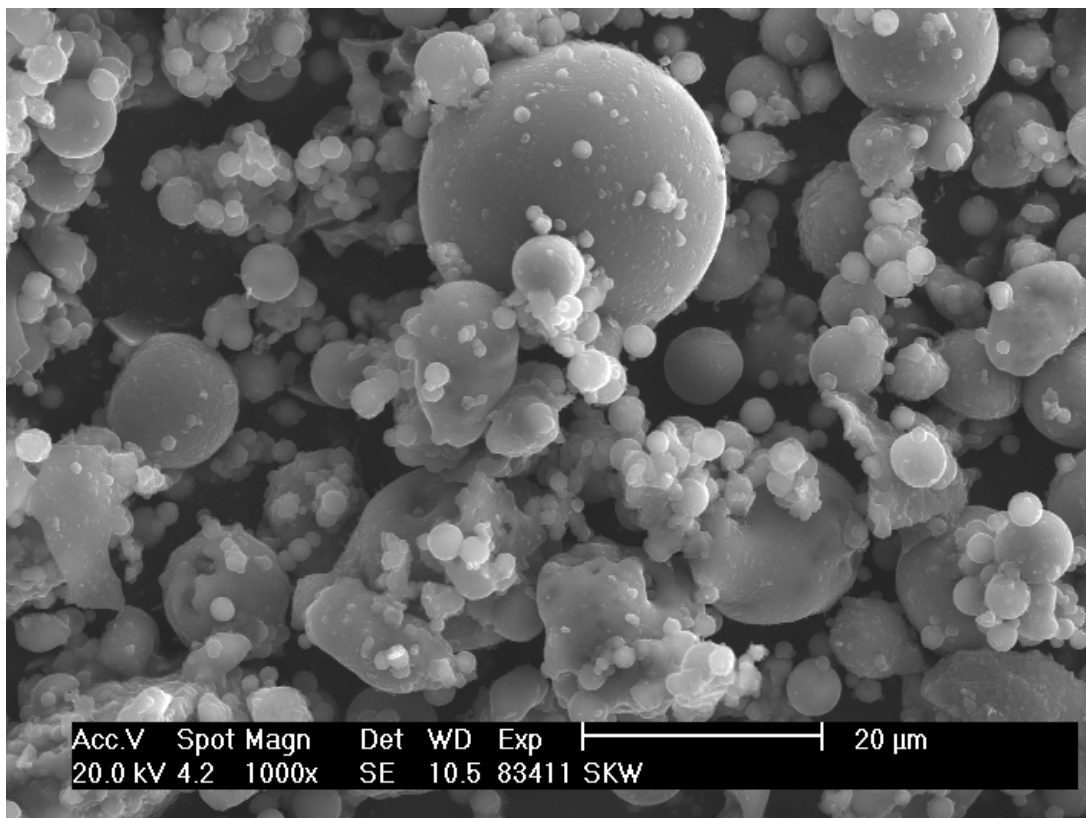
- bílé až šedé barvy;
- velikost částic 10–500 μm ;
- sypná hmotnost 0,37–0,4 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$;
- tvrdost podle Mohse 5–6;
- bod tání cca 1200–1400 $^{\circ}\text{C}$;
- pH vodného roztoku 6–8.

Tab. 4.1 : Příklad chemického složení cenosfér [8]

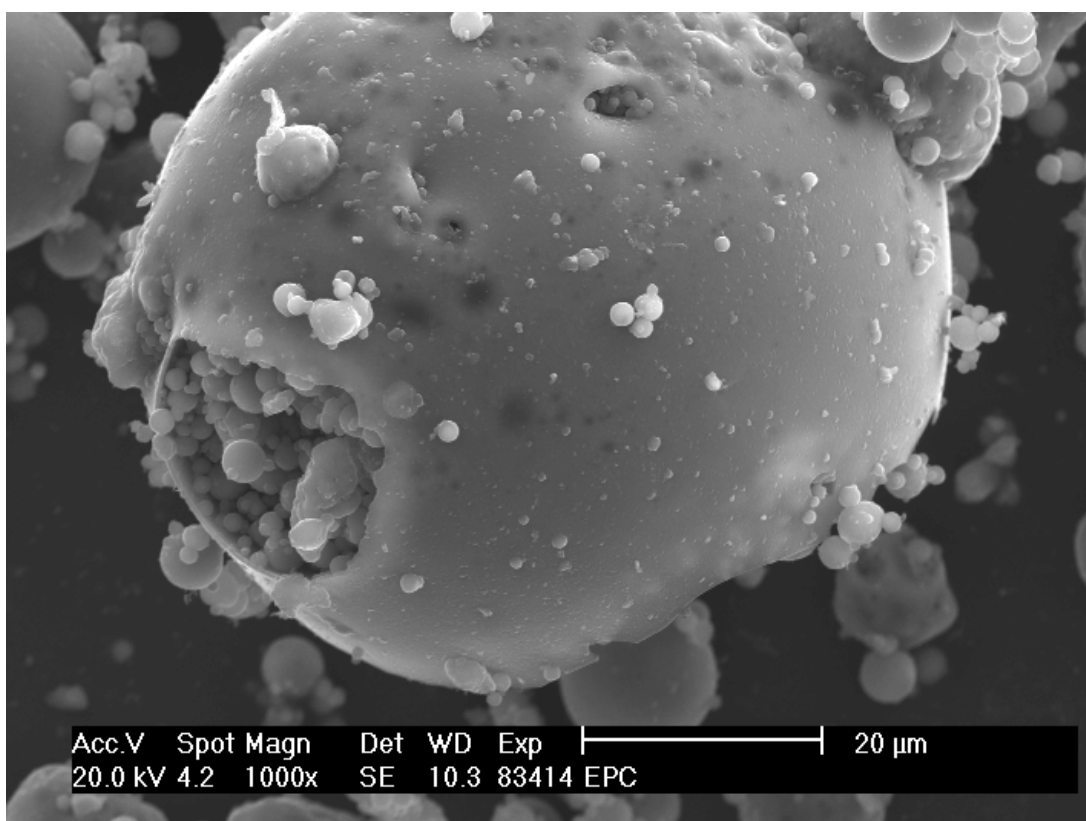
Složka	Obsah [%]
SiO_2	50–65
Al_2O_3	20–30
Fe_2O_3	1–6
CaO	0,2–0,6
MgO	1–2
K_2O	0,2–4
Na_2O	0,3–2
Ztráta žháním při 1000 $^{\circ}\text{C}$	<2
uzavřený plyn – CO_2	70
uzavřený plyn – N_2	30



Obr. 4.2 : Mikroskopický snímek cenosfér [9]



Obr. 4.3 : Mikroskopický snímek cenosfér popílku z klasického způsobu spalování



Obr. 4.4 : Mikroskopický snímek cenosfér popílku z klasického způsobu spalování

5 CEMENTOVÉ KOMPOZITY S ORGANICKÝMI VÝPLNĚMI

Používání stavebních hmot a dílců vyrobených z přírodních obnovitelných surovin naznalo výraznějšího rozmachu v posledních 30 letech. Tendence aplikace obnovitelných zdrojů plynou především z ekologických a ekonomických aspektů. Přírodními materiály z obnovitelných zdrojů jsou v tomto smyslu chápány technologicky zušlechťené organické hmoty rostlinného původu. Jednou z možností jak tyto materiály aplikovat ve stavebních materiálech je kombinace s cementovým pojivem případně dalšími příměsemi. Charakteristické jsou pro tyto materiály zejména výborné tepelně-izolační, zvukově-izolační a difuzní vlastnosti.

Snad nejznámějšími kompozitními materiály s organickou výplní jsou cemento-třískové desky. Výjimkou není ani použití slámy, rákosů či konopí. Kombinací hydraulické maltoviny a konopného pazdeří vznikají nové stavební materiály s velmi dobrými fyzikálně-mechanickými a tepelně-technickými vlastnostmi. Tyto produkty mají vynikající charakteristiky pro trvanlivé, ekologicky udržitelné stavby. Společně tyto prvky tvoří přírodní kompozitní stavební materiál, který může být použit pro vytvoření izolačních zdí, izolační vrstvy pro podlahu a střechy a vytvoření vynikajících tepelných a akustických vlastností budov.

Výplňová hmota tvořená konopným pazdeřím a hydraulickým pojivem se vyznačuje typickou pevností v tlaku v rozmezí cca 0,2–1 MPa, proto ji nelze použít v nosných konstrukcích. Aplikací sféra takto tvořené hmoty je široká, např. výplně obvodových i vnitřních zdí, výplně stropních konstrukcí či podlah. V důsledku nižších pevností v tahu nelze tento materiál použít jako nosný systém budovy, proto se zpravidla využívá v kombinaci s dřevěným nebo železobetonovým rámem. Tudíž stavební výška je dána konstrukčním systémem, nikoli materiálem výplňových hmot. V systémech z dřevěných nebo železobetonových rámců se používají tyto kompozitní materiály jako výplně zdí s izolační funkcí. Kompozity poskytují vynikající propustnost pro páru, čímž v dřevěných systémech chrání kvalitu dřeva před zhoršujícími vlivy a prodlužuje trvanlivost. Stejně jako pro výstavbu nových staveb, je tento kompozit vhodný pro renovaci a opravu starých budov z dřevěného rámového konstrukčního systému. Jedná se o životaschopné a přijatelné nahrazení místo originálních výplní zdí, podlah či střech.



Obr. 5.1 : Ukázky aplikací cemento konopných kompozitů – ukládání do bednění (vlevo), aplikace stříkáním (vpravo) [10]



Obr. 5.2 : Ukázky úpravy povrchu vnitřní stěny [10]



Obr. 5.3 : Ukázky výplně podlahové a střešní konstrukce [10]

Technické konopí (*cannabis sativa*) je jednoletá teplomilná rostlina z čeledi Cannabaceae. Je to rostlina s tenkým dlouhým, přímým, rychle dřevnatějícím a slabě rozvětveným stonkem, s dlaniť složenými zoubkovanými listy, které se rozbíhají do 3–9 úzkých výběžků o délce 7–15 cm a s malými, oválnými nažkovými plody. Hlavní stonk dosahuje délky 3–5 m a průměru 30 mm. Pěstuje se všude v mírném pásmu s výjimkou půd trvale zamokřených nebo trvale přesušených. Při zpracování je využitelná celá rostlina a nevzniká žádný odpad. Nejvyšší obsah a nejkvalitnější vlákno dávají stonky zušlechtěných odrůd, a to především stonky tenké a dlouhé, pocházející ze sklizně v období plného květu. Nové odrůdy dosahují výtěžnost vlákna na úrovni lnu.



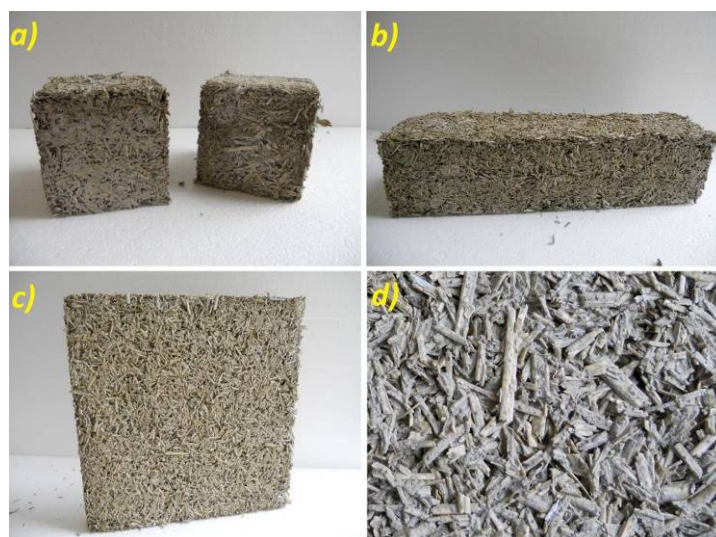
Obr. 5.4 : Konopné pazdeří. [11]



Obr. 5.5 : Konopné vlákno. [11]

Získaná vlákna jsou celulózové povahy, která se od ostatních druhů textilních vláken liší nejen anatomickou stavbou, ale i chemickým složením a mnoha fyzikálními vlastnostmi. Konopí je cenná zemědělská plodina, je vynikající alternativou dřeva pro stavební účely (od stavebního řeziva po překližku a dřevořísku), která v některých vlastnostech dřevo dokonce i předčí. Podstatné je si uvědomit, že v ČR je povoleno pěstovat výhradně konopí seté, které pro malý obsah THC (tetrahydrokanabinolů), tj. do 0,3 % není možné zneužívat jako omamnou látku (konopí indické obsahuje více než 7 % THC).

V případě použití konopí jako plniva cementových kompozitů s organickou výplní, je podstatná také úprava tohoto konopí mineralizačními látkami proto, aby nedocházelo k nežádoucím reakcím a jevům mezi maticí a plnivem. K těmto účelům je využíváno např. vodní sklo (o nižších koncentracích) a vápenné mléko.



Obr. 5.6 : Příklad zkušebních těl pro stanovení pevnosti v tlaku a), pevnosti v ohybu b), součinitele tepelné vodivosti c) a detail struktury cementového kompozitu s výplní na bázi pazdeří pocházejícího z technického konopí

Další možností využití technického konopí je výroba stěnových díků s vloženou tepelně izolační vrstvou. Tato technologie je prozatím ve stádiu výzkumu a jeví se jako výhodná z hlediska náhrady za běžně používané cementodřevěné prvky. Na následujícím obrázku je uveden příklad konopné termoizolační tvarovky. Tyto jsou vyráběny na vibrolisu.



Obr. 5.7 : Konopná termoizolační tvarovka [12]

6 SINTROVANÉ SKLO

Sintrované sklo je označováno ve stavebnictví také termíny sklosilikáty, sklokrystalické prvky atd. Sklosilikátový materiál je poměrně široký pojem. Tyto materiály jsou používány především pro povrchové úpravy stěn a podlah. Pro tento účel použití je předurčují především jejich fyzikálně mechanické a chemické parametry v kombinaci se značnou a výhodnou vizuální variabilitou. Díky svým parametrům lze sklosilikátové materiály aplikovat jak v interiéru, tak exteriéru budov. Tyto materiály skýtají rovněž velmi zajímavé architektonické řešení, které je činí poměrně vyhledávanými stavebními prvky. Z nevýhod částečně limitujících jejich použití lze zmínit vyšší plošnou hmotnost a cenu.

Dominantní složkou sklosilikátových materiálů, jak vyplývá již z názvu, je sklo. Konkrétně se jedná granulát skla specifických frakcí. Rozmezí frakcí se nejčastěji pohybuje od 0–4 mm až do 8–16 mm, avšak výjimkou nejsou i jiná frakční rozmezí. Velikosti částic použitého granulátu se odvíjí především od požadavků na finální produkty (parametry a vzhled). Složkami modifikujícími některé termodynamické, fyzikálně mechanické, příp. chemické charakteristiky mohou být např. křemičitý písek či pigmenty. V případě, že by bylo použito ve vsázce pouze granulované sklo (příp. pouze s pigmenty), jednalo by se o spěkanou sklovinu, kterou lze také s ohledem na použitý výrobní postup a parametry finálního materiálu zařadit do skupiny sklosilikátů. K docílení požadovaného probarvení jsou používány anorganické pigmenty v práškové formě. S uvážením chemismu práškových pigmentů a zvýšených teplot je však nutné brát v potaz možné chemické pochody, jež mohou ovlivnit průběh výrobního procesu sklosilikátových materiálů, zejména pak vliv na jednotlivé fáze teplotního režimu, přičemž k významné změně může dojít již při nízkých dávkách, tj. 0,5 až 1 %. Všechny komponenty, jež tvoří vsázku, jsou následně tepelně zpracovány.

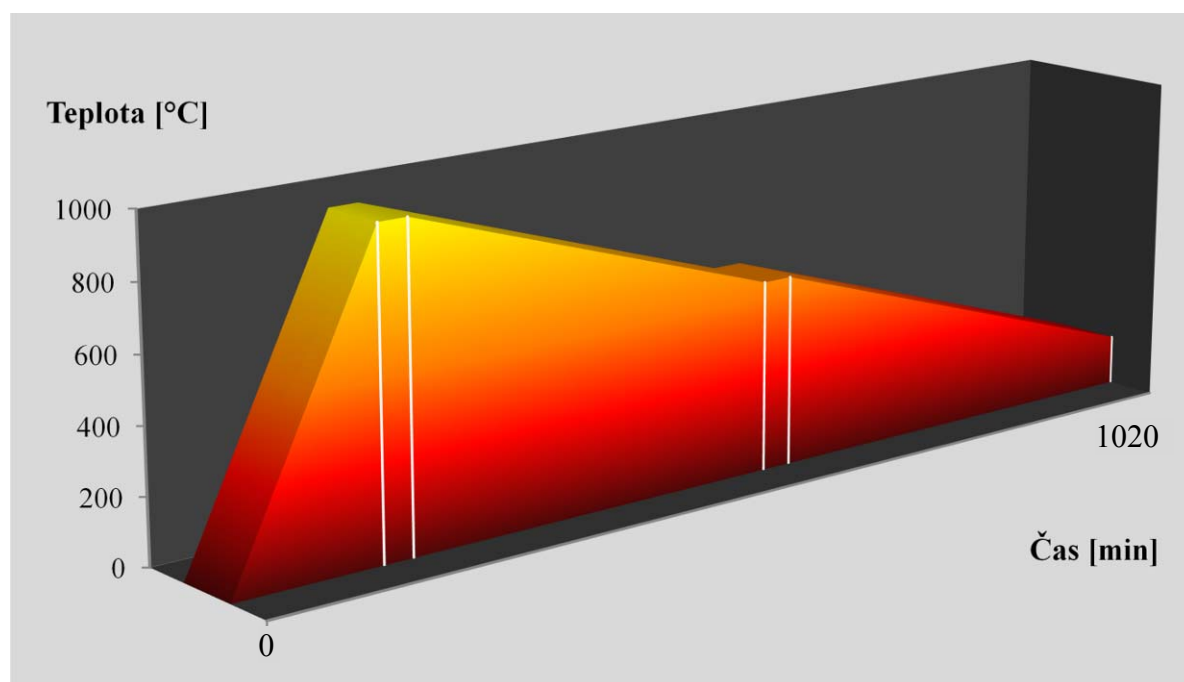
Vzhledem k tomu, že hlavní složkou sklosilikátových materiálů je sklo, odvíjí se fyzikálně-mechanické a chemické parametry výsledných produktů od vlastností skla. Vlastnosti skel se při jejich spékání výrazně nemění. Vlastnosti sklosilikátů (spěkaného skla) ovlivňují především póry, které vznikají při výrobním procesu. Tato dispergovaná plynná fáze ve sklovině má pak vliv na výslednou objemovou hmotnost výrobků, přičemž ta je vždy u sklosilikátů o něco nižší než pro samotnou výchozí kompaktní sklovinu. Koeficient teplotní roztažnosti α se spékáním podstatně nemění. Odolnost k náhlým změnám teploty spěkaných skel je poněkud menší, cca o 6 %. K nejzajímavějším změnám dochází u elektrických vlastností, neboť jsou ovlivněny plynnou fází. Vzhledem k tomu, že v případě sklosilikátů jsou kladeny požadavky také na vizuální stránku, tedy i kompaktnost povrchu, je primární snahou minimalizace obsahu plynné fáze v jejich matici.

V níže uvedené tabulce jsou pro příklad uvedeny konkrétní deklarované hodnoty jednoho z tuzemských výrobců sklosilikátů.

Tab. 6.1 : Fyzikálně mechanické a chemické parametry [13]

Vlastnost	jednotka	hodnota
Objemová hmotnost	kg.m ⁻³	2300
Plošná hmotnost (tl. 12 mm)	kg.m ⁻²	27,0 – 28,0
Pevnost v ohybu (minimální)	N.mm ⁻²	15,0
Lomová houževnatost	MPa.m ^{0,5}	1,7 – 2,5
Nasákavost (maximální)	% hm.	0,3
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	7,8 – 9,5
Tepelná vodivost	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,72 – 1,15
Odolnost proti ohřevu (maximální teplota zahřátí)	°C	400

Vlastnost	jednotka	hodnota
bez poškození)		
Odolnost proti teplotnímu šoku	°C	70
Mrazuvzdornost (-15 °C až +15 °C)	cykly	50
Tvrdost podle Mohse (minimální)	–	5
Chemická odolnost	třída	AA
Odolnost proti kyselinám	–	vysoce odolné
(loužení v 1% H ₂ SO ₄ , úbytek hm. za 650 hod. < 0,06 %)		
Odolnost proti louhům	–	vysoce odolné
(loužení v 1% NaOH, úbytek hm. za 650 hod. < 0,02 %)		
Odolnost vůči běžným chemikáliím	–	plně odolné



Obr. 6.2 : Vzorová režimová teplotní křivka (maximální izotermní výdrž charakteristická pro vstupní surovinu – sodnoborosilikátové sklo)

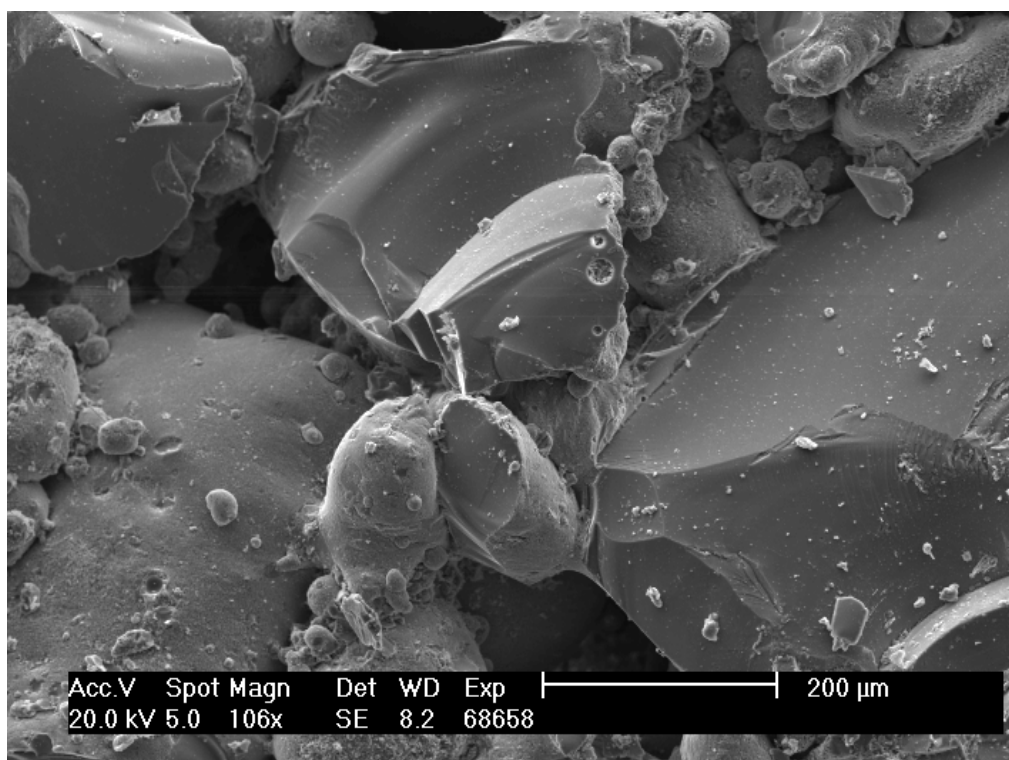


Obr. 6.3 : Příklad typické textury (resp. struktury) desky ze sintrovaného skla spol. COVERINGS ETC. [14]

Vzhledem k tomu, že pro sintrované sklo neexistují příslušné normativní dokumenty, jsou tyto prvky před uvedením na trh testovány dle platných norem v souvislosti s jejich užitím v dané konstrukci. V tomto případě se jedná o využití norem pro keramické obkladové prvky. Seznam vybraných souvisejících norem je tedy následující:

- ČSN EN ISO 10545-2 Keramické obkladové prvky - Část 2: Stanovení geometrických parametrů a jakosti povrchu

- ČSN EN ISO 10545-3 Keramické obkladové prvky- Část 3: Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, zdánlivé hustoty a objemové hmotnosti
- ČSN EN ISO 10545-4 Keramické obkladové prvky- Část 4: Stanovení pevnosti v ohybu a lomové síly
- ČSN EN ISO 10545-5 Keramické obkladové prvky - Část 5: Stanovení rázové pevnosti měřením koeficientu odrazu
- ČSN EN ISO 10545-7 Keramické obkladové prvky - Část 7: Stanovení odolnosti proti povrchovému opotřebení - Glazované obkladové prvky
- ČSN EN ISO 10545-8 Keramické obkladové prvky - Část 8: Stanovení délkové teplotní roztažnosti
- ČSN EN ISO 10545-9 Keramické obkladové prvky- Část 9: Stanovení odolnosti proti náhlým změnám teploty
- ČSN EN ISO 10545-11 Keramické obkladové prvky - Část 11: Stanovení odolnosti glazury proti vzniku trhlin - Glazované obkladové prvky
- ČSN EN ISO 10545-12 Keramické obkladové prvky- Část 12: Stanovení odolnosti proti vlivu mrazu
- ČSN EN ISO 10545-13 Keramické obkladové prvky- Část 13: Stanovení chemické odolnosti
- ČSN EN ISO 10545-14 Keramické obkladové prvky - Část 14: Stanovení odolnosti proti tvorbě skvrn
- ČSN EN ISO 10545-15 Keramické obkladové prvky- Část 15: Stanovení vyluhovatelnosti olova a kadmia – Glazované obkladové prvky
- ČSN 72 5191 Keramické obkladové prvky Stanovení protiskluznosti
- ČSN EN 14411 Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky a označování



Obr. 6.4 : Zachycení mikrostruktury sintrovaného skla pocházejícího z televizních obrazovek zvětšeno 106× (režim – primární elektrony)

7 PĚNOVÉ SKLO

Pěnové sklo je anorganický pórovitý materiál s tepelně izolačními vlastnostmi, který má, na rozdíl od ostatních tepelně izolačních materiálů, vysokou pevnost v tlaku. Vyrábí se z nízkotavitelné skloviny, která se při teplotě asi 1000 °C ve formách napěňuje vhodnými zpěňovacími (např. sazemí nebo uhlím, které v žáru hoří a napěňují sklovinu až na dvacetinásobek původního objemu). Výroba pěnového skla se datuje od 40. let 20. století, kdy se začalo používat jako náhrada korku při stavbě lodí. U nás se začalo pěnové sklo vyrábět v 50. letech minulého století pod názvem Spumavit.

Pěnové sklo je typická výplňová izolační hmota. Proto se jeho jakost posuzuje především podle objemové hmotnosti a izolační schopnosti. Izolační schopnost hmoty není dána pouze její tepelnou vodivostí, ale také obsahem vlhkosti. Proto vedle součinitele tepelné vodivosti je nutno znát také nasákavost, hodnotu prostupu par a plynu a konečně vzhledem k rozsahu použití i odolnost proti vysokým teplotám a mrazuvzdornost.

Tab. 7.1 : Orientační rozsahy vybraných vlastností pěnového skla.[15]

vlastnost	jednotka	rozpětí hodnot
objemová hmotnost	kg·m ⁻³	120 - 175
pevnost v tlaku	MPa	0,7 - 1,6
pevnost v ohybu	MPa	0,3 - 0,6
modul pružnosti	MPa	800 - 1500
součinitel délkové teplotní roztažnosti	K ⁻¹	8,3·10 ⁻⁶ - 9,0·10 ⁻⁶
měrná tepelná kapacita	kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	0,84
měrná tepelná vodivost při 0 °C	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	0,038 - 0,049
měrná tepelná vodivost při 10 °C	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	0,040 - 0,050
faktor difuzního odporu	-	∞
maximální teploty použití	°C	- 260 až + 430
hořlavost (podle ČN 73 0823)	Stupeň hořlavosti	A

Pěnové sklo se uplatňuje jako vysoce účinná tepelná izolace ve všech oblastech stavebnictví, při stavbě lodí, v chemickém průmyslu při izolaci různých aparatur atd. Přednostně se používá pěnové sklo tam, kde se vyžaduje při dokonalé izolaci i větší mechanická pevnost anebo kde je izolace vystavena trvalému působení vlhkosti nebo vyšších teplot. Pěnové sklo si totiž trvale uchovává svou izolační schopnost i v prostředí s extrémně vysokou relativní vlhkostí.

Překážkou pro větší rozšíření pěnového skla je dosud nejen jeho poměrně vysoká cena, ale také malá výrobní kapacita. Z těchto důvodů se většina vyrobeného množství pěnového skla používá pro zcela speciální případy, kde by jiná izolace neobstála buď pro vysokou provozní teplotu, nebo relativní vlhkost, anebo také z důvodu většího trvalého zatížení.

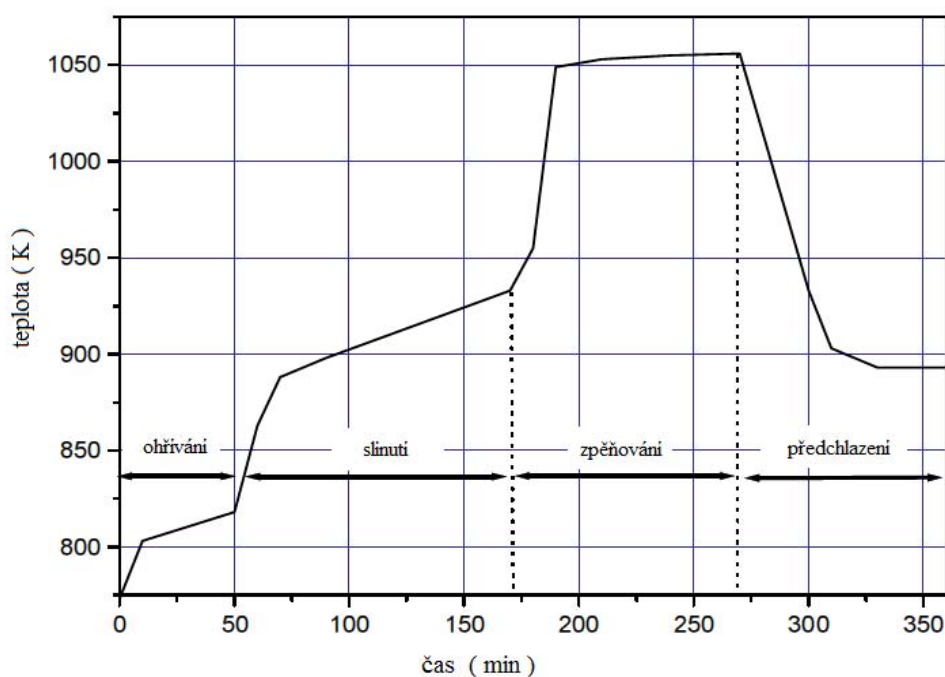
V ČR se pěnové sklo špatné kvality vyrábělo do roku 1976, kdy byla výroba z tohoto důvodu ukončena. Mezi nejznámější výrobce pěnového skla patří americko-belgická firma Pittsburg Corning.

Pěnové sklo je s ohledem na jeho materiálové charakteristiky vyráběno v několika různých formách, tj. úpravách. V první řadě se jedná o tepelně izolační desky, které jsou

používány pro izolace stěn. Dále se pak jedná o pórovité kamenivo na bázi pěnového skla, které nalézá uplatnění jako podsypy základů apod.

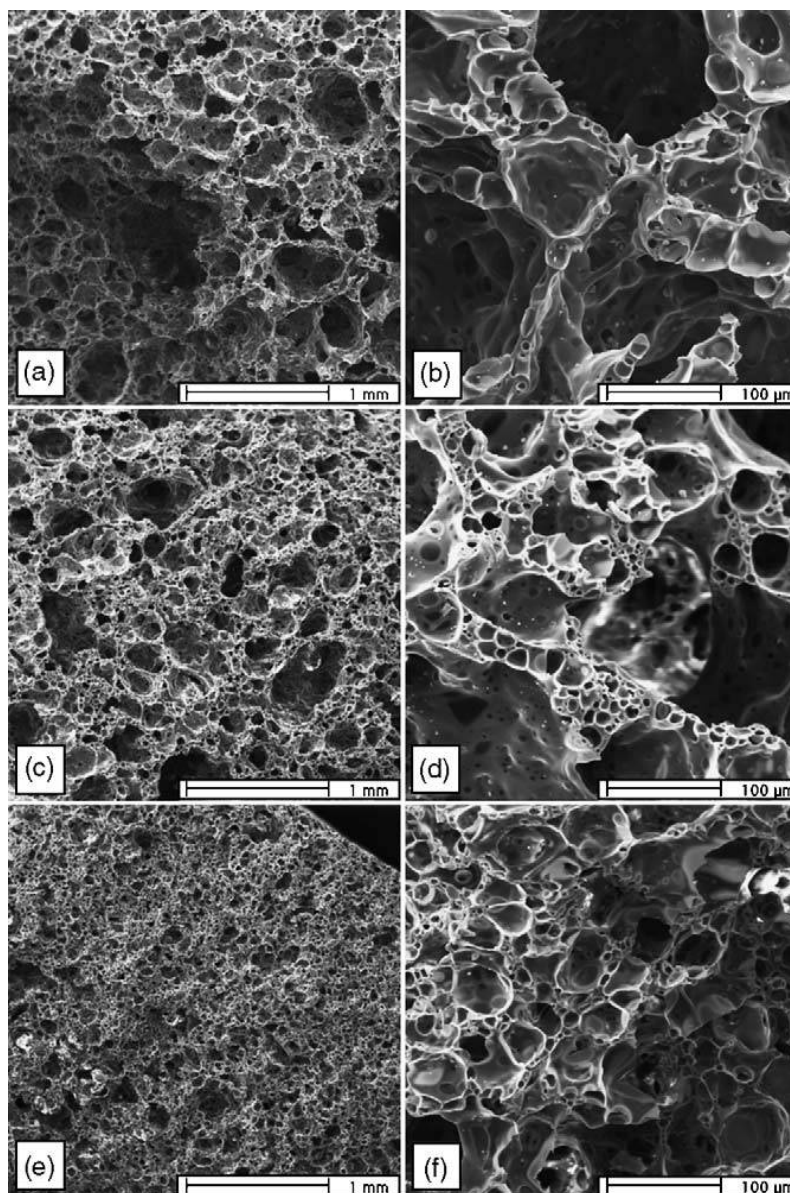


Obr. 7.2 : Výpal pěnového skla v peci (vlevo), pórovité kamenivo (vpravo) [16]



Obr. 7.3 : Příklad teplotní křivky pro výrobu pěnového skla [17]

Nejen v zahraničí probíhají výzkumy týkající se využití alternativních surovin pro výrobu pěnového skla. Enrico Bernardo a spol. (Itálie) zkoumali v roce 2005 výrobu pěnového skla z demontovaných obrazovek. Bylo zjištěno, že čím byl ve vzorku vyšší obsah uhličitanu vápenatého jako pěnidla, tím byla nižší hustota. Pěnové sklo vyrobené rychlostí ohřevu 5 °C/min nebo 10 °C/min vykazovalo podobně nízkou hustotou. Čím byla vyšší teplotní výdrž, tím více docházelo ke snížení relativní hustoty, pravděpodobně kvůli rozsáhlejšímu rozkladu CaCO_3 . Zvýšení rychlosti ohřevu mělo za následek sloučení pórů.



Obr. 7.4 : Mikrostruktura pěnového skla (5% CaCO_3 , vypalované na teplotu 725°C , po dobu 5 minut)
[18]

Vybrané související normativní dokumenty s danou problematikou:

- ČSN EN 13167 Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví - Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového skla (CG) – Specifikace
- ČSN EN 14305 Tepelně izolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace - Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového skla (CG) – Specifikace
- ČSN EN 120 89 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška ohybem
- ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Zkouška tlakem
- ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti

8 LEHKÉ KAMENIVO VYRÁBĚNÉ SAMOVÝPALEM

Termínem agloporit je označována skupina pórovitých kameniv vyráběných slinováním krátkodobým výpalem prováděným zpravidla na aglomeračních roštech. Jako suroviny se používají především různé odpadní materiály z energetického, hutního i jiného průmyslu, které mohou být i dosti rozdílného fyzikálního a chemického složení a jejichž odstraňování ze závodů bývá jinak nákladné.

V ČR je pod názvem agloporit chápán agloporit popílkový, což je umělé pórovité kamenivo získávané sbalkováním létavých popílků vznikajících spalováním domácího černého a hnědého uhlí a spékáním syrových sbalků na aglomeračním roštu. Neobsahují-li suroviny dostatečné množství spalitelných látek potřebných na aglomeraci, je třeba tyto do vsázky uměle přidávat. Obvykle však suroviny obsahují více uhelných látek, než je k výpalu vhodné, a proto jsou k nim přidávány ještě různé jíly, hlína, odprašky a nejjemnější vytříděné podíly z výroby, různé hlušiny, haldoviny a jiné odpady. Za minimální obsah uhelnatých látek se považuje 5 %, za maximální 12,5 %. Optimum je potom udáváno kolem 9 %. Optimální obsah uhelnatých látek je ovšem ještě vždy funkcí druhu použitého aglomeračního zařízení. K surovinám práškovitým nebo pomletým jsou přidávány zpravidla při jejich sbalkování voda, hrubě zrnité suroviny přímo vypalované na agloporit vlhčíme potom před vlastní aglomerací. Příměs vody činí obvykle 20 až 30 %.

K vlastní přípravě sbalků, resp. granálií nebo pelet jsou používány nejrůznější granulační zařízení. Může se jednat o granulační bubny, ve světovém měřítku jsou potom nejčastější sbalkovací talíře, z materiálů těstovité konzistence mohou být vhodná tělíska připravena též na pásmovém lisu s vhodně děrovaným ústím nebo též protlačováním kolovými mlýny, přičemž se taková tělíska obvykle ještě v bubnu zakulacují.



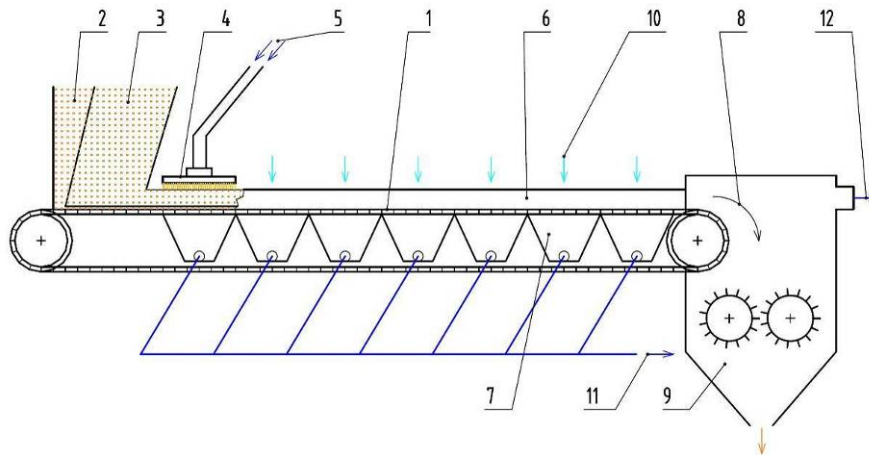
a) Boční pohled na sbalkovací talíř



b) Sbalkování popílku

Obr. 8.1 : Vytváření popílkových sbalků v závodě Pollytag v Gdaňsku

Mezi nejběžnější a zároveň nejčastější způsoby vypalování agloporitu je spékání na aglomeračních roštích. Aglomerační rošty jsou pohyblivé pásy o šířce kolem 1 m, délky zpravidla v okolí 20 m, na kterých surovinové a předsušené sbalky prohořívají po zapálení seshora směrem dolů. Dochází tak k jejich spékání a to díky palivu (spalitelným látkám), které jsou v nich obsaženy. Vzduch, který je při tomto procesu zapotřebí, se v oblasti slinování musí neustále prosávat přes umístěnou vrstvu a to pomocí exhaustorů a to odshora dolů dle Obr. 8.2. [19]



Obr. 8.2 : Schéma klasického aglomeračního roštu [20]

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 – Pohyblivý článkový rošt | 7 – Odtahové komory |
| 2 – Násypka roštoviny | 8 – Vyklápění spečenců |
| 3 – Násypka syrové vsázky | 9 – Kapotovaný drtič spečenců |
| 4 – Plynová zapalovací hlava | 10 – Nasávání spalovacího vzduchu |
| 5 – Přívod plynu a přidavného vzduchu | 11 – Odtah spalin |
| 6 – Pevné bočnice | 12 – Odprášení drtiče |



a) Zapalování a prohořívání vsázky



b) Zapálená vsázka postupuje pod exhaustory

Obr. 8.3 : Aglomerační rošt v závodě Pollytag (Polsko)

Vlastnosti agloporitu jsou obecně, vzhledem k různým surovinám a způsobům jejich počáteční úpravy a závěrečného drcení spečence, značně rozličné. Velký vliv má zvláště

drcení spečenců, které může vést na jedné straně ke granulitům s téměř uzavřeným povrchem, avšak na druhé straně častěji ke kamenivu svým vzhledem podobnému škváře, jakož i k přechodným typům mezi těmito extrémy. Zrna s otevřenými póry na svém povrchu jsou již z dříve uvedeného betonářského hlediska méně příznivá pro zvyšování spotřeby cementu a s tím spojené změny vlastnosti betonu. [21]

Barva agloporitu bývá šedá, šedomodrá až šedočerná, přičemž povrchové části, k nimž měl difundující kyslík při výpalu a zvláště po jeho bezprostředním skončení dostatečný přístup, bývají hnědočervené v důsledku přítomnosti sloučenin trojmocného železa. [22] Pórovitost zrn agloporitu bývá 40 až 65 %, zpravidla kolem 50 %, mezerovitost podle použitého způsobu drcení a třídění bývá 50 až 60 %. Objemová hmotnost u agloporitového písku bývá 600 až 1050 kg.m⁻³, u štěrkových frakcí 400 až 700 kg.m⁻³, u netříděného, jen podrceného agloporitu potom 800 až 1350 kg.m⁻³. Nasákavost bývá též velmi rozdílná, zpravidla 8 až 30 % hmotnostních. Součinitel tepelné vodivosti volně sypaného agloporitu je 0,12 až 0,16 W.m⁻¹.K⁻¹ Pevnost ve válci u jakostnějších druhů agloporitu činí 2 až 8 MPa. [21] Minimální pevnost při stlačení ve válci u frakce 8–16 mm ve volně sypaném stavu podle bývalé normy ČSN 72 1175 byla 1,5 MPa. Obsah síry celkově stanovené jako SO₃ neměl překročit 1 %. Ztráta žiháním neměla potom být větší než 5 %. Skutečné hodnoty obsahu síry i ztráty žiháním jsou podstatně menší. Pokud se týká nasákavosti, pohybuje se u agloporitu, který byl vyráběn u nás kolem 20 %. Dnes se již v ČR nevyrabí.



Obr. 8.4 : Agloporit frakce 8 – 16 mm

Vybrané související normativní dokumenty s danou problematikou:

- ČSN 72 2072-6 Popílek pro stavební účely část 6: Popílek pro výrobu umělého kameniva spékání
- ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty
- ČSN EN 1097-5 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně
- ČSN 72 0103 Základní postup rozboru silikátů – Stanovení ztráty žiháním
- ČSN EN 451-2 Metoda zkoušení popílku – Část 2: Stanovení jemnosti proséváním za mokra
- ČSN EN 13282 – Hydraulické silniční pojivo – Složení, specifikace a hodnocení shody

9 TĚŽKÉ A LEHKÉ KAMENIVO V CEMENTOVÝCH KOMPOZITECH

Vzhledem k tomu, že cementové kompozity resp. kompozity na bázi cementové matrice a nejrůznějších plniv jsou běžně využívány v mnoha a oblastech, které jsou determinovány především expozičními podmínkami, s čímž souvisí i následné požadavky na fyzikálně mechanické i chemické parametry finálních materiálů, je účelné seznámit se také s vybranými materiály pro specifitější použití. Do této skupiny lze zařadit mimo jiné i cementové kompozity obsahující těžké a lehké kamenivo, tedy lehký a těžký beton resp. maltu.

Lehký beton a malta nalézá uplatnění především v konstrukčních celcích, kde jsou primárně vyžadovány tepelně-izolační schopnosti daného materiálu či prvku. Obecně platí, že čím menší objemovou hmotností se materiál vyznačuje, tím dosahuje nižšího součinitele tepelné vodivosti. Podstatné jsou ovšem také další faktory, jako např. velikost a distribuce pórů, jejich případná spojitost a zejména pak přítomnost vlhkosti. Dále se lze setkat s aplikací lehčeného cementového kompozitu v konstrukcích, v nichž je požadováno snížení výsledné hmotnosti dané konstrukce. V této oblasti jsou používány lehké vysokopevnostní betony. Při uvážení skutečnosti, že objemová hmotnost se v případě vysokopevnostních betonů s hutným kamenivem pohybuje zpravidla v rozmezí cca 2300 až 2450 kg.m⁻³, kdežto u HSC s lehkým kamenivem je to nejčastěji 1800 až 2000 kg.m⁻³, je patrná jedna významná skutečnost, a to výrazný pokles hmotnosti dané konstrukce. V takovémto případě pak dochází k poklesu hmotnosti konstrukce o cca 13 až 27 %. Dosažený výrazný hmotnostní úbytek se následně promítne v otázce ekonomické, návrhu samotné konstrukce (zmenšení průřez nosných prvků), atd.



Obr. 9.1 : Sandhornøyský most [23]

Praktická použitelnost lehkého vysokopevnostního betonu již byla prokázána na řadě stavebních děl. Za všechny je možno zmínit např. zajímavé projekty Sandhornøyského a Støvsetského mostu v Norsku. Na Obr. 9.1 je zachycen Sandhornøyský most dokončený roku 1989. Při výstavbě jeho krajních polí byl použit lehký vysokopevnostní beton o objemové hmotnosti 1850 až 1900 kg.m⁻³ a pevnosti v tlaku cca 56 MPa při sednutí kužele 200 mm.

Použití plniva o vyšší objemové hmotnosti v betonu a maltách je nasnadě především při požadavku konstrukce či dílčího konstrukčního celku na zvýšenou schopnost stínění např.

vůči elektromagnetickému záření, konkrétně pak ionizujícímu záření. S elektromagnetickým zářením se dnes lze setkat například v domácnostech (počítače, mobilní telefony, mikrovlnné trouby), v nemocnicích (rentgeny, magnetické rezonance), na specializovaných pracovištích (jaderné elektrárny, výzkumné ústavy), ale i ve venkovním prostředí (radiovysílače, kosmické záření – zejména v souvislosti s tzv. ozonovou dírou). Nadměrné dávky některých z uvedených typů záření mohou mít negativní vlivy např. biologické povahy. Dále pak mohou nežádoucím způsobem ovlivňovat citlivost důležitých přístrojů. Proto je v určitých případech nutné zamezit daným negativním důsledkům. Nejčastěji jsou řešeny tyto problémy odstíněním pracovního prostoru. Ke stínění se nejčastěji používá olovo a baryt.

Baryt (BaSO_4 – těživec) vzniká krystalizací z hydrotermálních roztoků, vysrážením z mořské vody. Má vysokou hustotu ($4\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), která je dána vysokou atomovou hmotností barya obsaženého v minerálu. Tvrdost je 3,5, vryp bílý. Minerál často obsahuje malé množství příměsí stroncia, vápníku nebo olova (řádově procenta). Tento nerost se vyskytuje v mnoha barevných variacích (bílá, světle žlutá, světle růžová, šedobílá, červená, hnědá apod.). Je nekovového vzhledu, průsvitný nebo neprůhledný, dokonale štěpný. Krystaly jsou tabulkovité nebo sloupcovité, většinou protáhlé v různých směrech.



Obr. 9.2 : Baryt – vlevo lokalita Meikle mine, Elko Co. Nevada, USA, vpravo lokalita – Cerro Warihuyn, 2850 m, Miraflores, Huamalias, Huanuco Peru. [24], [25]

Baryt se používá hlavně na pohlcování RTG a γ paprsků (rentgenová pracoviště, jaderné provozovny). Vyrábí se z něj smalty, glazury, barvy, speciální skla (vysoký index lomu) apod. V lékařství se např. používá jako kontrastní látka při rentgenových vyšetřeních. Dále se baryt používá při těžbě ropy k výplachům a těsnění vrtů. Ve světě se jeho zásoby odhadují na 300 mil tun. Naleziště jsou hlavně v Polsku, Německu a USA. V praxi jsou běžně používány barytové betony a malty. Jsou vyráběny např. zdíci tvárnice s použitím barytového kameniva frakce 0 až 6 mm, dále pak barytové stínící směsi, které jsou aplikovány jako výplňové hmoty či omítky nebo plnivo nátěrových hmot.

Vybrané související normativní dokumenty s danou problematikou:

- ČSN EN 13139 Kamenivo pro malty
- ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo - Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty
- Zákon č. 18/97 Sb, zák. č.13/2002 Sb., *O mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření*. Sbírka zákonů České republiky 1997
- Vyhláška č. 307/2002 Sb., *O radiační ochraně*, Sbírka zákonů České republiky 2002

ZÁVĚR

Studijní text pro cvičení předmětu BJ56 Vybrané statě z technologie stavebních hmot vznikl jako pomůcka pro řešení daných cvičení. Jsou zde uvedeny vybrané informace, které jsou podstatné z hlediska řešení jednotlivých cvičení, a proto každá kapitola koresponduje s náplní daného cvičení. Jedná se také o doplňkový studijní text ke studijním oporám předmětu BJ56, a to konkrétně přednáškové části.

Studijní text BJ56 pro praktickou část, tedy cvičení vznikl za finanční podpory Fondu rozvoje vysokých škol v rámci řešení projektu FRVŠ 2727/2011/F1/a „Inovace výuky studijního předmětu BJ56 – Vybrané statě z technologie stavebních hmot“, tematický okruh F1.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] ŠTĚRBA, A. *Příměsi dříve a nyní, část 1.* Beton TKS. 2011. 11(6/2011). p. 20 – 27. ISSN 1213-3116.
- [2] AĚTCIN, P.-C. *Vysokohodnotný beton.* Z angl. originálu přeložil V. Bílek a kol. 1. české vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. 320 str. ISBN 80-86769-39-9.
- [3] NEUWALD, A. D. *Supplementary Cementitious Materials, Part I: Pozzolanic SCMs, What are SCMs and how can you use them to your advantage?*. MC [online]. September/October 2004. [vid. 15. října 2011]. Dostupné z: [http://www.ricehuskash.com/Supplementary%20Cementitious%20Materials%20\(SCM\)%20-%20National%20Precast%20Concrete%20Association%20-%20USA%20-%20October,%202004%20issue.pdf](http://www.ricehuskash.com/Supplementary%20Cementitious%20Materials%20(SCM)%20-%20National%20Precast%20Concrete%20Association%20-%20USA%20-%20October,%202004%20issue.pdf)
- [4] MELICHAR, T.; PŘIKRYL, J.; MATULOVÁ, P. *Substituce pojiva v cementových kompozitech jemně mletou recyklovanou sklovinou s ohledem na životní prostředí.* Beton TKS. 2009. devátý(3/2009). p. 50 - 55. ISSN 1213-3116.
- [5] KALIFA, P.; CHÉNÉ, G.; GALLÉ, CH. *High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: From spalling to microstructure.* Cement and Concrete Research [online]. Elsevier, October 2001. Volume 31, Issue 10, p. 1487–1499. [vid. 24. června 2011]. ISSN 0008-8846. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884601005968>
- [6] DING, Y.; AZEVEDO, C; AGUIAR, J. B.; JALALI, S. Study on residual behaviour and flexural toughness of fibre cocktail reinforced self compacting high performance concrete after exposure to high temperature. Construction and Building Materials [online]. Elsevier, January 2012. Volume 26, Issue 1, p. 21–31. [vid. 18. července]. ISSN 0950–0618. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181100198X>
- [7] NEVŘIVOVÁ, L. *Speciální keramika, Modul BJ14_M04, Žárovzdorné materiály.* Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Vysoké učení technické v Brně, Faulta stavební. Brno 2006.
- [8] [vid. 6. prosince 2011]. Dostupné z: <http://www.jetchem.cz/products/MikrosferyMikrokulicky/>
- [9] [vid. 6. prosince 2011]. Dostupné z: http://en.inoteck.net/photo_gallery
- [10] Green day. The mom wagon. [vid. 8. listopadu 2011]. Dostupné z: <http://www.themomwagon.com/?p=315>
- [11] iMateriály.cz [online]. [vid. 15. září 2011]. Dostupné z: <http://www.imaterialy.cz>
- [12] Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí [online]. [vid. 18. listopadu 2011]. Dostupné z: <http://www.cideas.cz>
- [13] [vid. 6. ledna 2009]. Dostupné z: www.glasilex.cz

- [14] [vid. 28. července 2011].
Dostupné z: <http://www.coveringsetc.com/BioGlassHome.aspx?CategoryID=21>
- [15] Technické informace o materiálu [online]. [vid. 10. května 2011]. Dostupné z:
<http://www.luxfery.cz>
- [16] [vid. 25. listopadu 2011]. Dostupné z: <http://www.geocell-schaumglas.eu>
- [17] SCHULZ, E., O. *Schaumglas, Teil II.*
- [18] BERNADRO, E.; ALBERTINI, F. *Glass foams from dismantled cathode ray tubes.* Ceramics International [online]. Elsevier, 2006. Volume 32, Issue 6, p. 603–608. [vid. 26. srpna 2011]. ISSN 0272-8842.
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884205001409>
- [19] ČERNÝ, V. *Optimalizace parametrů samovýpalu spékaného popelkového kameniva,* Brno, 2006. 124 s., 3 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [20] Materiály firmy Recycling Service, s.r.o.
- [21] DROCHYTKA, R. *Lehké stavební látky.* 1. vydání. Brno. Nakladatelství VUT. 1993, 124 stran. ISBN 80-214-0514-7.
- [22] KOCKAL, N. U., OZTURAN, T., Characteristics of lightweight fly ash aggregates produced with different binders and heat treatments. In: *Cement and Concrete Composites.* Volume 33. Issue 1. January 2011. 61–67, ISSN 0958-9465.
- [23] [vid. 28. listopadu 2011].
Dostupné z: http://no.wikipedia.org/wiki/Sandhorn%C3%B8y_bru
- [24] [vid. 12. března 2011].
Dostupné z: <http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=93&target=Barite>
- [25] [vid. 12. března 2011].
Dostupné z: <http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=3057&target=Barite>