

## Posudek disertační práce

Uchazeč Ing. Eva Matoušková

Název disertační práce Hyperspectral imaging and its terrestrial applications

Studijní program Geodézie a kartografie

Školitel prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Oponent Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

e-mail marketa.potuckova@natur.cuni.cz

### Aktuálnost tématu disertační práce

komentář: Obrazová a laboratorní spektroskopie poskytují data o optických vlastnostech (spektrálním projevu) povrchu zkoumaných materiálů. Umožňují tak nedestruktivním způsobem odlišit jednotlivé materiály a nepřímo podat informaci o jejich chemickém složení či fyzikálních vlastnostech. Patří k metodám základního výzkumu, a to nejen v oblasti studijního oboru uchazečky. Využití obou způsobů sběru dat a jejich analýzy v aplikačních oblastech ochrany kulturního dědictví a památkové péče je velmi aktuální a potřebná a skýtá otázky k řešení jak v oblasti teoretické, tak praktické.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Splnění cílů disertační práce

komentář: Cíle disertační práce jsou definovány v kapitole 2. Prvním z cílů bylo prozkoumání a ověření možností hyperspektrálního snímání pro blízké objekty v laboratorních podmínkách před jeho praktickým použitím v průzkumu Karlova mostu. Druhý cíl pak směřoval k vytvoření spektrální knihovny hornin a materiálů historicky používaných ve stavebnictví v Čechách, potažmo ve středoevropském regionu. Ke splnění cílů se autorka vyjadřuje v kapitole 14. Cíle práce byly splněny, v případě druhého cíle nadprůměrně. Je třeba podotknout, že definice obou cílů je velmi široká a měla být specifikována pečlivěji a podrobněji s ohledem na výzkumný charakter, jenž by disertační práce měla mít. V případě hyperspektrálního obrazového senzoru se autorka věnuje jeho využití ve dvou zcela rozdílných aplikacích. Pokud bylo cílem připravit metodiku pro následné využití hyperspektrálního snímání pro zkoumání kamenných bloků Karlova mostu, je část týkající se analýzy obrazů poněkud nelogická a mohl ji nahradit hlubší výzkum v oblasti stavebních materiálů, který se takto omezil pouze na jeden vzorek (více v části Metody a postupy řešení).

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Metody a postupy řešení

komentář: Použité metody a postupy zpracování a analýzy dat získaných obrazovou a laboratorní spektroskopií jsou standardní. Hodnotné je provázání s dalšími metodami, ať už se jedná o infračervenou reflektografii v případě zkoumání výtvarných děl, mikrobiologickou analýzu organické vrstvy pokrývající sledovaný blok pískovce či prvkové složení vybraných stavebních materiálů získané z analýzy měření elektronovým mikroskopem.

Metody a postupy jsou vzhledem k použitému vybavení rozděleny na dvě části. První se týkají pořizování a analýzy hyperspektrálních obrazových dat pořízených senzorem Hyperspec VNIR

(Headwall Photonics Inc.) přizpůsobeným pro snímání blízkých statických objektů. Autorka popisuje technické parametry zařízení. Metody předzpracování dat (radiometrická a geometrická kalibrace) jsou popsány velmi obecně a mají spíše rešeršní charakter, specifika týkající se testovaného zařízení nejsou rozebírána. Praktické využití senzoru a prezentace výsledků provokuje mnohé v textu nezodpovězené otázky. Proč je v disertaci zahrnuta analýza výtvarných děl a proč nejsou cíle této analýzy odraženy v cílech práce? Autorka zmiňuje, že pro analýzu použila mnoho matematických postupů, ale nakonec prezentuje jen PCA. Jaké další postupy použila (kromě SAM klasifikace)? Jsou uvedené závěry v souladu s tím, co je publikována v literatuře? Výřezy obrazů ukazující výsledek infračervené reflektografie a barevné syntézy hlavních komponent by bylo lépe zobrazit ve stejném měřítku pro snazší porovnání rozdílů. Byly případné rozdíly hodnoceny jinak než vizuálně?

V případě čtyřdenního pozorování vzorku "biologicky kontaminovaného" pískovce byly použity dvě metody – výpočet NDVI a klasifikace povrchu kamene s využitím definice tzv. koncových členů a SAM klasifikátoru. V případě výpočtu NDVI opět v popisu experimentu chybí drobnosti jako např. jak se naložilo s opakovaným pozorováním v průběhu dne či která konkrétní pásma byla pro výpočet NDVI použita. Hyperspektrální data nabízejí množství jiných indexů citlivých na chlorofyl, které autorka nezmiňuje.

Druhá část metodiky je věnována měření spektrometrem NIRQuest512-2.5 (Ocean Optics). V počátku autorka řeší metodiku měření, zejména vliv vzdálenosti senzoru od zkoumaného povrchu, vliv úhlu pozorování a zrnitosti povrchu. V případě vzdálenosti není jasné, k jakému etalonu byla měření vztahována, a tudíž proč vzdálenost 5 mm mezi optickým kabelem a povrchem je optimální. V případě vlivu úhlu pozorování nejsou zmíněna žádná teoretická východiska (např. odraz, rozptyl, obousměrná rozptylová distribuční funkce).

Při tvorbě spektrální knihovny autorka provedla rešerši dostupných knihoven a jejich porovnání se spektry naměřených materiálů. Tím jasně prokázala nedostatečnost stávajících knihoven pro plánované aplikace v památkové péči a potřebu její vytvoření. Použitá metodika tvorby vlastní knihovny dvaceti nejpoužívanějších stavebních materiálů je dostatečně popsána a nemám k ní připomínek. Stejně tak další část stanovující zastoupení jednotlivých materiálů ve dvanácti vzorcích převážně omítek a malt je na velmi dobré úrovni. Autorka používá pět v literatuře popsaných postupů analýzy spekter implementovaných v Matlabu, ENVI a softwaru QSDData. Všechny výsledky včetně analýz dat pořízených elektronovým mikroskopem jsou dostatečně popsány a diskutovány.

vynikající    nadprůměrný    průměrný    podprůměrný    slabý

### Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář: Práce přináší množství zajímavých experimentálních poznatků. Škoda je, že některé z nich autorka v konečném shrnutí neuvádí a zůstává u obecných formulací.

Z obecných výsledků/přínosů je třeba zmínit technologický postup měření a zpracování dat jak hyperspektrálním obrazovým senzorem, tak laboratorním spektrometrem. Největší přínos je pak ve vytvoření spektrální knihovny stavebních materiálů, která může být dále rozšiřována dle prezentovaných postupů a může mít široké využití v památkové péči a stavebnictví. Z těch poněkud zapadlých přínosů, které jsou zároveň námětem pro další zkoumání, je otázka rychlosti poklesu vegetačních indexů odrážejících vitalitu organického zeleného znečištění kamene v závislosti na jeho vysychání. Porovnání klasifikace hyperspektrálních dat a biologické analýzy ukázalo problémy v propojení obou výsledků v důsledku rozlišení obrazových dat. Nicméně i to lze chápat jako výzvu pro další zkoumání a interpretaci výsledků.

Práce je doplněna množstvím skriptů pro MATLAB pro automatizované zpracování naměřených dat, které budou dobře využitelné v navazujícím výzkumu a projektech.

vynikající    nadprůměrný    průměrný    podprůměrný    slabý

### Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář: Disertační práce má značný význam pro praxi zejména v oblasti aplikace nových metod v památkové péči a ochrany kulturního dědictví. Výsledky mohou být přímo využity v navazujících projektech katedry geomatiky, v nichž je autorka zapojena.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář: Formální úprava práce je na dobré úrovni. Text je doplněn množstvím obrázků. Vzhledem k jejich počtu (438) se nelze divit, že jejich seznam nebyl připojen. Značnou část disertace tvoří popis vytvořené spektrální knihovny. Tento typ výstupu by si spíše zasloužil samostatnou přílohu. Text práce je srozumitelný s minimem překlepů. Některé výrazy by bylo vhodné revidovat (např. "dense density", "most hyperspectral sensors measure hundreds of wavelengths").

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Připomínky

1. Cíle práce a provedené experimenty by měly být lépe provázané, zejména v případě prvního cíle.
2. Literární rešerše je spíše uvedením do problematiky obrazové a laboratorní spektroskopie a není rešerší sloužící pro zdůvodnění metodických postupů dále využívaných.
3. Veškeré teoretické základy jsou objasňovány pouze slovně. I klíčové fyzikální veličiny jako je spektrální zář či odrazivost jsou pouze popsány.
4. Pro výsledné hodnoty spektrální odrazivosti uváděné ve spektrální knihovně je klíčový popis použitého spektralonu a převod z registrovaných DN hodnot na výslednou odrazivost, což v práci chybí. Které spektrality byly testovány a proč byl uvedený LabSphere vybrán jako nejlepší?
4. AVIRIS a CASI jsou letecké a nikoli družicové senzory, jak je uvedeno v práci.
5. Co chtěla autorka vyjádřit větou na str. 27: "Geometric correction and sensor characteristics are performed according to the sensor type." Jak konkrétně řeší radiometrické a geometrické korekce v případě použitého hyperspektrálního senzoru?
6. Při výpočtu výsledného spektra z opakovaných měření autorka používá průměr. Proč ne medián?

### Závěrečné zhodnocení disertace

Autorka prokázala samostatný tvůrčí přístup k zadanému úkolu. Vedle vlastních provedených experimentů dokázala do výsledků práce integrovat postupy jiných vědních disciplín. Po drobných úpravách a doplněních budou navržené postupy a výsledky vhodné k publikaci v odborných časopisech a k prezentaci na mezinárodních odborných akcích.

Přes uvedené připomínky je práce hodnotným výstupem doktorského studia. Po úspěšné obhajobě navrhuji adeptce udělení titulu PhD.

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

*ano*     *ne*

Datum: 2.3.2021

Podpis oponenta: .....