

## Posudek disertační práce

Uchazeč Ing. Tereza Plaček OtcovskáNázev disertační práce Analýza Isožení nepálené hlíny zkouškou methylenovou modří a korelace s výslednými vlastnostmi dusané hlínyStudijní program Stavební inženýrstvíŠkolitel doc. Ing. Pavel Padevět, Ph.D.Oponent Ing. Jan Růžička, Ph.D.e-mail jan.ruzicka@fsv.cvut.cz

### Aktuálnost tématu disertační práce

komentář: Vyšší míra využití přírodních stavebních materiálů v praxi je jednou z možností naplnění principů udržitelné výstavby. I když jsou konstrukce z nepálené hlíny zcela specifické a samotná technologie dusané hlíny má svá specifika i limity, mají tyto konstrukce v současné praxi v rámci naplňování principů udržitelné výstavby uplatnění. Z tohoto pohledu je téma disertační práce velmi aktuální.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Splnění cílů disertační práce

komentář: Mineralogické složení hliněné směsi zcela zásadně ovlivňuje její vlastnosti a chování prvků a konstrukcí u ní. Cílem práce bylo ověřit vhodnost testu methylenovou modří pro stanovené mineralogického složení hliněné směsi. I když práce neprokázala jednoznačně, že v současném stádiu rozpracovanosti je zvolená metoda jednoznačně průkazná a v praxi použitelná, cíle práce byly naplněny.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Metody a postupy řešení

komentář: Úvodní část disertační práce je věnována rešerši problematiky. Rozsah záběru rešeršní části je dostatečný, ale mohla by být zpracována do větší hloubky. Problematika konstrukcí z nepálené hlíny a dusaných konstrukcí není uvedena přesně a jednoznačně do do širšího kontextu současného stavebnictví, udržitelné výstavby a možnosti využití těchto konstrukcí v praxi.

Metoda pro experimentální část ověřující vhodnost testu methylenovou modří byla zvolena vhodně. Je však škoda, že v části mechanických zkoušek práce nenavázala na již provedené experimenty a nedokázala je dále rozvinout. Pro zkoušky pevnosti v tlaku zvolila autorka zcela specificky velikost vzorků i způsob jejich namáhání, který navíc neodpovídá namáhání prvku zabudovaném v konstrukci. Je otázkou zda to byl záměr, či důsledek nedostatečné recenze. Je tak otázkou, jak výsledky správně interpretovat a zda je možné je porovnat s jinými pracemi. Nabízela se vhodnější forma, jak experiment provést.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář: V části ověřující vhodnost testu methylenovou modří jsou výsledky práce přínosné, i když se v současném stádiu rozpracovanosti vhodnost této metody pro širší praktické využití přímo neprokázala. V části stanovení mechanických vlastností je možné relativní porovnání výsledků v rámci prováděného experimentu, ale s ohledem na nestandardní způsob provedení testu není možno porovnat výsledky s jinými experimenty, což je i vzhledem k velkému počtu vzorků škoda.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář: Experimentální výzkum má ve výzkumné oblasti nezastupitelné místo. Jednou ze specifik přírodních materiálů, dusanou hlinu nevyjímaje, je stále malé množství experimentálních výsledků, vysoký rozptyl vlastností vzorků a z toho vyplývající nutnost větších statistických souborů v neposlední řadě vysoká pracnost při přípravě a zpracování vzorků. Z tohoto pohledu je význam práce nadprůměrný a provedené experimenty jsou bezesporu přínosem pro danou oblast.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář: V určitých částech práce nejsou jednotlivá témata a kapitoly logicky řazeny, což znesnadňuje orientaci v textu. U prezentace výsledků je patrná neobratnost při grafické prezentaci výsledků, tvorbě grafů a tabulek. Jazyková a grafická úroveň práce je na dobré úrovni.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Připomínky

Disertační práce je členěna na 2 části, první je věnována rešerši, druhá se věnuje vlastním experimentálním měřením a jejich vyhodnocení.

Rešeršní část obsahově danou problematiku postihuje dostatečně, nicméně v některých částech by téma zasloužilo přesnější zasazení do kontextu současného stavebnictví a udržitelné výstavby a zároveň hlubší orientaci ve využití nepálené hlíny v současném stavebnictví. K rešeršní části tyto poznámky:

- Motivace a cíle práce – uvedená motivace „potřeba rekonstrukce naší hliněné chalupy“ (str. 1) je sice pádný argument, nicméně ambicí doktorské práce by mělo být především posunout znalosti v daném oboru. Dusaná hlína pro současné stavebnictví představuje zcela specifickou a do jisté míry, zejména v evropském kontextu, okrajovou materiálovou a technologickou variantu, stejně tak ojediněle se na našem území vyskytuje i v historických konstrukcích. Není tedy součástí naší stavební tradice, na rozdíl např. od nepálených cihel. Přesně formulovaná motivace a cíle práce by tak lépe pomohly k jejímu celkovému pochopení. Na dusanou hlinu je možno hledět dvěma pohledy. Low-tech přístup s vysokým podílem ruční práce a využitím surovin z místa stavby lze uplatnit v sociálně a ekonomicky specifických podmínkách, kde se čerpá především z místní stavební tradice a zpravidla nejsou vysoké nároky na statické parametry konstrukcí vzhledem k nízkopodlažní zástavbě. Naopak při high-tech přístupu se předpokládá maximální efektivnost zpracování a využití environmentálních benefitů nepálené hlíny a snahou zajistit v maximální míře stálost vlastností a kvalitu provedení. Tento přístup předpokládá využití sofistikovaných metod pro sledování vlastností surovin, výchozích materiálů a výrobních směsí a samozřejmě konstrukcí a výrobků. Také předpokládá tlak na ekonomickou efektivnost, minimální rozptyl vlastností konstrukcí atd. Jako jednu z efektivních technologických variant lze využít prefabrikaci, která eliminuje řadu technologických nevýhod. Tyto dva přístupy, tedy low-tech a high-tech by se neměly plést, každý má svá specifika, ale je samozřejmě možná vzájemná inspirace.

- Terminologie – vrstvené vs. navrstvené vs. nakládáné konstrukce – pojmosloví v oblasti nepálené hlíny není ustálené, často čerpá z cizojazyčných jazykových zdrojů (angličtina, němčina, slovenština...) nebo z lokálních krajových výrazů. Každá práce v tomto oboru tak do jisté míry pomáhá utvářet odborný slovník. Autorka v přehledu historických hliněných konstrukcí (kap. 2.1, str. 6) a v přehledu mechanických vlastností dusané hlíny (kap. 5, str. 18) uvádí jako jednu z historických technologických variant „vrstvené konstrukce“. Tato technologie patří k nejprimitivnějším stavebním postupům, historicky byla používána v Anglii a označována „cob“, ve Francii („bauge“). Na území ČR se vyskytuje velmi okrajově, lokálně na Moravě, pravděpodobně inspirována ze Slovenska, kde byla využívána v nejhudších oblastech častěji. Byla označována jako „nakládáná“ konstrukce, toto označení vychází z technologie, kdy se konstrukce stěny tvoří vertikálním vrstvením plastické směsi hlíny a slámy, tzv. „nakládání“. Výsledný tvar se pak upravuje motykou nebo rýčem, otvory se provádí dodatečně. Proti tomu označení „vrstvená“ stěna je v současném kontextu používáno pro sendvičové skladby stěn a zpravidla vyjadřuje jednotlivé vrstvy rovnoběžné s rovinou obvodového pláště. Běžně se používá pro obvodové konstrukce se zateplením. I když označení „vrstvená konstrukce“ v minulosti používali i další autoři (např. Žabičková, Hliněné stavby, 2002), jako výstižnější se jeví pojem „nakládáná“ nebo „navrstvená“ konstrukce, těmito autory také zmiňovaná.

- Nepálená a dusaná hlína v současném stavebnictví a architektuře – v kap 3, věnující se současnému stavu hliněného stavitelství je uvedena pouze rešerše vědeckých článků a publikací, prodejní ukazatele dvou tuzemských výrobců nepálené hlíny, ale chybí příklady moderních staveb a projektů. Jejich prezentace by prospěla lepšímu zakotvení tématu práce v současném stavebnictví.

- Dusaná hlína a prefabrikace – prefabrikace představuje jednu z efektivních, a možná jedinou v širším měřítku použitelnou, možnost současného využití dusané hlíny v současném high-tech pohledu na stavebnictví. Jediná zmínka o prefabrikovaných prvcích je v kap 4.3.3, str. 16, zde jsou ale prezentovány hliněné desky pro suchou výstavbu (alternativa k SDK, SDV apod.), nejedná se o konstrukční prvky. Přitom existuje řada projektů, které tuto technologii využívají.

- Vlastnosti dusané hlíny – obecný přehled mechanických vlastností dusané nepálené hlíny z literatury je uveden v kap. 5. V tab. 4 na str. 19. Výčet je uveden povrchně, vlastnosti jsou uvedeny bez kontextu. Např. velikost vzorků, tzv. scale factor, je u nepálené hlíny jedním z důležitých aspektů, bylo záhodno tento fakt alespoň okomentovat. Zároveň v přehledu nejsou uvedena data z disertační práce Development and Experimental Verification of Mechanical-physical Properties of Pre-formed Rammed Earth Wall Panel (Havlík, 2017), která se tímto tématem obšírně zabývá a je uvedena jako zdroj v literatuře [63].

- Rychlost vysychání – autorka správně uvádí, že rychlost vysychání hliněných konstrukcí je důležitý technologický a statický parametr a věnuje se tomuto problému v kap. 5.3. str. 22. Pro přehlednost celé práce je matoucí, že vlastní experiment na toto téma je uveden v rešeršní části, a nikoliv ve vlastní experimentální části. Je pak otázka jak samotnou metodiku testu vysychání a výsledky interpretovat:

- o chybí přesný popis experimentu, počet vzorků, počet měření, časy měření a statistické vyhodnocení;

- o rychlost vysychání není zcela určitě lineární, ale mění se v čase, na počátku při vyšší vlhkosti vzorku je rychlejší;

- o je otázkou proč byla zvolena metoda dosažení úrovně 50 % a 85 % původní vlhkosti a nikoliv, jak je běžné, dosažení tzv. rovnovážné vlhkosti (definováno příslušnou normou);

- o metodologicky zajímavější by bylo kontinuálně sledovat rychlost vysychání, tj. úbytek vlhkostní hmotnosti v čase a porovnat jednotlivé vzorky z hlediska poměru vysychající plochy k délce vzorku, tj. k hloubce vysychání;

- o otázkou je, jak výsledky interpretovat pro praktické využití – maximální délka vzorku byla 80 mm, přitom běžné stavební konstrukce z dusané hlíny dosahují tloušťky až řádově větší, tj. 300-600 mm.

Rešeršní část je zakončena vysvětlením významu mineralogického a granulometrického složení hlíny na její vlastnosti a v této souvislosti možný přímost testu methylenovou modří na identifikaci jílových směsí a tím predikci chování materiálů a konstrukcí z nich.

Experimentální část disertační práce se věnuje ověření možnosti využití testování mineralogického složení hliněné směsi metodou methylenové modři MM a jejímu možnému uplatnění v praxi a vlivu mineralogického složení na mechanické vlastnosti dusané nepálené hlíny.

K části věnující se testování metodou methylenové modři MM tyto komentáře:

- Pro ověření metody byly použity čtyři druhy jílu (montmorillonitový, kaolinitový, illito-kaolinitový, illitový) smíchané ve 4 různých poměrech (100 %, 75 %, 50 % a 25 % jílu) s plnivem (písek) (tab.17). Trochu nelogicky není tento přehled směsí uveden v kap. 10.4 Příprava zkoumaného materiálu, ale až v kap. 13 Adsorpční schopnost jílu.
- Výsledky testů MM jsou uvedeny v tab. 18, 19 na str. 57 a na obr. 39, 40 str. 58. a 41 na str. 60. Grafické zobrazení výsledků by mohlo být přehlednější a konzistentnější. Grafy na obr. 39 mají zavádějící měřítko svislé osy adsorbovaného barviva [g/kg]. Pokud porovnáme stejnou veličinu u různých vzorků nebo jejich sad, mělo by být u všech grafů shodné měřítko, aby vizuální informace byla na první pohled jednoznačná.
- V kap. 14 jsou uvedeny výsledky analýzy rychlosti adsorpce barviva při testu MM. Tyto testy byly provedeny na 3 typech jílu bez pískového plniva. Test nebyl proveden na illito-kaolinitovém jílu. Výsledky jsou prezentovány na obr. 46. str. 64, opět je nešikovně zvoleno měřítko svislých a vodorovných os grafů, vizuální informace a porovnání jednotlivých sad není přehledné. Naopak přehledně jsou výsledky prezentovány na obr. 48, na str. 69, kde lze rychlost sorpce MM pro jednotlivé druhy jílu na první pohled jednoznačně porovnat.
- Výsledky zkoušky rychlosti adsorpce pro jílové směsi s příměsí písku jsou prezentovány v kap. 14.2.
- Návrh metody na využití testu MM pro identifikaci mineralogického složení je uveden v kap. 15 a její ověření pak v kap. 16. Ze závěrů uvedených v kap. 16.1 vyplývá, že zvolenou metodou lze identifikovat pouze jíly s nejdelší dobou adsorpce, tj. montmorillonity. Tato informace může být užitečná pro další optimalizaci směsi pro dusanou hlínu, neboť montmorillonity se vzhledem k trojvrstvé skladbě minerálů vyznačují velkými objemovými změnami vlivem vlhkosti (bobtnání), což při aplikaci přináší značná rizika – smršťování a tvorba trhlin.

V další části práce jsou prezentovány výsledky a analýza mechanických zkoušek – zkoušky pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu. K této části následující poznámky:

- Pevnost v tlaku běžných stavebních materiálů se testuje na vzorcích různé velikosti, zpravidla na krychlech různých rozměrů od velikosti 40x40x40 mm, kvádrech a válcích. Autorka prováděla zkoušky na sloupcích 40x40x160 mm, resp. 20x20x100 mm „na stojato“ (obr. 72, str. 100). Při takto provedené zkoušce jsou výsledky se zkouškami krychelné pevnosti neporovnatelné, neboť výsledky ovlivňuje i vliv vzpěru. Zároveň při takto provedené zkoušce je těleso namáháno kolmo na směr dusání, což je naprosto odlišné od běžného působení v konstrukci, kde směr namáhání je v naprosté většině případů rovnoběžný se směrem dusání. Autorka dále ověřovala chování na vzorcích různé velikosti pro různé jílové minerály, s různým poměrem písku a s různým množstvím záměsové vody. Z výsledků je patrné, že typ jílu, míra ostření pískem a množství záměsové vody ovlivňuje výsledky, stejně jako velikost vzorků, tzv. scale factor. Je ale otázkou, jak lze při takto atypicky provedeném experimentu výsledky interpretovat, nakolik je lze zobecnit a srovnat s chováním ostatních stavebních materiálů, neboť běžné dosahuje krychelná pevnost vhodných směsí pro konstrukce z dusané hlíny na vzorcích 40x40x40 mm 3 až 10 MPa. Je otázkou proč nebyly na zkoušky pevnosti v tlaku využity zlomky vzorků ze zkoušky z tahu za ohybu?
- Zkoušky pevnosti v tahu za ohybu jsou provedeny obvyklým způsobem, výsledky lze porovnat s jinými experimenty, dosažené hodnoty pevnosti v tahu za ohybu se řadí k podprůměrným výsledkům.
- Souhrnnému porovnání výsledků a množství variant zkušebních vzorků by pomohla lepší grafická úprava, tj. shodná měřítka os grafů atd.
- Závěrečná kapitola pak uvádí do souvislosti test MM s dosaženými pevnostmi, ze kterých vyplývá, že jílové směsi s přítomností montmorillonitu vykazují vyšší pevnosti než s ostatními materiály.

Dotazy k obhajobě disertační práce:

1. Jaký potenciál vidí autorka v konstrukcích z dusané hlíny pro současné stavebnictví a architekturu a jaký vidí potenciál v prefabrikaci konstrukcí z dusané hlíny?
2. Z jakého důvodu byla zkouška pevnosti v tlaku prováděna takto netypicky, jak uvedeno výše?
3. Práce prokázala, že metodou testu methylenovou modří MM lze spolehlivě identifikovat pouze jeden typ jílových minerálů. Lze tuto metodu dále vyvíjet, aby byla spolehlivější? Jaký směr v optimalizaci autorky dále vidí?

### Závěrečné zhodnocení disertace

Vliv mineralogického složení na chování konstrukcí z nepálené hlíny je klíčový. V praxi je stanovení mineralogického složení nákladné a zdlouhavé, často bývá nahrazováno tzv. polními empirickými zkouškami. Práce prověřovala, zda test methylenovou modří MM může určit mineralogické složení hliněných směsí a tím určit vhodnost směsi pro konstrukce z dusání hlíny, případně umožnit optimalizaci směsi různými příměsemi.

Experimentální výzkum má ve výzkumné oblasti nezastupitelné místo. Jedním ze specifík přírodních materiálů, dusanou hlínu nevyjímaje, je stále malé množství experimentálních výsledků, vysoký rozptyl vlastností a nutnost velkých statistických souborů pro možné zobecnění při další interpretaci výsledků a v neposlední řadě obrovská pracnost při přípravě a zpracování vzorků. Z tohoto pohledu je význam práce nadprůměrný a výsledky experimentů bezesporu přínosem pro tuto oblast. Je ovšem škoda, že statické experimenty nebyly provedeny zavedenými postupy, resp. že se autorka v rámci rešerší neseznámila s výsledky jiných prací na toto téma, data pak mohla být porovnatelná i s jinými pracemi, což by byl velký přínos v dané oblasti.

V části ověřující vhodnost testu methylenovou modří jsou výsledky práce velmi přínosné, i když se v současném stádiu rozpracovanosti vhodnost této metody pro širší praktické využití přímo neprokázala.

Celkově doktorandka prokázala schopnost samostatné vědecké práce, nabyla zkušenosti s experimentálním výzkumem i statistickým vyhodnocením výsledků.

Práci doporučuji k obhajobě.

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D.  ano  ne

Datum: 31. 8. 2021

Podpis oponenta: 