

PRŮBĚH ZRÁNÍ MATRICE CEMENTOTŘÍSKOVÝCH DESEK V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI ORGANICKÉHO PLNIVA

MATURING PROCESS OF CEMENT-BONDED PARTICLEBOARDS MATRIX IN DEPENDENCE ON HUMIDITY OF ORGANIC FILLER

Ing. Tomáš Melichar, Ph.D.^a, doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.^b, Ing. Miroslav Vacula^c

^aVysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: 541147463, melichar.t@fce.vutbr.cz, www.fce.vutbr.cz

^bVysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: 541147505, bydžovsky.j@fce.vutbr.cz, www.fce.vutbr.cz

^cCIDEM Hranice, a.s. divize CETRIS, Nová 223, 753 01 Hranice, tel: +420 581 676 393, fax: +420 581 601 623, vacula@cetris.cz, www.cidem.cz

Abstrakt:

Příspěvek pojednává o testování několika typů receptur cementotřískových desek, u nichž byly použity třísky o rozdílném obsahu vody. Ve stáří od 2 do 28 dnů byly testovány základní fyzikálně-mechanické parametry. V případě základních materiálových charakteristik byla pozornost také věnována trvanlivosti, kdy byl uvažován vliv cyklického zmrazování a rozmrazování v kombinaci s působením vody. Posouzení bylo také doplněno o fyzikálně-chemické analýzy, umožňující kvantitativní a kvalitativní stanovení mineralogických fází. Pomocí elektronové mikroskopie byla také posouzena mikrostruktura vybraných vzorků analyzovaných receptur.

Abstract:

The paper discusses several types of testing recipes of cement-bonded particleboards, which were produced with chips of different water content. Basic physico-mechanical parameters were tested at the age range of from 2 to 28 days. In the case of these basic material characteristics, an attention was also given to durability, when the effect of cyclic freezing and thawing in combination with water was considered. The assessment was also completed on the physico-chemical analysis, enabling quantitative and qualitative determination of mineralogical phases. By means of electron microscopy was also assessed microstructure of selected samples of analyzed recipes.

1. Úvod

Cementotřískové desky jsou ve stavebnictví poměrně rozšířeným stavebním prvkem. Tyto desky se uplatňují v řadě konstrukčních celků – podlahy, fasádní obklady, ztracené bednění atd. Desky jsou vyráběny na plně automatizované lince v České Republice. Výrobní postup se sestává z několika fází. Nejprve jsou s ohledem na danou vlhkost navažovány základní suroviny – třísky, cement, voda, přísady. Přísady jsou používány především kvůli uzavření struktury povrchových partií dřevěných třísek. Důvodem je také zamezení uvolňování cukrů, které jsou v třískách obsaženy. Suroviny jsou postupně míseny – třísky,

voda, přísady (rozpuštěné ve vodě) a v poslední fázi se přidává cement. Směs o vlhkosti do 45 % je pomocí strojního zařízení vrstvena na ocelové pláty. Vrstvení probíhá ve třech krocích – nejprve spodní pohledová, dále jádrová a nakonec opět pohledová vrstva. Pohledová vrstva obsahuje více cementového pojiva, čímž je docíleno kompaktnější struktury. Tloušťka pohledové vrstvy se pohybuje v řádech několika mm. Plechy se směsí jsou na sebe stohovány. Poté probíhá lisování stohu v hydraulickém lisu. Stlačením dojde ke zmenšení výšky na 1/3 původní vrstvy. V tomto slisovaném stavu je stoh po dobu několika hodin umístěn do propařovací komory. Teplota zde nepřesahuje 55°C. Dalších cca 7 dní desky zrají volně ve výrobním závodu s následným sušením v tunelové sušárně, kde teplota nepřesahuje 90°C. V posledních fázích výroby jsou desky zpracovávány na požadovaný formát, jakost povrchu s případnou aplikací povrchových úprav.

Jak bylo již uvedeno, směs pro výrobu cementotřískových desek se vyznačuje určitou optimální vlhkostí. S tímto úzce souvisí vlhkost třísek. Tyto jsou s ohledem na zpracování dřeva, dopravu a skladovací podmínky dodávány do výroby o variabilní vlhkosti. Pro zachování kontinuity výrobního procesu není možné vždy třísky sušit do konstantní hmotnosti, resp. vlhkosti. Třísky jsou obvykle dodávány s obsahem absolutní vlhkosti v rozmezí 30 až 90%. V případě nižšího obsahu vlhkosti lze jednoduše vodu přidat. Ovšem při obsahu vlhkosti blízkém se uvedené horní hranici je již třeba snížit dávku nejen vody záměsové, ale i např. vody nutné pro rozpuštění mineralizačních přísad. Teoreticky by mohlo dojít k negativnímu ovlivnění hydratačního procesu vlivem nedostatečné mineralizace třísek. Lze rovněž předpokládat, že při vylisování vody z třísek přes jejich povrchové partie by mohlo dojít k narušení již mineralizované vrstvy – „vyplavení“ mineralizační složky z těchto povrchových partií. Problematikou související s obsahem cukrů ve dřevě a jejich vlivem na průběh hydratace cementových kompozitů s plnivem na bázi dřevní hmoty se zabývali autoři např. v [1], [2] a [3]. Dále by mohlo při „vytláčení“ vody z třísek docházet k vymývání (resp. „odtláčení“) cementu od povrchu třísek. Tento jev by se mohl pak podílet na nedokonalém obalení třísek cementovou pastou, což souvisí zejména s radikálním poklesem pevností.

2. Metodika výzkumu

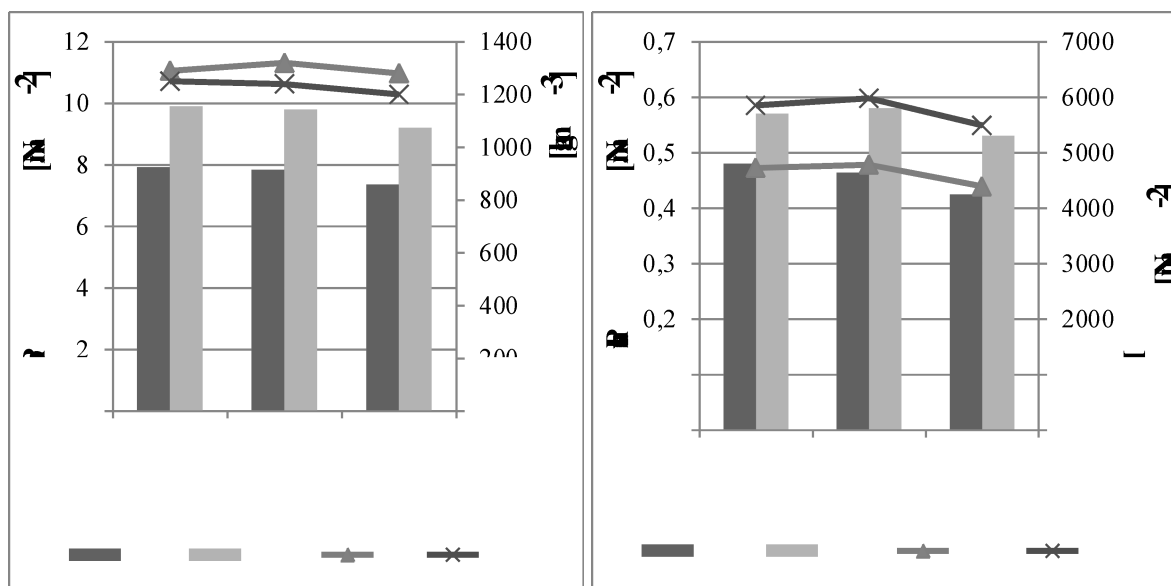
Příprava desek pro zkoušky a analýzy probíhala laboratorně. Pro výrobu zkušebních těles byly ve spolupráci s tuzemským producentem cementotřískových desek (CIDEM Hranice, a.s.) zohledněny všechny aspekty z reálné výroby. Celkem byly testovány 3 receptury. Rozdíl spočíval pouze v distribuci vody dané směsi. Konkrétně byly použity třísky o vlhkosti 30 %, 60 % a 90 % (receptury – CTR3, CTR6 a CTR9). Po jednotlivé receptury bylo pak stanoveno množství vody tak, aby její obsah ve výsledné směsi byl pro všechny receptury shodný. Postupně bylo tedy snižováno množství záměsové vody v závislosti na rostoucí vlhkosti třísek. V případě poslední receptury obsahující třísky o vlhkosti 90% byla zcela eliminována záměsová voda a navíc i část vody potřebné pro rozmísení mineralizačních složek. Připravená směs byla navrstvena do forem a následně lisována přítlakem cca 25N.mm-2. Takto slisovaná směs byla přemístěna do propařovací komory. Vyjmutí forem z tohoto prostředí a odformování těles následovalo až po cca 10 hodinách.

Z hlediska výroby desek lze shledat problematickým právě fázi lisování směsi. V případě směsi obsahující třísky o vyšším množství vlhkosti totiž může docházet k vytěšňování této vody. Při úniku vody by mohlo být vyplaveno i určité množství mineralizačních přísad, příp. cementu. Při vlhkosti obsažené v třískách na rozdíl od směsi, kde je obsažena „volná“ záměsová voda je toto riziko mnohem vyšší. Důvodem je skutečnost, že voda putuje z třísek (tedy přes jejich povrch), který obsahuje roztok vody vč. mineralizačních složek a je obalen cementovou pastou. Toto by se pak negativně projevilo na

průběhu hydratačního procesu a tedy i finálních vlastnostech cementotřískových desek. Průběh hydratace byl sledován ve stáří 2, 3, 8, 14 a 28 dní. Bylo analyzováno jednak mineralogické složení matrice – identifikace a kvantifikace typických hydratačních fází. Pro hodnocení krystalických fází bylo využito rentgenové a diferenční termické analýzy. Mikrostruktura byla zkoumána pomocí skenovacího elektronového mikroskopu. Při studiu mikrostruktury byl kladen důraz zejména na matrici desek. Ve stáří 8 a 28 dní byly ověřeny také základní fyzikálně-mechanické parametry – objemová hmotnost, pevnost a modul pružnosti v ohybu, pevnost v tahu kolmo na rovinu desky vč. vlivu cyklického působení mrazu a vody. Parametry byly testovány v souladu s platnými technickými normami [4] až [7].

3. Výsledky a jejich diskuze

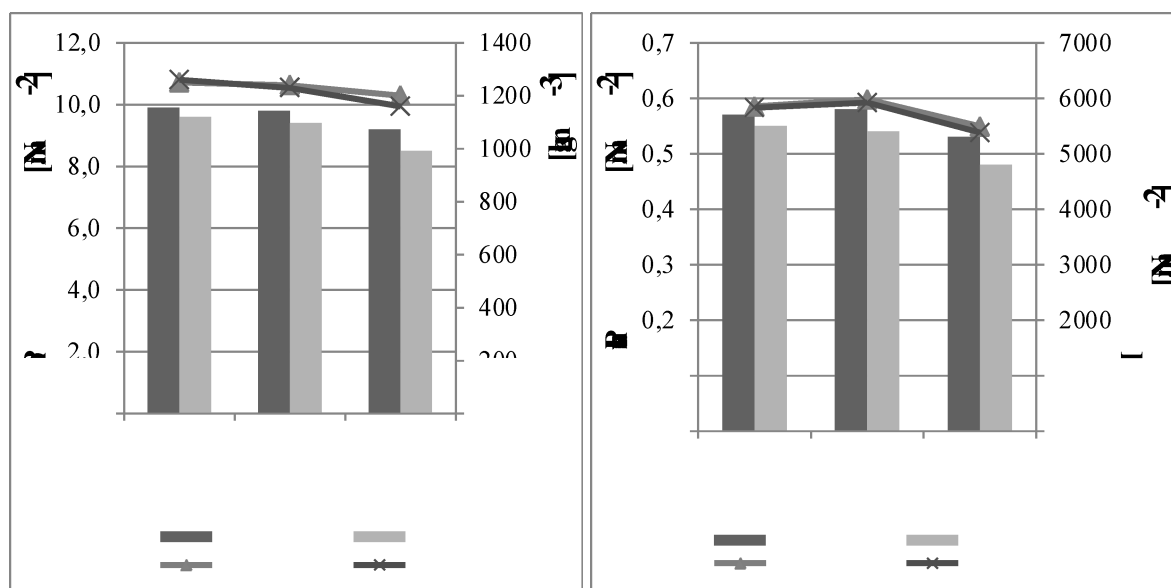
Fyzikálně-mechanické parametry byly sledovány ve stáří 8 a 28 dní. Z hlediska normových požadavků jsou podstatné vlastnosti testované po 28 dnech, kdy byla testována i trvanlivost, tj. odolnost vůči cyklickému působení mrazu a vody. Stáří 8 dní pak charakterizuje reálné podmínky výroby desek. Po 7 dnech jsou pak podrobeny druhému cyklu protěplování s následnou úpravou formátu a případně expedicí. Jak je patrné z výsledků zkoušek, všechny receptury jsou s ohledem na sledované vlastnosti poměrně vyrovnané (viz Obr. 1 a 2). Nejlépe lze hodnotit desky vyrobené z třísek o 30 % vlhkosti. Dále je patrné, že s rostoucím stářím se snižují difference mezi jednotlivými recepturami. Zajímavé je rovněž porovnání pevnostních parametrů s modulem pružnosti. Zde lze vypořádat odlišnosti v průběhu jednotlivých veličin. Pevnosti v ohybu se vyznačují rostoucí tendencí v závislosti na zvyšující se vstupní vlhkosti třísek. Naopak nejvyšší pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky dosahovala receptura obsahující třísky o vlhkosti 60 %. Na základě průběhu fyzikálně-mechanických vlastností lze částečně usuzovat na mírný vliv vlhkosti třísek.



Obr. 1, 2: Komparace stanovených fyzikálně-mechanických parametrů v závislosti na rozdílném stáří a vlhkosti třísek

Z průběhu hodnot parametrů zjišťovaných v rámci posouzení mrazuvzdornosti (viz Obr. 3 a 4) je zřejmý vliv vlhkosti třísek, kdy receptury s třískami o nejnižší vlhkosti dosahují

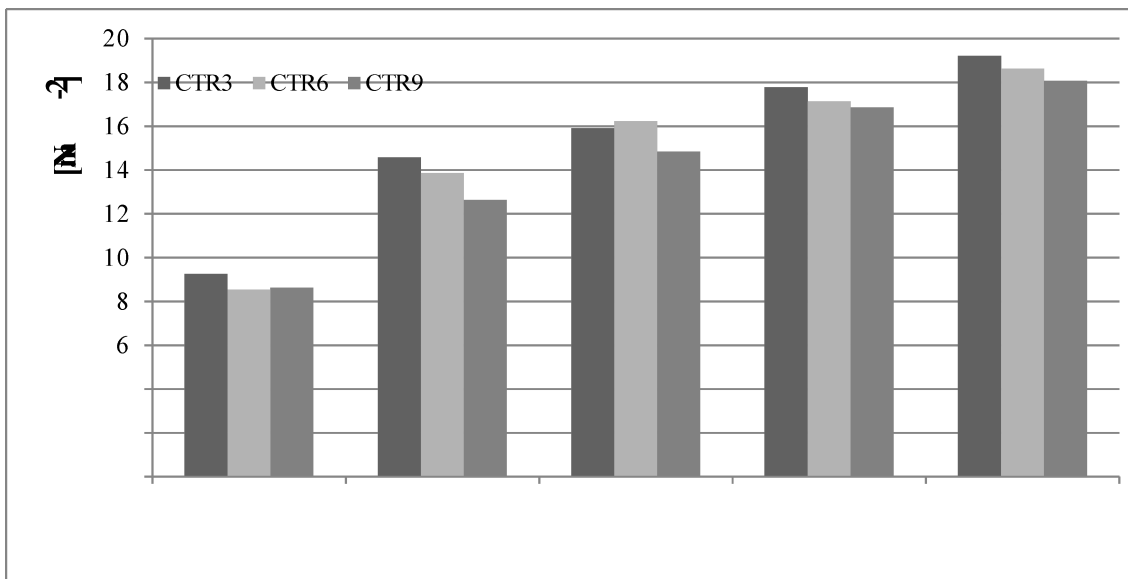
nejlepších parametrů. Pokles parametrů vlivem zvyšující se vlhkosti třísek však není nikterak zásadně výrazný. Modul pružnosti v ohybu prakticky cyklickým působením mrazu a vody ovlivněn nebyl.



Obr. 3, 4: Komparace stanovených fyzikálně-mechanických parametrů v závislosti na rozdílném stáří a vlhkosti třísek (mrazuvzdornost)

Pro studium kinetiky hydratačního procesu matrice cementotřískových desek byl využit komplex analýz kombinující diferenční termickou analýzu, rentgenovou difrakční analýzu a elektronovou mikroskopii. Rentgenovou analýzou byly identifikovány základní fázové složky matrice. Důraz byl kladen zejména na slinkové minerály a hydratační produkty. Ve všech analyzovaných vzorcích byly identifikovány v podstatě totožné mineralogické složky až na nepatrné rozdíly. Mnohem zajímavější jsou však průběhy jednotlivých difrakčních linií. Z těchto lze částečně posoudit dvě skutečnosti. V první řadě intenzita píků identifikovaných složek vypovídá o jejich množství v analyzovaném materiálu. Dále hodnota intenzity jednotlivých minerálů charakterizuje jejich morfologii – tj. jak je daný minerál vyvinutý. Z difraktogramů reprezentativních vzorků ve stáří 2 dny a 28 dní lze velmi dobře zpozorovat, jak dochází k vývoji portlanditu a kalcitu, což je doprovázeno poklesem difrakčních maxim slinkových minerálů. Diference jsou patrné také mezi recepturami. Lze např. zřetelně evidovat poměrně výrazný rozdíl např. při 18° , což je pík charakteristický pro portlandit. Tento se snižuje s rostoucí vstupní vlhkostí třísek a tedy i nižším množstvím záměsové vody.

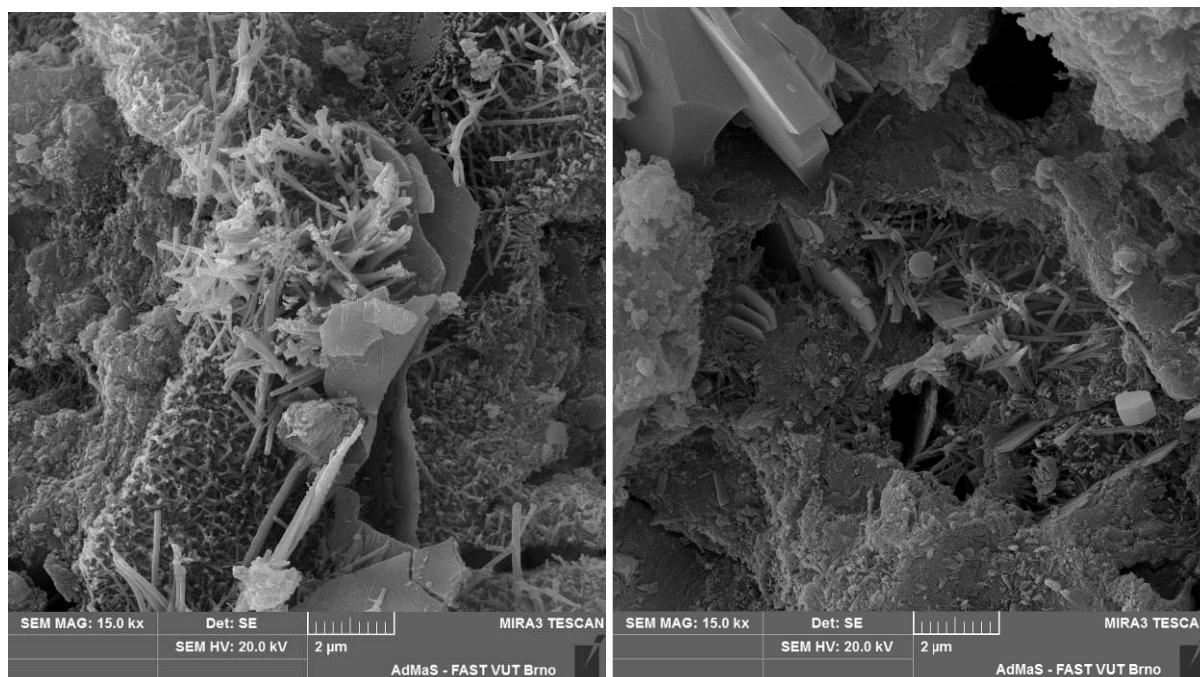
Pro kvantifikaci hydratačního stupně byl vybrán obsah CaO připadajícího na $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (portlandit) a CaCO_3 (kalcit). Tuto hodnotu lze považovat za poměrně objektivní ukazatel průběhu hydratačních reakcí. Nejprve však bylo nutné vyloučit úbytek hmotnosti související s exotermní prodlevou při teplotě 200°C až 500°C . V tomto intervalu totiž docházelo k termickému rozkladu mineralizovaných třísek. S ohledem na objektivnost byly tedy hodnoty při výpočtu vztaženy pouze na matici. Výsledky stanovení obsahu CaO připadajícího na portlandit a kalcit jsou uvedeny v následujícím grafu (viz Obr. 5). Výsledné hodnoty obsahu CaO korespondují s pevnostmi v ohybu (viz Obr. 1).



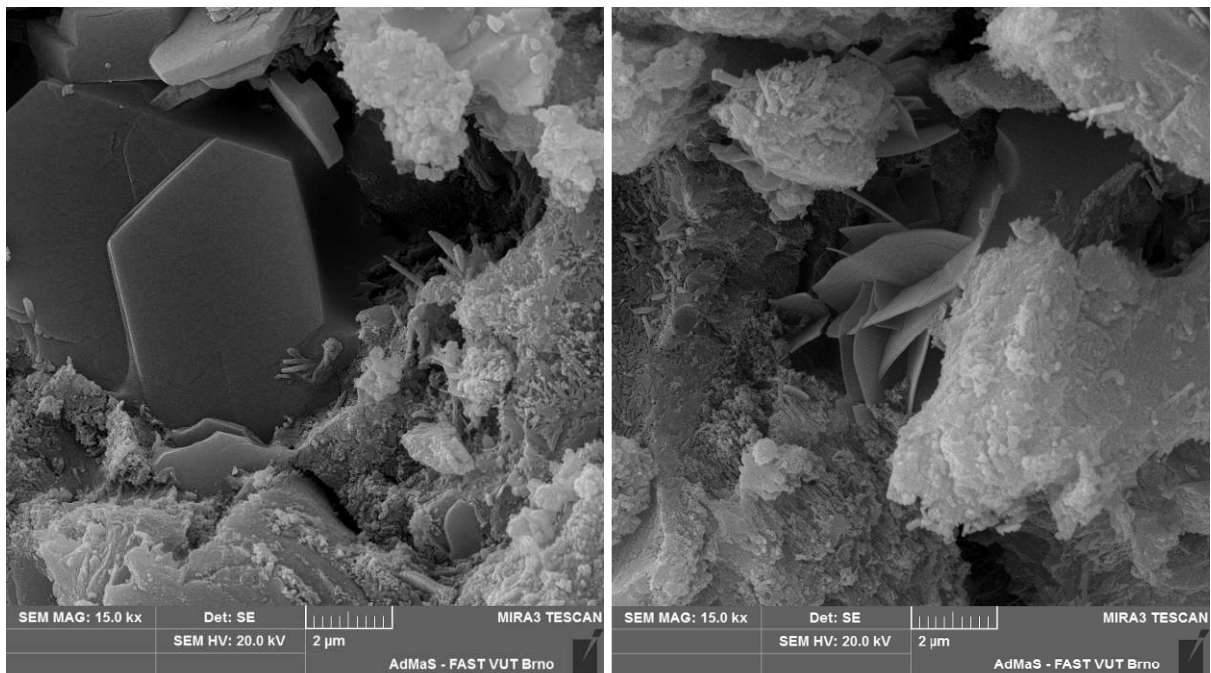
Obr. 5: Komparace obsahu CaO připadajícího na portlandit a kalcit jednotlivých receptur ve stáří 2 až 28 dní

Množství CaO připadajícího na sledované složky jasně poukazuje na mírně negativní vliv vstupní vlhkosti třísek jako plniva směsi pro výrobu cementotřískových desek. Pouze u vzorků odebraných ve stáří 8 dní došlo ke zvýšení obsahu CaO u receptury CTR6. Dále je patrné, že difference jsou výraznější mezi recepturami CTR6 a CTR9. Lze tedy usuzovat rovněž na vliv snížení množství vody na úkor potřebné dávky pro rozmísení mineralizačních přísad.

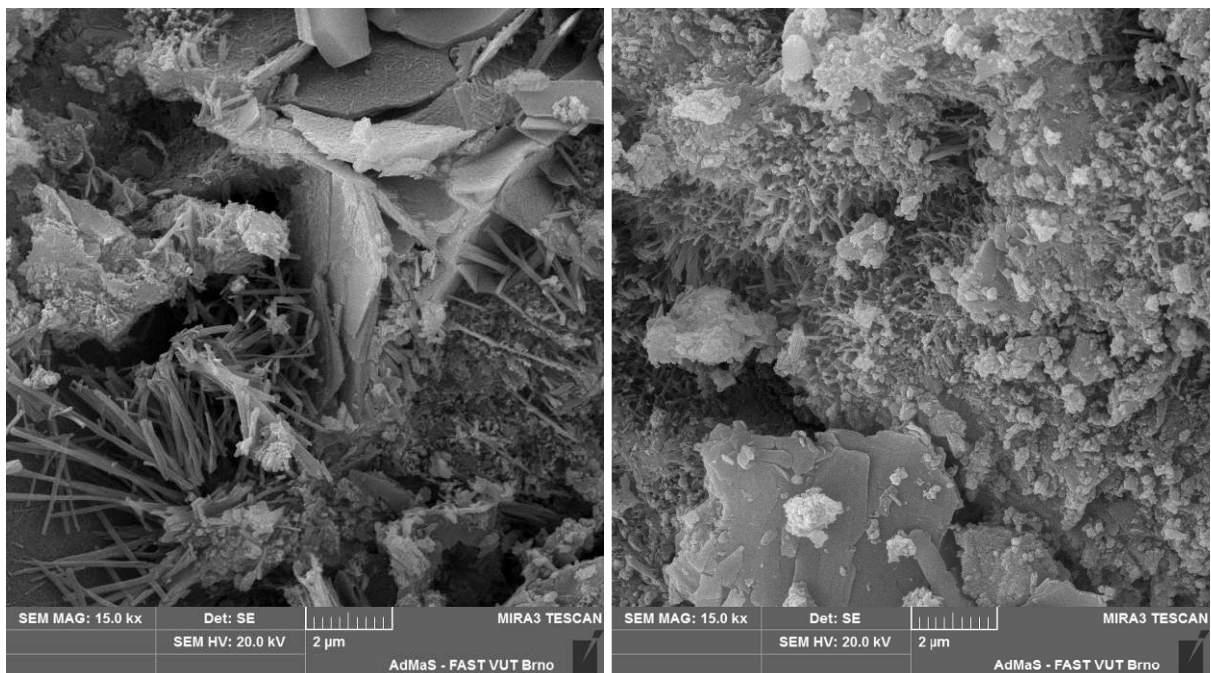
Na následujících obrázcích (viz Obr. 6 až 13) jsou zachyceny vybrané snímky mikrostruktury sledovaných receptur obsahujících třísky o rozdílné vlhkosti v rozmezí 30 až 90 %. Pro názornost jsou uvedeny pouze snímky vybraných reprezentativních vzorků CTR3 a CRT9.



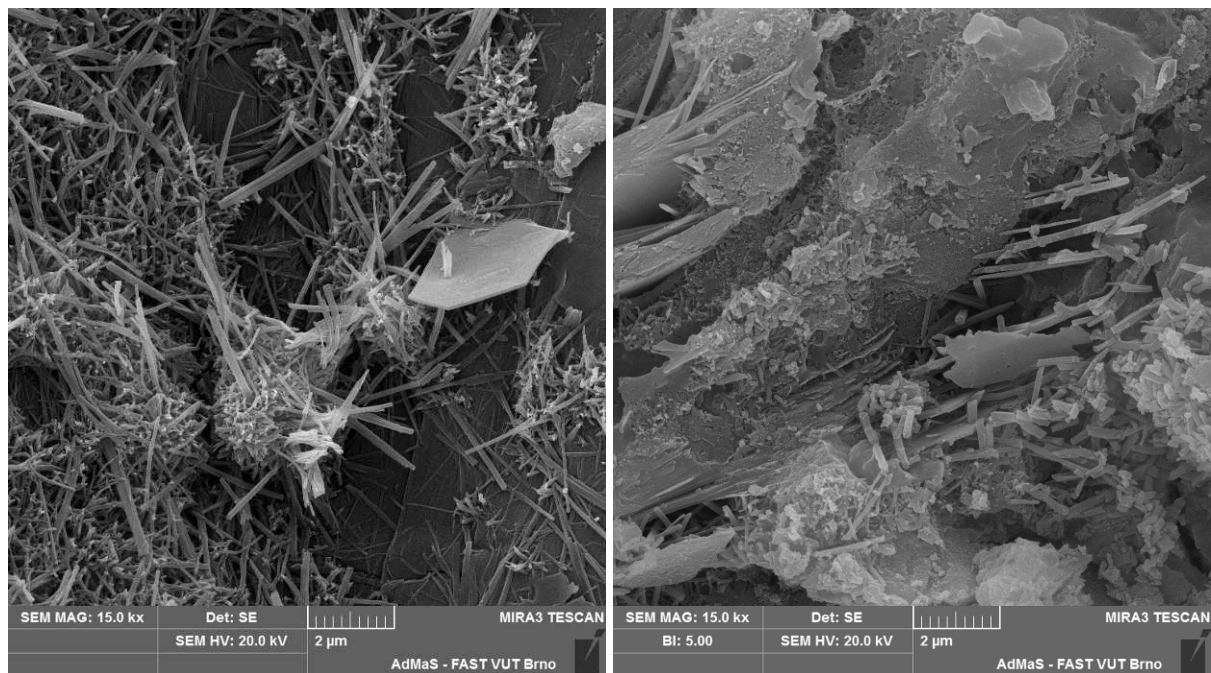
Obr. 6, 7: Mikrostruktura CTR3 (vlevo) a CTR9 (vpravo), stáří 2 dny, zvětšení 15000×



Obr. 8, 9: Mikrostruktura CTR3 (vlevo) a CTR9 (vpravo), stáří 8 dní, zvětšení 15000×



Obr. 10, 11: Mikrostruktura CTR3 (vlevo) a CTR9 (vpravo), stáří 14 dní, zvětšení 15000×



Obr. 12, 13: Mikrostruktura CTR3 (vlevo) a CTR9 (vpravo), stáří 28 dní, zvětšení 15000×

Rozdíl ve vývoji mikrostruktury je patrný zejména ve stáří 8 dní, kde jsou u vzorku CTR3 zaznamenány lépe vyvinuté krystaly portlanditu, než v případě CTR9 (viz Obr. 8 a 9).

4. Závěr

Provedenými experimenty a jejich podrobným vyhodnocením byl prokázán negativní vliv vlhkosti třísek na průběh hydratace a finální vlastnosti cementotřískových desek. Tuto skutečnost potvrdily jak fyzikálně-mechanické zkoušky, tak fyzikálně-chemické analýzy. Rovněž byl zaznamenán vliv na trvanlivost. Diference jsou patrnější v případě použití třísek o vlhkosti 90 %, kdy bylo třeba zcela eliminovat záměsovou vodu a částečně vodu potřebnou na mineralizaci třísek. Je pravděpodobné, že došlo k narušení mineralizační vrstvy, resp. povlaku třísek a tím uvolnění cukrů obsažených ve dřevní hmotě. Toto mělo za následek zpomalení hydratačního procesu. Dobře zpozorovatelná je tato skutečnost u kvantifikovaného množství CaO připadajícího na portlandit a kalcit matrice desek. Přes výše uvedené se však jedná pouze o změny v menším měřítku. Dále lze konstatovat, že všechny normové požadavky z hlediska vlastností cementotřískových desek jsou splněny (pevnosti a modul pružnosti splňují minimální normová kritéria) a to i pro recepturu CTR9 (tj. obsahující třísky o vlhkosti 90 %). Se zohledněním také výstupů mikrostrukturní analýzy lze tedy konstatovat, že pravděpodobně nedošlo k výraznému vyplavení cementové pasty obalující třísky. Vzhledem ke zjištěným poznatkům je třeba množství vody obsažené v třískách monitorovat se snahou využití třísek s co nejnižší vlhkostí. V případě třísek o vyšší vlhkosti je nutné vhodně zkorigovat množství záměsové vody, příp. vody potřebné pro rozmísení mineralizačních přísad. Důvodem je zachování konstantní vlhkosti čerstvé směsi cementotřískových desek a tím zajištění požadovaných parametrů (pevnosti, modul pružnosti, objemová hmotnost, mrazuvzdornost atd.).

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu FR-TI3/595 „Inovace složení směsi pro výrobu cementotřískové desky“.

5. Literatura

- [1] Mazernian M, Gozali E, Ghalehno M. *The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement paste and cement-bonded particleboard*. Journal of Applied sciences. May 2011, ISSN 2186-2192.
- [2] Soroushian P, Won J.-P, Chowdhury H, Nossoni A. *Development of accelerated processing techniques for cement-bonded wood particleboard*. Cement and concrete composites. October 2003, Volume 25, Issue 7: 721-727.
- [3] Maail R, Umemura K, Aizawa H, Kawai S. *Curing and degradation processes of cement-bonded particleboard by supercritical CO₂ treatment*. Journal of Wood Science. August 2011, Volume 57, Issue 4: 302-307.
- [4] ČSN EN 310 Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, ČNI, 1995.
- [5] ČSN EN 323 Dosky z dřeva. Zjišťování hustoty, ČNI, 1994.
- [6] ČSN EN 319 Třískové a vláknité desky. Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky, ČNI, 1994.
- [7] ČSN EN 1328 Cementotřískové desky – Stanovení odolnosti proti mrazu, ČNI, 2008.