

Cementotřískové desky s vyšším obsahem netradičních alternativních surovin substituujících pojivo a třísky

Tomáš MELICHAR, Jiří BYDŽOVSKÝ, Šárka KEPRDOVÁ, Amos DUFKA

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno,
e-mail: melichar.t@fce.vutbr.cz, bydzovsky.j@fce.vutbr.cz,
keprdova.s@fce.vutbr.cz, dufka.a@fce.vutbr.cz

Souhrn

Článek prezentuje laboratorní výzkum zaměřený na posouzení vlastností a mikrostruktury cementotřískových desek modifikovaných alternativními surovinami. Konkrétně bylo modifikováno složení pojiva jemně mletým vápencem a škvárou. Současně byla provedena úprava složení plniva, tj. substituce smrkových třísek. Jako substituent byly využity druhotné třísky získané úpravou odřezků, které vznikají jako vedlejší produkt výroby cementotřískových desek. Pojivo bylo nahrazováno v množství do 10 % a smrkové třísky substituovány v množství 10 % až 20 %. Vlastnosti cementotřískových desek byly analyzovány po 28 dnech zrání v laboratorních podmínkách, vč. ověření mrazuvzdornosti (100 cyklů).

Výsledky prezentovaného výzkumu lze shledat jako přínosné. Využitím alternativních surovin, které jinak nejsou využity (vyjma vápence) a představují tak odpad, dojde k snížení zátěže životního prostředí a současně zachování užitných vlastností cementotřískových desek bez negativního vlivu na jejich mikrostrukturu.

Klíčová slova: Cementotřísková deska, odřezky, škvára, vápenec, drcení, mletí, smrkové třísky, vedlejší produkt, odpad, mechanické parametry, mineralogické složení, mikrostruktura.

Úvod

Výroba cementových kompozitů vyztužených dřevní hmotou s využitím alternativních surovin je poměrně podrobně zkoumána¹⁻¹⁰. Přes značný počet publikovaných výzkumných prací stále existuje poměrně široký prostor pro nové alternativy v této oblasti. Tyto alternativy vyplývají mimo jiné z aktuální environmentální situace. Záměrem prezentovaného výzkumu je podrobné posouzení vlastností a mikrostruktury cementotřískových desek modifikovaných dosud nevyužívanými alternativními surovinami, z nichž některé takto představují odpad. Konkrétně byl využit jemně mletý vápenec, škvára a upravené odřezky, které vznikají při opracování cementotřískových desek. Mletý vápenec je primárně vyráběná surovina, která má uplatnění nejen ve stavebním průmyslu, ovšem při výrobě cementotřískových desek se tato surovina dosud nepoužívá. Co se týká škváry a odřezků, tak se jedná o vedlejší produkty, které prozatím nemají dalšího využití. Teplárenská škvára je dostupná v množství cca 850 tis. tun (halda v Oslavanech). Odřezky vznikající při formátování cementotřískových desek jsou ročně produkovány v množství cca 5,5 tis. tun (data tuzemského výrobce desek CIDEM Hranice, a.s.). Z hlediska materiálové báze a zamýšleného účelu lze vybrané alternativní složky charakterizovat jako vysoce kompatibilní. Průzkumem odborných publikací (např.¹⁻¹⁰) nebylo zjištěno, že by se někdo podrobně zabýval problematikou vhodně upravených odřezků s ohledem na jejich zpětné využití během produkce cementotřískových desek.

Použité suroviny, receptury

Pro modifikaci složení cementotřískových desek byly vybrány odřezky vznikající při výrobě těchto desek tuzemského výrobce – výrobní závod CIDEM Hranice, a.s. Odřezky bylo nutné nejprve vhodně upravit. Záměrem totiž bylo využít především smrkového dřeva obsaženého v odřezcích. Proto byly odřezky nejprve podrobeny drcení v čelistovém drtiči. A dále pak vyseparovány třísky, resp. částice

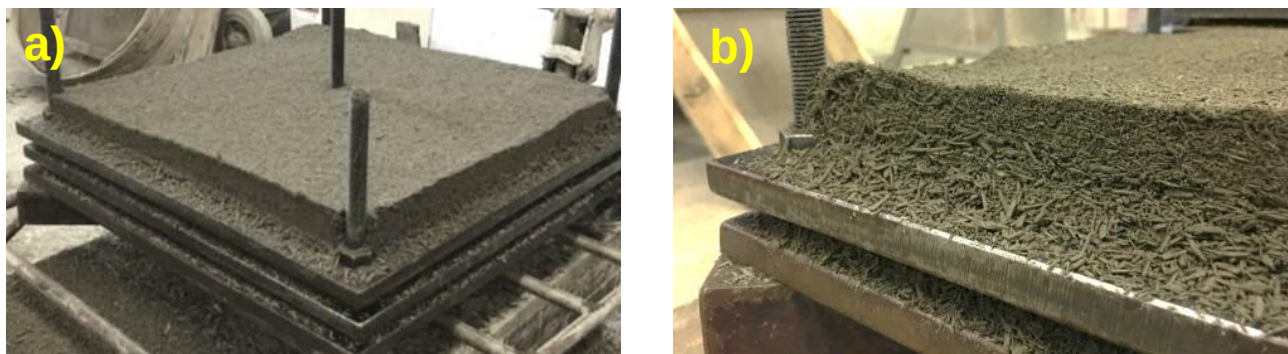
o velikosti 0,5 až 1 mm, a pak také částice o velikosti 1 až 2 mm. Tento postup byl zvolen s ohledem na předchozí podrobné analýzy odřezků a možností jejich úpravy^{11, 12}. Částice velikosti 0,5 až 1 mm a 1 až 2 mm obsahují největší podíl dřevní hmoty, což bylo prokázáno fyzikálně-chemickými i termickými analýzami (popis metod – viz^{11, 12}). Pojivo desek bylo modifikováno škvárou a vápencem. Byl použit vápenec VMV-15/F (Kotouč Štramberk) s obsahem 96,5 % CaCO_3 (stanoveno rentgenovou fluorescenční analýzou). Vápenec je primární surovina, která ovšem není pro výrobu desek běžně využívána. Dále byla jako substituent pojiva využita teplárenská škvára (Oslavany). Škvára je alternativní surovina bez dalšího využití, tj. deponována na skládce. Vzhledem ke složení, zejména granulometrického, bylo nutné škváru upravit. Cílem bylo získání suroviny o měrném povrchu převyšujícím hodnoty cementu. Proto bylo realizováno mletí v kulovém mlýnu a tak získána partikulární látka o měrném povrchu 510 až 540 m^2/kg (stanoveno permeabilní metodou na Blainově přístroji dle ČSN EN 196-6¹³). Suroviny byly analyzovány s ohledem na všechny jejich podstatné charakteristiky¹¹⁻¹⁴. Škvára obsahuje vysoký podíl amorfni fáze, SiO_2 (51 %) a Al_2O_3 (22,4 %). Amorfni fáze byla stanovena kvantitativní rentgenovou difrakční analýzou (se standardem CaF_2 ; použitý přístroj – viz následující kapitola). Indexy účinnosti (stanovené principiálně dle ČSN EN 450-1¹⁵) rovněž vykazují velmi dobré hodnoty z hlediska aktivity této alternativní složky jako substituentu primárního pojiva. Pro výrobu desek byl použit portlandský cement CEM I 42,5 R (závod Mokrý), jehož parametry odpovídají požadavkům EN 197-1¹⁶. Dále byly použity smrkové třísky dodané přímo od výrobce desek CIDEM Hranice, a.s., včetně hydratačních a mineralizačních přísad (sodné vodní sklo, síran hlinitý). S ohledem na výsledky analýz alternativních surovin^{11, 12} a jejich vliv na cementové kompozity¹⁴ byly navrženy konkrétní receptury cementotřískových desek (Tabulka 1).

Tabulka 1: Složení cementotřískových desek

Složka	Receptura – složení [%]								
	REF	V1/DT11	V1/DT12	V1/DT21	V1/DT22	S1/DT11	S1/DT12	S1/DT21	S1/DT22
Cement CEM I 42,5 R	25	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
Vápenec VMV–15/F	0	2,5	2,5	2,5	2,5	0	0	0	0
Teplárenská škvára	0	0	0	0	0	2,5	2,5	2,5	2,5
Smrkové třísky – primární	63	56,7	50,4	56,7	50,4	56,7	50,4	56,7	50,4
Druhotné třísky 0,5-1 mm	0	6,3	12,6	0	0	6,3	12,6	0	0
Druhotné třísky 1-2 mm	0	0	0	6,3	12,6	0	0	6,3	12,6
Hydratační přísady	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Voda	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Metodika experimentů

Cementotřískové desky byly vyrobeny v laboratořích Ústavu stavebních hmot a dílců, Fakulty stavební, VUT v Brně. Výroba probíhala tak, aby byly co nejvěrněji simulovány reálné podmínky výroby tuzemského producenta desek (CIDEM Hranice, a.s.). V prvním kroku výroby byla připravena směs pro zhotovení desek. Nejprve byl do navlhčených třísek s příměsí síranu hlinitého a sodného vodního skla přidán cement, příp. substituční alternativní složky. Následně byla směs důkladně promíchána po dobu 3 minut pomocí stavebního míchadla. Dále byla na desky ocelové formy 450×450 mm přes síto s velikostí ok 2 mm nakladena vrstva směsi v tloušťce přibližně 1 – 2 mm. Pokračovalo vrstvení jádrové vrstvy směsi přes síto o velikosti oka 6 mm v tloušťce přibližně 30 mm. Finální vrstva byla opět kladena přes síto s oky o velikosti 2 mm v tloušťce 1 – 2 mm. Na takto připravenou směs byla umístěna ocelová deska. Dotažením matic byla směs ocelovou deskou slisována na požadovanou vrstvu do tloušťky cca 14 mm. Vrstvená směs je zachycena na obrázku 1.



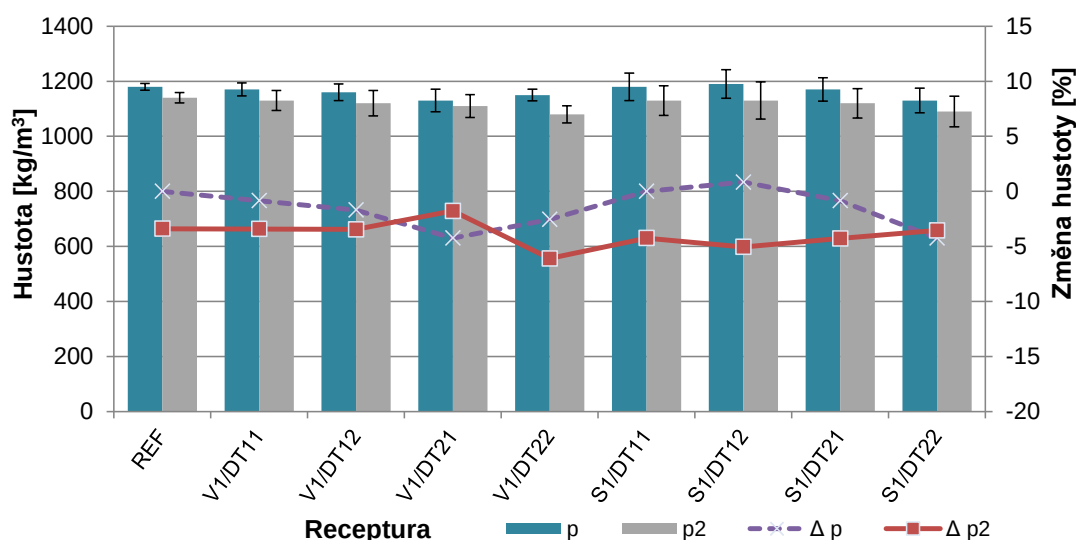
Obrázek 1: Laboratorní výroba cementotřískových desek; a) forma s navrstvenou směsí a slisovanými deskami; b) detail navrstvené směsi před slisováním

Slisovaná směs mezi ocelovými deskami byla vložena do propařovací komory. Zde byla po dobu 6 hodin udržována teplota 40 až 45 °C, což jsou podmínky zajišťující potřebnou manipulační pevnost vzniklých desek. Následně byly desky vyjmuty z forem a umístěny do laboratorního prostředí o teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 %, kde desky zrály po dobu 6 dní. Po zrání 6 dní byly desky sušeny při teplotě 70 až 75 °C po dobu 11 hodin. Následně byla z cementotřískových desek řezáním zhotovena zkušební tělesa (6 ks pro každý testovaný parametr) o rozměrech v souladu s příslušnými technickými normami¹⁷⁻²¹. Probíhalo zrání těles do dosažení celkové doby 28 dní. Dále byla zkušební tělesa temperována při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %. Polovina zkušebních těles byla podrobena cyklickému zmrazování a rozmrazování dle ustanovení technické normy ČSN EN 1328²¹.

Vážení těles probíhalo na vahách KERN PCB 1000-2 s přesností 0,01 g. Rozměry byly stanoveny digitálním posuvným měřítkem KINEX 600/100 mm s rozlišením 0,01 mm. Z naměřených hodnot byla stanovena hustota cementotřískových desek dle ČSN EN 323²⁰ a zaokrouhlena na nejbližších 10 kg/m³. Mechanické vlastnosti byly testovány na elektro-hydraulickém zařízení Testometric M350-20CT s přesností záznamu ±0,5 % o citlivosti čtení zatěžovací síly 1/1000 th. Stanovení modulu pružnosti a pevnosti v ohybu bylo provedeno v souladu s požadavky ČSN EN 310¹⁷. Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky byla stanovena dle ustanovení technické normy ČSN EN 319¹⁸. Mineralogické složení bylo analyzováno s využitím přístroje X-ray diffractometer Empyrean Panalytical (CuK α radiation) s úhlovým rozlišením 0,026 ° na práškových vzorcích o maximální velikosti zrna 63 μ m. Mikrostruktura byla pozorována a hodnocena na rastrovacím elektronovém mikroskopu TESCAN MIRA3 XMU s rozlišením 1,2 nm při 30 kV. Fyzikálně-chemické a mikrostrukturální analýzy byly provedeny na vzorcích odebraných ze zkušebních těles po 28 dnech zrání.

Výsledky a diskuze

Dosažené výsledky hustoty (p – před zmrazováním, p_2 – po zmrazování) prokazují, že vliv provedené modifikace složení cementotřískových desek teplárenskou škvárou a druhotnými třískami nemá na stanovené hodnoty výrazný vliv. Průběh hodnot (Obrázek 2) poukazuje na spíše minoritní rozdíly mezi jednotlivými typy desek (Δp). Změna hustoty desek se výrazně neprojevuje ani vlivem působení nepříznivého prostředí (Δp_2), tj. střídavého zmrazování a rozmrazování. Změny hustoty se pohybují v řádu jednotek procent. Zajímavější jsou z hlediska modifikace složení desek chyby, tj. odchylky jednotlivých hodnot od průměru. Výraznější odchylky od průměru sledovaného parametru byly zaznamenány v případě receptur obsahujících jako substituent teplárenskou škváru. S přihlédnutím k hodnotám stanovených variačních koeficientů (Tabulka 2) je evidentní, že desky modifikované teplárenskou škvárou vykazují vyšší míru variability. Vzhledem k dosaženým hodnotám se ovšem nejedná o příliš výrazné difference. Lze usuzovat, že vápenec přispívá ke tvorbě struktury matrice desek lépe, což může mít pozitivní vliv na proměnlivost dosažených výsledků hustoty. Z hlediska variability hustoty se jednoznačně projevil negativní vliv mrazu, kdy byly stanoveny vyšší variační koeficienty desek podrobených cyklickému zmrazování a rozmrazování.

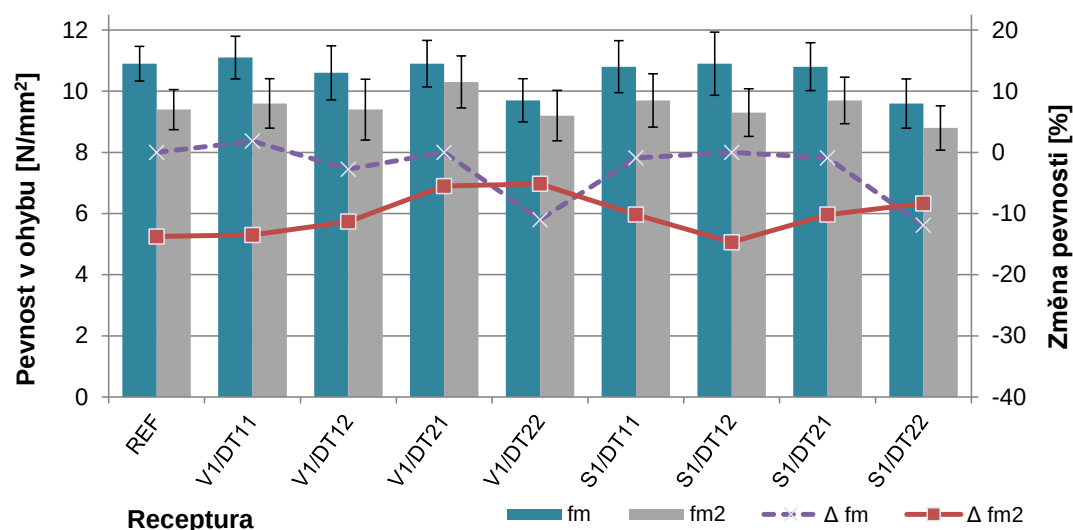


Obrázek 2: Hustota cementotřískových desek – referenčních (standardní receptura) a modifikované vápencem, škvárou a druhotnými třískami; včetně zobrazení chybových úseček

Tabulka 2: Variační koeficienty hustoty desek referenčních a modifikovaného složení, včetně komparace různého prostředí uložení desek

Zkušební tělesa	Hustota – variační koeficient [%]								
	Receptura								
	REF	V1/DT11	V1/DT12	V1/DT21	V1/DT22	S1/DT11	S1/DT12	S1/DT21	S1/DT22
Srovnávací	1,03	2,03	2,61	3,65	1,84	4,25	4,38	3,64	3,96
Zmrazovaná	1,64	3,22	4,12	3,71	2,90	4,76	5,99	4,77	5,10

Podstatnou užžitnou vlastností cementotřískových desek je pevnost v ohybu (f_m – před zmrazováním, f_{m2} – po zmrazování). Stanovené výsledky pevnosti v ohybu (Obrázek 3) vykazují již mezi jednotlivými typy desek patrnější difference, než v případě hustoty. V případě téměř všech hodnocených typů desek se projevila vliv dávky druhotných třísek, kdy při 20% náhradě primárních smrkových třísek druhotnými lze zaznamenat výraznější poklesy ohybové pevnosti (fialová křivka, hodnoty Δf_m – Obrázek 3).



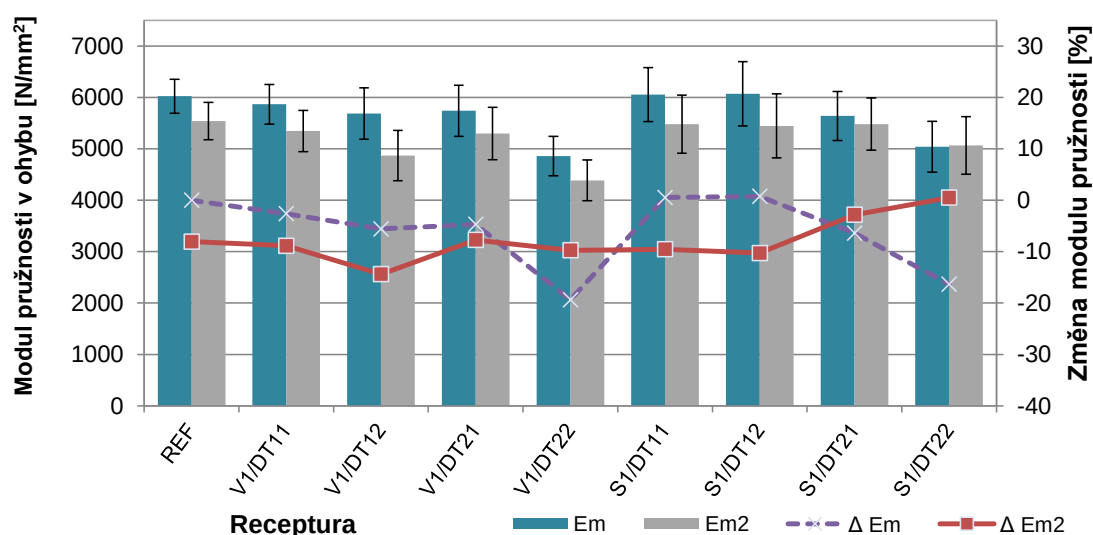
Obrázek 3: Pevnost v ohybu cementotřískových desek – referenčních (standardní receptura) a modifikované vápencem, škvárou a druhotnými třískami; včetně zobrazení chybových úseček

Výsledky pevnosti indikují příznivý vliv druhotných třísek na mrazuvzdornost (f_{m2} , Δf_{m2}), a to konkrétně varianta třísek o velikosti v rozmezí 1 až 2 mm. Tento pozitivní vliv byl zaznamenán jak v případě modifikace matrice vápencem, tak škvárou. Pozitivní vliv druhotných třísek lze připisovat jejich větší stabilitě z hlediska expozice v prostředí o zvýšené vlhkosti. Druhotné třísky byly totiž získány z drcených odřezků cementotřískových desek. Proto jsou již tyto třísky poměrně dobře mineralizovány (vodním sklem, sírany a vápennými ionty z cementové matrice). Druhotné třísky jsou tedy mnohem více odolné vůči objemovým změnám při kontaktu s vodou a při výkyvech teploty. V důsledku pak působí při bobtnání menším tlakem na obklopující matici. Stejně jako v případě hustoty se projevil vliv mrazu na variabilitě ohybové pevnosti, kdy desky vystavené střídavému zmrazování a rozmrazování dosahují mírně vyšších hodnot variačního koeficientu (Tabulka 3).

Tabulka 3: Variační koeficienty pevnosti v ohybu desek referenčních a modifikovaného složení, včetně komparace různého prostředí uložení desek

Zkušební tělesa	Pevnost v ohybu – variační koeficient [%]								
	Receptura								
	REF	V1/DT11	V1/DT12	V1/DT21	V1/DT22	S1/DT11	S1/DT12	S1/DT21	S1/DT22
Srovnávací	5,21	6,32	8,32	6,98	7,29	7,87	9,50	7,25	8,38
Zmrazovaná	6,97	8,45	10,57	8,26	8,97	8,97	8,41	7,85	8,23

Průběh hodnot modulu pružnosti v ohybu (Obrázek 4, E_m – před zmrazováním, E_{m2} – po zmrazování, ΔE_m – změna modulu vlivem modifikace složení) do značné míry kopíruje trend pevnosti v ohybu (Obrázek 3). Zajímavá je mírná odlišnost průběhu křivek charakterizujících pokles sledovaného parametru vlivem cyklického zmrazování a rozmrazování (ΔE_{m2}), kdy desky S1/DT21, tedy na bázi škváry a druhotných třísek 1 až 2 mm vykazují velmi nízký až nulový pokles ohybového modulu pružnosti. Nicméně je patrné, že v případě modifikace matrice desek škvárou i vápencem s využitím třísek o velikosti 1 až 2 mm dochází ke zlepšení mrazuvzdornosti, tj. obdobně jako v případě pevnosti v ohybu.



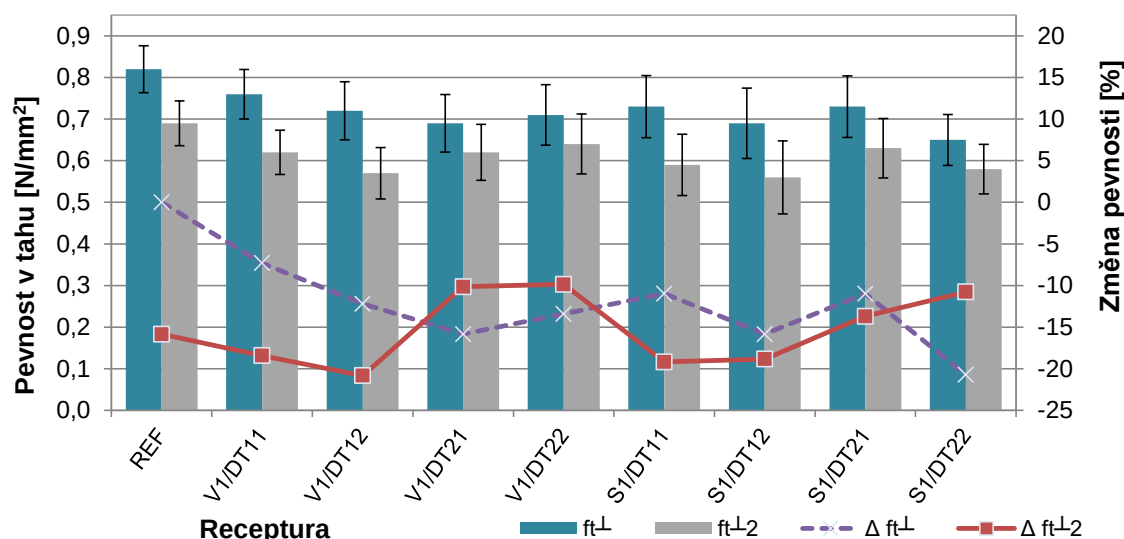
Obrázek 4: Modul pružnosti v ohybu cementotřískových desek – referenčních (standardní receptura) a modifikované vápencem, škvárou a druhotnými třískami; včetně zobrazení chybových úseček

S ohledem na variabilitu hodnot modulu pružnosti v ohybu (Tabulka 4) je evidentní, že rozptyly těchto hodnot jsou mírně vyšší v porovnání s variabilitou hodnot ohybových pevností (Tabulka 3). Modifikace složení cementotřískových desek se tedy z hlediska variability i poklesu dosažených hodnot projeví ve větším měřítku na modulu pružnosti nežli na ohybové pevnosti.

Tabulka 4: Variační koeficienty modulu pružnosti v ohybu desek referenčních a modifikovaného složení, včetně komparace různého prostředí uložení desek

Zkušební tělesa	Modul pružnosti v ohybu – variační koeficient [%]								
	Receptura								
	REF	V1/DT11	V1/DT12	V1/DT21	V1/DT22	S1/DT11	S1/DT12	S1/DT21	S1/DT22
Srovnávací	5,49	6,58	8,78	8,67	7,89	8,65	10,29	8,47	9,83
Zmrazovaná	6,57	7,51	10,06	9,64	9,02	10,32	11,47	9,25	11,08

Podstatnou užžitnou vlastností cementotřířkových desek je rovněž pevnost v tahu kolmo na rovinu desky, tj. rozlupčivost (Obrázek 5, $f_{t\perp}$ – před zmrazováním, $f_{t\perp 2}$ – po zmrazování). Vzhledem k poklesu tohoto hodnoceného parametru vlivem modifikace složení desek ($\Delta f_{t\perp}$) lze konstatovat, že se zde úprava složení desek projevila v největším měřítku. Pokles rozlupčivosti dosahuje až přes 20 % vlivem úpravy složení desek. Dále je patrné, že modifikace vápencem se projevila pozitivněji na odolnosti desek vůči vlivu mrazu ($\Delta f_{t\perp 2}$), což potvrzují i výsledky pevnosti v ohybu (Obrázek 3).



Obrázek 5: Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky cementotřířkových desek – referenčních (standardní receptura) a modifikované vápencem, škvárou a druhotnými třískami; včetně zobrazení chybových úsečků

Míra variability pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky (Tabulka 5) je nejvyšší z posuzovaných parametrů. Tuto skutečnost bylo do značné míry možné predikovat, neboť největší objemové změny probíhají s ohledem na orientaci smrkových třísek v deskách právě ve směru tloušťky. V tomto směru totiž také probíhá hutnění (lisování) desek při jejich výrobě. Tímto jsou do třísek, resp. desek vnášena napětí, která se pak následně při kontaktu desek s vodou mohou uvolňovat a působí právě ve směru tloušťky. Tuto hypotézu také podporují výsledky jiných autorů^{24, 25}. Negativní vliv působení napětí v deskách vyvolané objemovými změnami smrkových třísek pak ještě umocní případné poruchy soudržnosti matrice (např. zhoršení vlivem modifikace složení matrice).

Tabulka 5: Variační koeficienty pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky zkušebních těles referenčních a modifikovaného složení, včetně komparace různého prostředí uložení desek

Zkušební tělesa	Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky – variační koeficient [%]								
	Receptura								
	REF	V1/DT11	V1/DT12	V1/DT21	V1/DT22	S1/DT11	S1/DT12	S1/DT21	S1/DT22
Srovnávací	6,87	7,84	9,68	10,02	10,23	10,24	12,26	10,16	9,41
Zmrazovaná	7,81	8,57	10,84	10,84	11,26	12,47	15,69	11,32	10,27

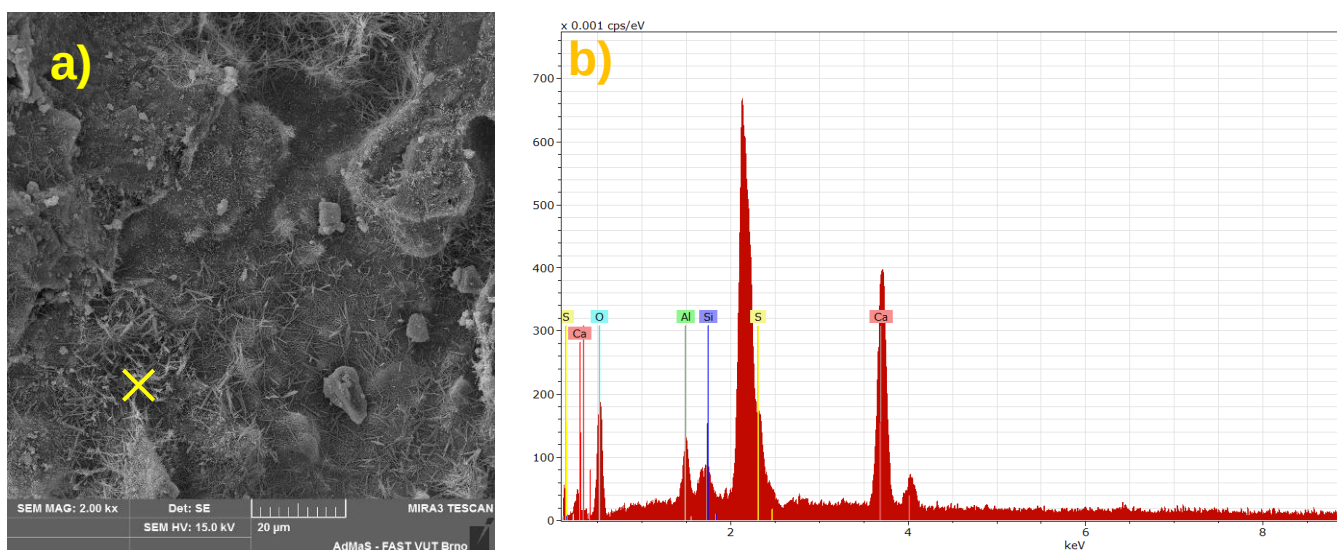
Původ použitých třísek má na finální vlastnosti dřevo-cementového kompozitu, tj. i cementotřískových desek velmi významný vliv, což se v rámci zde prezentovaného výzkumu potvrdilo nejvýrazněji na odolnosti desek vůči vlivu mrazu. Velmi výraznou závislostí na použitém druhu odpadního dřeva do dřevěnými třískami vyztužených cementových kompozitů podporují i výsledky prezentované Nasserem a kol.¹⁰

Provedeným mineralogickým rozbořem bylo prokázáno, že fázové složení všech analyzovaných typů desek je obdobné. Ve všech deskách byly nalezeny obdobné minerály a gelové struktury, tj. dominantně portlandit, kalцит, CSH struktury a amorfní fáze, stopově pak ettringit a slinkové minerály. Diference lze zaznamenat spíše v intenzitě difrakčních linií, kdy receptury s obsahem vápence vykazují výraznější píky kalčitu a naproti tomu desky s obsahem škváry jsou charakterizovány navíc přítomností mulitu, hematitu a výrazněji zvýšeným pozadím (skelná fáze). Přítomnost skelné fáze v deskách s obsahem teplárenské škváry indikuje, že ne všechna zrna této škváry se aktivně zapojila do utváření struktury cementové matrice desek. Tvorba ettringitu byla v mírně větší míře zaznamenána v případě referenční receptury, což ovšem souvisí s vyšším obsahem C_3A . Desky obsahující druhotné třísky o velikosti 0,5 až 1 mm se vyznačují vyšším množstvím portlanditu a CSH fází, což koresponduje se skutečností, že použité druhotné třísky obsahují i zbytky cementové matrice. Cementová matrice ulpívající na povrchu druhotných třísek má původ v přípravě této alternativní suroviny, kdy zdobňovací a třídící proces nevykazuje 100% úspěšnost separace cementové matrice a dřevní hmoty. V případě druhotných třísek o velikosti 1 až 2 mm se již tento faktor neprojevil v tak výrazné míře.

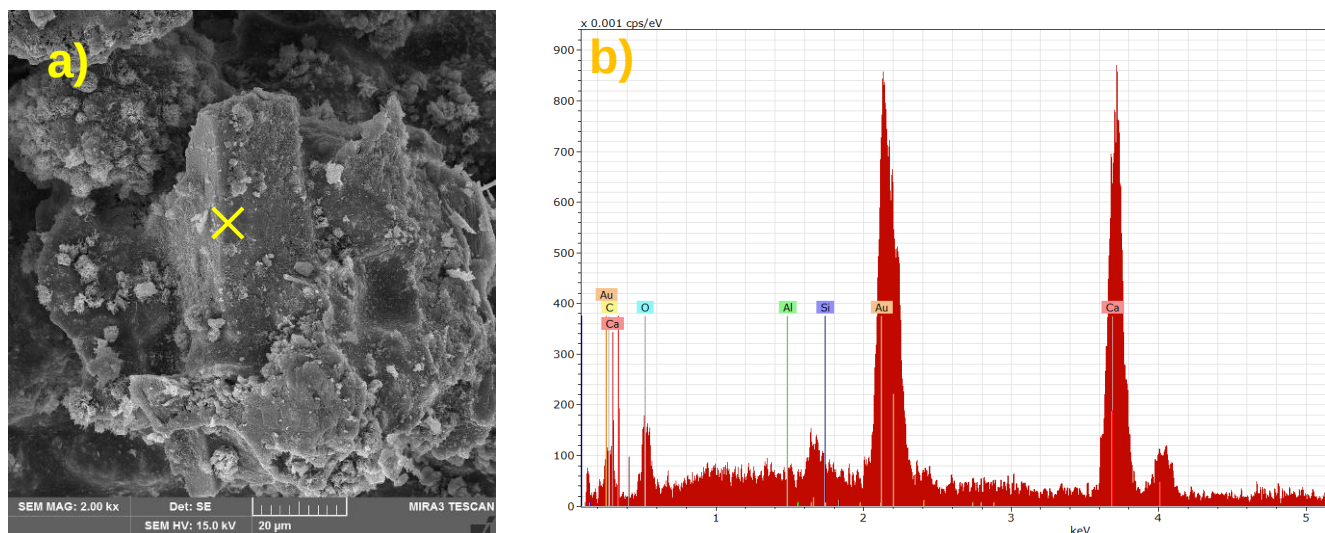
Mikrostruktura a prvková analýza analyzovaných desek (Obrázek 6 až 9) je kompaktní bez zjevných poruch mezi jednotlivými fázemi matrice. Obě modifikační složky matrice synergicky spolupůsobí s hydratačními produkty a parciálně se zapojují při utváření struktury matrice. Vápenec je v tomto ohledu výhodnější variantou substituentu cementového pojiva.

Interfaciální zóna matrice a smrkových třísek nevykazuje poruchy či defekty a hydratační produkty pronikají do buněčné struktury třísek (Obrázek 9). K obdobnému zjištění dospěl i Capari a kol.⁸, kdy bylo mikrostrukturální analýzou prokázáno, že dochází k migraci iontů cementové matrice do struktury dřeva. Dle Frybort a kol.²⁶ dochází mezi dřevní hmotou a cementovou maticí k výměně iontů, což přispívá k zlepšení zakotvení matrice k povrchu dřevěných třísek.

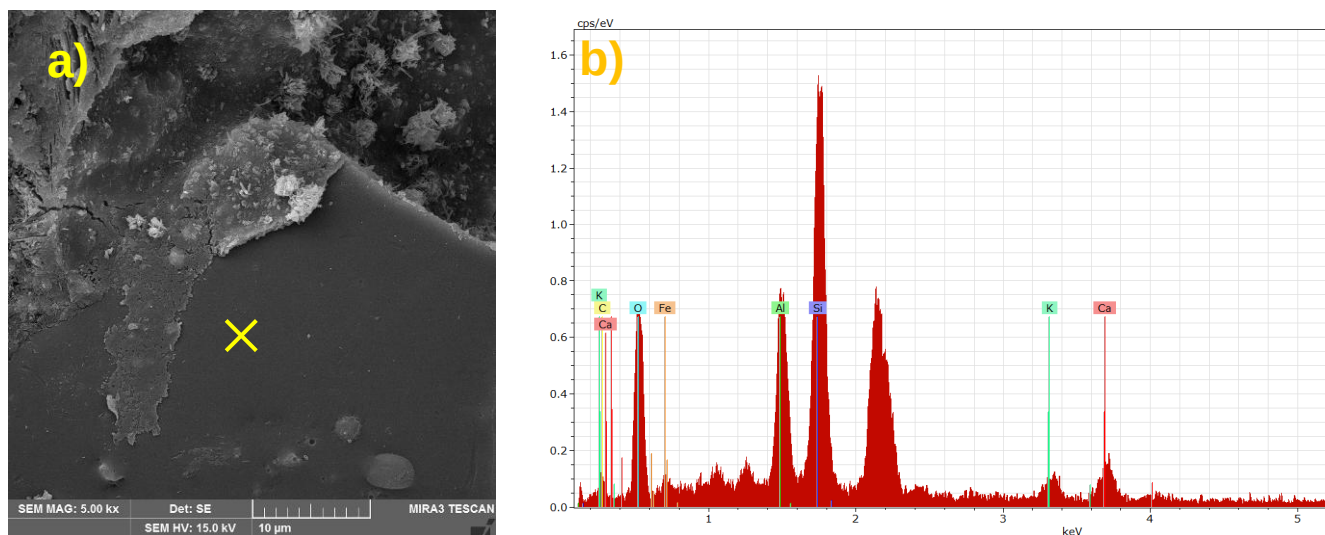
Na základě prvkové analýzy se potvrdil předpoklad, že ne všechna zrna škváry a v menší míře i vápence se aktivně nepodílela na utváření struktury cementové matrice, kdy působila spíše jako inertní mikroplnivo (Obrázek 7 a 8). Elektronovým mikroskopem bylo prakticky nemožné rozlišit třísky druhotné a primární.



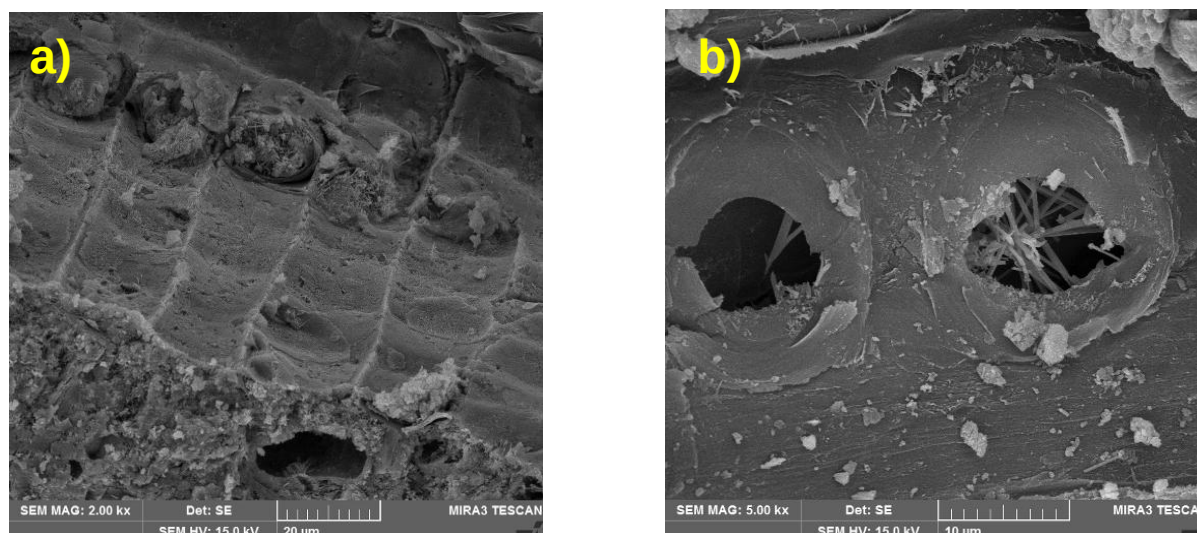
Obrázek 6: Mikrostruktura desek REF; a) vyznačení lokality výskytu ettringitu; b) identifikace prvků



Obrázek 7: Mikrostruktura desek V1/DT22; a) vyznačení lokality výskytu vápence; b) identifikace prvků



Obrázek 8: Mikrostruktura desek S1/DT22; a) vyznačení lokality výskytu škváry; b) identifikace prvků



Obrázek 9: Mikrostruktura desek a) V1/DT22; b) S1/DT22 – produkty matrice v buněčné struktuře smrkových třísek

Závěr

Dosažené výsledky a zjištění prokázaly, že modifikace složení cementotřískových desek jemně mletým vápencem, teplárenskou škvárou a druhotnými třískami (z drcených odřezků cementotřískových desek) vykazuje značně vysoký potenciál. Vyjma vápence, všechny zmíněné suroviny prozatím nenalézají dalšího uplatnění a tak představují zátěž pro životní prostředí a v případě odřezků i finanční zátěž pro jejich původce, kdy je nutné tento vedlejší produkt výroby cementotřískových desek skládkovat. Žádná z analyzovaných surovin není v současnosti využívána jako složka receptury pro výrobu cementotřískových desek.

S ohledem na nižší náročnost přípravy alternativních složek lze shledat jako výhodnější variantu V1/DT21, kde 10 % vápence nahrazuje primární pojivo (portlandský cement) a 10 % druhotných třisek substituuje primární třísky (oba typy – smrkové dřevo).

Jako environmentálně šetrnější lze pro další komerční využití shledat recepturu S1/DT21, kde 10 % teplárenské škváry nahrazuje primární pojivo (portlandský cement) a 10 % druhotných třisek substituuje primární třísky (oba typy – smrkové dřevo). Nevýhodou této varianty je nutnost mletí škváry na měrný povrch přesahující 500 m²/kg.

S uvážením stanovených materiálových vlastností a chování desek během cyklického zmrazování a rozmrazování lze konstatovat, že všechny testované desky vyhovují požadavkům dle příslušných technických norem.

Jednoznačně se projevil pozitivní vliv druhotných třisek na mrazuvzdornost, a to poměrně výrazně v případě náhrady primárních třisek druhotnými třískami o velikosti 1 až 2 mm. Důvodem je lepší objemová stabilita druhotných třisek, což souvisí s jejich předchozí mineralizací (v rámci výroby cementotřískových desek). Tyto druhotné třísky tedy vstupují do výrobního procesu s již poměrně stabilizovanými vlastnostmi.

Mineralogické složení analyzovaných variant cementotřískových desek souvisí s původem jejich surovin, což bylo prokázáno kvalitativním XRD rozbořem fázového složení. Podstatná je skutečnost, že škvára se do 28 dní zrání uplatní spíše jako inertní plnivo. Tuto skutečnost potvrzují i předchozí zjištění¹⁴.

Rastrovacím elektronovým mikroskopem byla potvrzena zjištění XRD analýzy. Rovněž je patrné, že mikrostruktura modifikovaných desek je kompaktní s minimální odlišností od referenčních desek. Rozhraní cementové matrice a smrkových třisek nevykazuje poruchy a hydratační produkty matrice pronikají do buněčné struktury dřeva. Bohužel nebylo možné jednoznačně rozlišit primární a druhotné třísky.

V rámci navazujícího výzkumu nyní probíhá dlouhodobá expozice desek v laboratorním a dále i jiných agresivních prostředích (CO₂, SO₂, atp.), čímž bude následně možné zpřesnit a rozšířit stávající výsledky a zjištění. Dále budou realizovány i doplňkové zkoušky, pro ucelení souboru materiálových charakteristik desek (tloušťkové bobtnání, rozměrové změny atd.), čímž bude umožněno komplexní posouzení chování navržených variant materiálového složení.

Poděkování

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory projektu GA ČR číslo 19-00291S s názvem „Analýza procesů při utváření struktury silikátových kompozitů s organickými plnivy a jejich chování za specifických podmínek namáhání“.

Literatura

- 1 Hossain MU, Wang L, Yu IKM, Tsang DCW, Poon Ch-S (2018) Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard, *Construction and Building Materials* 173:474-480. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.066>.
- 2 Kochova K, Gauvin F, Schollbach K, Brouwers HJH (2020) Using alternative waste coir fibres as a reinforcement in cement-fibre composites, *Construction and Building Materials* 231:117121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117121>.
- 3 Ezerskiy V., Kuznetsova N. V., Seleznev A. D., Evaluation of the use of the CBPB production waste products for cement composites, *Construction and Building Materials*, Volume 190 (2018) 1117-1123.
- 4 Wang L., Chen S. S., Tsang D. C. W., Poon Ch. S., Shih K. Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards, *Construction and Building Materials*, Volume 125 (2016) 316 – 325.
- 5 Ashori A., Tabarsa T., Sepahvand S.: Cement-bonded composite boards made from poplar strands, *Construction and Building Materials*, Volume 26, Issue 1 (2012) 131 – 134.
- 6 Cabral M. R., Nakanishi E. Y., Mármol G., Palacios J., Godbout S., Lagacé R., Savastano H., Fiorelli J.: Potential of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) stalks to produce cement-bonded particleboards, *Industrial Crops and Products*, Volume 122 (2018) 214 – 222.
- 7 He P., Hossain M. U., Poon Ch. S., Tsang D. C. W. Mechanical, durability and environmental aspects of magnesium oxychloride cement boards incorporating waste wood, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207 (2019) 391 – 399.
- 8 Caprai V., Gauvin F., Schollbach K., Brouwers H.J.H. Influence of the spruce strands hygroscopic behaviour on the performances of wood-cement composites, *Construction and Building Materials*, Volume 166 (2018) 522 – 530.
- 9 Menezzi, C., Castro, V., Souza, M. Production and properties of a medium density wood-cement boards produced with oriented strands and silica fume. *Ciencia y tecnología*, Volume 9, Issue 2, *Maderas* (2007) 105 – 115.
- 10 Nasser RA, Salem MZM, Al-Mefarrej HA, Aref IM (2016) Use of tree pruning wastes for manufacturing of wood reinforced cement composites, *Cement and Concrete Composites* 72: 246 – 256. doi:10.1016/j.cemconcomp.2016.06.008.
- 11 Melichar, T., Bydžovský, J., Dufka, A. Detailed analysis of modified by-product from cement-bonded particle board fabrication. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 2018. 14. 408 – 417. ISSN: 1790-5079. <http://www.wseas.org/multimedia/journals/environment/2018/b025915-abs.pdf>.
- 12 Melichar, T., Bydžovský, J., Dufka, A., Seldom Used By-product from Trimming Cement-bonded Particleboards Shows Potential for Modifying Building Materials Composition. *WasteForum*. 2019. No. 4. pp. 368 – 377. ISSN 1804-0195.
- 13 ČSN EN 196-6 Metody zkoušení cementu - Část 6: Stanovení jemnosti mletí, 2019.
- 14 Melichar, T., Lédl, M., Bydžovský, J., Dufka, A. Effect of use of non-traditional raw materials on properties and microstructure of cement-bonded particleboards. *WasteForum*. 2020. No. 4. pp. 254 – 264. ISSN 1804-0195.
- 15 ČSN EN 450-1 Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody, 2013.
- 16 ČSN EN 197-1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití, 2012.
- 17 ČSN EN 310 Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, 1995.
- 18 ČSN EN 319 Třískové a vláknité desky. Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky, 1994.
- 19 ČSN EN 634-2 Cementotřískové desky - Specifikace - Část 2: Požadavky pro třískové desky pojené portlandským cementem pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí, 2007.
- 20 ČSN EN 323 Desky z dřeva. Zjišťování hustoty, 1994.

- 21 ČSN EN 1328 Cementotřískové desky - Stanovení odolnosti proti mrazu, 1998.
- 22 ČSN EN 317 Třískové a vláknité desky. Stanovení bobtnání po uložení ve vodě, 1995.
- 23 ČSN EN 318 Desky ze dřeva - Stanovení rozměrových změn v závislosti na změnách relativní vlhkosti vzduchu, 2003.
- 24 Fuwape, J.A.; Fabiyi, J.S.; Osuntuyi, E.O. (2007) Technical assessment of three layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. Waste Management 27(11), pp. 1611 – 1616.
- 25 Rowell, R.M. (2005) Chemical modification of wood. In: Rowell, R.M. (Ed.), Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 381 – 420.
- 26 Frybort, S., Mauritz, R., Teischinger, A., Müller, U. Cement bonded composites – a mechanical review, BioResources 3 (2008) 602 – 626.

Cement-bonded particleboards with higher content of non-traditional alternative raw materials substituting binder and chips

Tomas MELICHAR, Jiri BYDZOVSKY, Sarka KEPRDOVA, Amos DUFKA

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Veveri 331/95, 602 00 Brno, Czech Republic, e-mail: melichar.t@fce.vutbr.cz, bydzovsky.j@fce.vutbr.cz, keprdova.s@fce.vutbr.cz, dufka.a@fce.vutbr.cz

Summary

This paper presents a laboratory research focused on assessing the properties and microstructure of cement-bonded particleboards modified by alternative raw materials. Specifically, composition of the binding agent was modified by finely ground limestone and heating plant slag. Simultaneously a composition of wood content was modified, i.e. spruce chips. Secondary spruce chips obtained from the treatment of offcuts, which are a by-product of the production of cement-bonded particleboards, were used as a substituent. The binder was substituted in quantities of up to 10 % and the spruce chips were substituted in amount of 10% to 20%. The properties of the cement-bonded particleboards were analysed after 28 days of ageing in laboratory conditions, including evaluating frost resistance (100 cycles). The results of the presented research are beneficial (in terms of environmental aspect and science). Utilization of alternative raw materials, which are otherwise not used (except for limestone) and thus represent waste, will reduce the environmental burden and at the same time preserve the utility properties of cement-bonded particleboards without negatively affecting their microstructure.

Keywords: Cement-bonded particleboard, offcuts, slag, limestone, crushing, grinding, spruce chips, by-product, waste, mechanical parameters, mineralogical composition, microstructure.