

Posudek oponenta diplomové práce

Autor práce: Bc. Jitka Uchytlová

Název práce: Využití regresní analýzy a tvrdoměrných metod při vyhodnocování pevnosti betonu v tlaku v prefabrikovaných dílcích

Oponent práce: Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.

Popis tématu práce:

Předložená diplomová práce „Využití regresní analýzy a tvrdoměrných metod při vyhodnocování pevnosti betonu v tlaku v prefabrikovaných dílcích“ zpracovává zadanou problematiku na 84 stranách včetně příloh, což je možné považovat za vyhovující obvyklým požadavkům na diplomové práce. Předložená práce Bc. Jitky Uchytlové je rozdělena do 4 hlavních kapitol (Využití tvrdoměrných metod v praxi, Teorie statistické analýzy dat, Praktická část a Závěr), ke kterým lze započítat i Úvod (ačkoliv není tímto způsobem očíslován). Po prostudování práce mohu konstatovat, že studentka Jitka Uchytlová cíle práce bezpochyby splnila. Podrobně se se zadanou problematikou seznámila, provedla rozsáhlý experiment, získaná data poté vyhodnotila a na jejich základě formulovala jasné a srozumitelné závěry.

Hodnocení práce:

Hodnocení	Výborné	Velmi dobré	Dobré	Nedostatečné
Soulad předložené práce se zadáním	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Odborná úroveň práce	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hodnocení schopnosti zpracování řešeného tématu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metody zpracování řešeného tématu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Využití odborné literatury a práce s ní	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Formální a grafická úprava práce	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Připomínky a dotazy k práci:

Teoretická část zaujímá plných 27 stran textu. Velmi kladně hodnotím zejména fakt, že se studentka věnuje pouze záležitostem, které s náplní práce opravdu úzce souvisí, a teoretická část tak není zbytečně vyplněna „obsahovou vatou“ v podobě neúčelných informací, které s provedeným experimentem a jeho vyhodnocením vůbec nesouvisí. Především část „Teorie

statistické analýzy dat“ na mne udělala opravdu dojem. Teorie analýzy dat je pasáž rozsáhlá, ale současně je podána srozumitelně a přehledně. Domnívám se, že předložená práce je v tomto kontextu bezprecedentní a do takové hloubky statistických vod se doted' na Fakultě stavební ponořilo naprosté minimum diplomových prací, pokud vůbec nějaká.

Praktická část zaujímá 26 stran textu a co se práce s naměřenými daty týká, naplno využívá potenciál předchozích pasáží. Experimentálně zjištěná data jsou vyhodnocena sofistikovaně a na první pohled je vidět, že se Bc. Jitka Uchytlová nad způsobem vyhodnocení zamyslela. Je také patrné, že zpracování je nejen obsahově, ale také graficky na vysoké úrovni. Využití vysokoúrovňového skriptovacího programovacího jazyka Python se na výsledném dojmu z diplomové práce podepsalo bezpochyby kladně a zaslouží si pochvalu. Celkově je diplomová práce zdařilá, přestože k ní mám několik připomínek:

- Úvod bych osobně začlenil do číslování hlavních kapitol, kterých by tedy bylo celkem 5, anebo bych z číslování vyjmul kromě Úvodu také Závěr (hlavní kapitoly by byly 3).
- V diplomové práci se bohužel nachází poměrně dost překlepů (např. „*paramterů*“, „*zkoušekami*“, „*vyfiltroaných*“ apod.), stylistických nedokonalostí (viz následující čtyři připomínky) a gramatických chyb – nejčastěji se jedná o chybějící čárky v souvětích, méně často o jiné hrubky (např. „*vyvýjen*“, „*vytypovat výběry*“, „*ranné stádium*“, „*hodnota Cookovi vzdálenosti*“ apod.).
- V textu není dodrženo jednotné značení použitých tvrdoměrů. V práci lze proto najít všechny 4 možné způsoby, jak zkombinovat označení pro původní Schmidtův tvrdoměr N (Original Schmidt × OriginalSchmidt × Schmidt Original × SchmidtOriginal) a také 2 způsoby zápisu označení pro druhý použitý tvrdoměr (SilverSchmidt × Silver Schmidt). Doporučuji se tohoto nešvaru v budoucnu vyvarovat a respektovat značení, které uvádí výrobce, tedy Original Schmidt a SilverSchmidt PC (zajímavostí je, že nový tvrdoměr výrobce značí Silver Schmidt OS8200, tedy s mezerou).
- V práci se občas nacházejí věty, které jsou formulovány buď nepřesně (a z toho důvodu jsou zavádějící), anebo nešťastně (např. „*Při výrobě prefabrikovaných dílců je mimo jiné zapotřebí sledovat shodu fyzikálně mechanických vlastností betonu*“, „*Tvrdoměrnými zkouškami bývá zpravidla hledán vztah mezi tvrdostí materiálu a jeho tlakovou pevností*“ nebo „*Při dávkování vody je třeba brát v úvahu obsah vody v drobném kamenivu a provádět tedy korekci na vlhkost písku*“).
- Údaje v Tab. 3.3 jsou pojaty hodně „lidově“ a technicky ne zcela správně (*rozliv, teplota na hale, vlhkost na hale*).
- Slovo „viz“ není zkratkou, a proto se za ním nepíše tečka (jedná se o sloveso).
- Nesouhlasím s tvrzením, že „*měření (pomocí SilverSchmidtu) již také není ovlivněno úhlem, který svírá přístroj a měřená plocha*“. Přístroj by měl vždy se zkoušenou plochou svírat pravý úhel. Měření není ovlivněno jeho směrem (vodorovný, svislý apod.).
- Tvrdoměr s označením *Silver Schmidt LM* (je uveden v Tab. 1.1) neexistuje, jedná se pouze o interní označení tvrdoměru typu L s hříbovitým nástavcem – bylo by proto korektní tuto informaci o interním značení uvést.
- Jednoznačně došlo k záměně norem ČSN EN 13791 z roku 2007 a stejnojmenné normy z roku 2020. V textu práce je odkazováno na již neplatnou ČSN EN 13791 z roku 2007 (postup vyhodnocení, tvorba 10% křivky N dle požadavků této normy apod.), v seznamu literatury je ovšem uvedena ČSN EN 13791 z roku 2020. Přestože obě normy mají stejný

název a řeší stejnou problematiku, zásadním způsobem se liší (!). Údaje uvedené v diplomové práci v části 1.4.1 jsou tedy již neplatné.

- Uvítal bych, kdyby část o *referenčních křivkách dle normy ČSN 73 1373* (str. 18 a 19) byla více podrobná. Zatímco pro tvrdoměr Schmidt L jsou uvedeny „kalibrační křivky“ pro všech 5 směrů zkoušení, které norma rozlišuje, pro tvrdoměr Schmidt N jsou uvedeny vztahy jen pro 3 směry, přestože norma uvádí tabulku s hodnotami pro všech 5 směrů. V diplomové práci jsou uvedeny pouze informace, které norma ČSN 73 1373 uvádí v poznámce 12) na straně 11 – uvítal bych, kdyby byly tyto informace v diplomové práci dány do souvislosti s údaji ze stran normy 12 a 13 (norma si totiž protiřečí – myslím si, že by to mělo být v práci, která se tvrdoměrným zkoušením zabývá, minimálně uvedeno a trochu rozebráno).
- Na str. 21 je uvedeno, že *vzdálenost zkušebního místa od hran tělesa nebo konstrukce činí nejméně 30 mm a mezi jednotlivými měřeními 20 mm* (myšleno pro Schmidt N i L dle ČSN 73 1373) – to ovšem není pravda, neboť údaj o minimální vzdálenosti 20 mm mezi jednotlivými údery je v normě definován pouze pro typ L.
- Označení betonu je uvedeno chybně (což ale pravděpodobně není chyba autorky práce). Jedná se o samozhutnitelný beton (SCC), u kterého konzistence není zkoušena dle normy ČSN 12350-5 (Zkouška rozlitím, třídy F1 – F7, platí pro obyčejné betony), ale je zkoušena dle normy ČSN EN 12350-8 (Zkouška sednutí-rozlitím, třídy SF1 – SF3). Zde by se tedy zřejmě jednalo o SF2 (pokud je ale rozlití na spodní hranici F6, může být i SF1). Dále mi přijde zvláštní uvedená pevnostní třída betonu (C 30/37), když průměrná 28denní krychlená pevnost v tlaku byla na 48 tělesech stanovena 61,0 N/mm². Spíše bych to viděl na pevnostní třídě o jednu až dvě vyšší.
- Mám určité výhrady ke způsobu vyhodnocení měření pomocí SilverSchmidtu L:
 - o Obecně bylo stanoveno málo hodnot v počáteční fázi zrání betonu, zejména s pevností v tlaku do 15 N/mm². Drtivá většina hodnot pevnosti v tlaku překračuje 20 N/mm², přičemž nejvíce jsou zastoupeny hodnoty pevnosti v tlaku v rozmezí 25 až 35 N/mm². To je vzhledem ke snaze najít NDT hodnotu pro určení pevnosti 15 N/mm² nepříliš šťastné.
 - o Vyřazení vlivných a odlehých hodnot je v pořádku, a to i ve více iteračních krocích (zde 6) – pokud ovšem situace dospěje do stavu, že jsou vyřazeny **všechny** hodnoty s pevností nižší než přibližně 17,5 N/mm² a s hodnotou Q nižší než přibližně 33 (zopakují, že smyslem práce je hledat hodnotu Q pro pevnost v tlaku 15 N/mm²), něco není v pořádku.
 - o Hodnota Q je v podstatě určena extrapolací hodnot (viz Obr. 3.19), což by dle mého názoru rozhodně nastat nemělo.
 - o Domnívám se, že bylo logické se zamyslet, zda zvolený regresní model (přímka) je pro experimentálně stanovená data vhodný. A jedním dechem dodávám, že si to dle výsledků nemyslím. Za vhodnější variantu jednoznačně považuji exponenciálu – jednak si myslím, že by lépe vystihla zjištěná data a jednak ji zvolili na základě rozsáhlých testů pracovníci Federálního institutu pro výzkum materiálů a testování v Berlíně – BAM.
 - o Samozřejmě si uvědomuji, že volba exponenciály svou obtížností dalece přesahuje (zejména vzhledem ke snaze vytvořit současně charakteristickou křivku) náplň diplomové práce. Proto chápu, že ji autorka nezvolila, v diplomové práci mi ale chybí podrobnější diskuze výsledků a alespoň zmínka o možnosti použít jiný regresní model.
- Podobné výhrady mám i u vyhodnocení měření pomocí Original Schmidtu N:

- I zde poměrně výrazně chybí hodnoty pevností v tlaku v rozmezí 10 až 20 N/mm² a naopak je nejvíce hodnot nad 30 N/mm².
- U Original Schmidtu N byly také vyřazeny vlivné hodnoty, zde naopak všechny hodnoty s vysokou pevností v tlaku. Domnívám se, že i v tomto případě by exponenciála data vystihla podstatně lépe, a opět mi na toto téma chybí v diplomové práci diskuze. Vyřazením hodnot s vyšší pevností v tlaku navíc došlo k posunu charakteristické hodnoty R „na stranu nebezpečnou“ (z 33,77 na 32,14).
- Při odečítání hodnot odrazu (vzdálenosti odrazu) u Original Schmidtu N se hodnoty obvykle uvádějí na celá čísla (1 dílek na stupnici tvrdoměru odpovídá velikosti odrazu 2, přičemž se odečítá na půl dílku) – ještě jsem se nesetkal s tím, aby byla hodnota odrazu odečítána s přesností 0,5 (tedy na čtvrt dílku).
- V Tab. 3.10 je chybně uvedena rovnice normové křivky (správně má být $-29,00 + 1,75 \cdot R$).

K práci mám následující otázky:

1. Píšete, že *nedestruktivní zkouška je normou definovaný pojem označující souhrn úkonů obsahující přípravu měření, nedestruktivní měření a jeho následné vyhodnocení* (str. 12, první odstavec). Která norma nedestruktivní zkoušku takto definuje?
2. Proč bylo na jedné straně krychle provedeno poměrně netradičních 15 měření přístrojem SilverSchmidt L, když na druhé straně krychle bylo provedeno standardních 10 měření přístrojem Original Schmidt N?
3. Proč jste v případech, kdy byla u souboru dat (výsledky tvrdoměrného měření na jedné krychli) zamítnuta hypotéza o jejich normalitě (a jak správně píšete, v tomto okamžiku není možné Grubbsovu testu důvěřovat), nepoužila pro odhalení odlehlých hodnot Deanův-Dixonův test (který v teoretické části jako alternativu uvádíte)?
4. Zjišťovala jste pomocí libovolného statistického nástroje, zda umístění některých zkušebních těles v chladných podmínkách nemá vliv na vztah mezi tvrdostí betonu a jeho pevností v tlaku?
5. Který v práci použitý tvrdoměr byste nové zkušební laboratoři doporučila zakoupit a proč?

Závěr:

Diplomovou práci Bc. Jitky Uchytlové považuji i přes uvedené připomínky za velmi kvalitní, zejména z hlediska vysoké úrovně statistického vyhodnocení naměřených dat, a proto navrhuji hodnocení:

Klasifikační stupeň podle ECTS: **B / 1,5**

Datum: 27. ledna 2021

Podpis oponenta práce.....