

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra prostorových věd



Česká
zemědělská
univerzita
v Praze

**Hodnocení přesnosti ESA WorldCover a ESRI Land
Cover v letech 2020 a 2021**

**Accuracy assessment of ESA WorldCover and ESRI
Land Cover in 2020 and 2021**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Klouček, Ph.D.

Autor práce: Adam Jakeš

Praha 2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adam Jakeš

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

Hodnocení přesnosti ESA WorldCover a ESRI Land Cover v letech 2020 a 2021

Název anglicky

Accuracy assessment of ESA WorldCover and ESRI Land Cover in 2020 and 2021

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit přesnost databází krajinného pokryvu ESA WorldCover a ESRI Land Cover v rozlišení 10 m vytvořené pro roky 2020 a 2021 na vybraných zájmových územích.

Dílní cíle práce souvisí s těmito výzkumnými otázkami:

- 1) Jaká databáze je nejpřesnější?
- 2) Jaká třída krajinného pokryvu je nejpřesnější?
- 3) Na jakém zájmovém území jsou databáze nejpřesnější?
- 4) Za jakým účelem by se daly databáze podle výsledků BP využít?

Metodika

Metodiku lze rámcově rozdělit na:

- 1) Stažení vstupních dat
- 2) Předzpracování vstupních dat
- 3) Sjednocení tříd
- 4) Vyhodnocení reálného krajinného povrchu (tvorba vlastních referenčních dat)
- 5) Vyhodnocení přesnosti.

Doporučený rozsah práce

cca 30 normovaných stran

Klíčová slova

land cover, databáze, kategorie krajinného pokryvu, AI, ArcGis

Doporučené zdroje informací

Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021, July). Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. In 2021 IEEE international geoscience and remote sensing symposium IGARSS (pp. 4704-4707). IEEE.

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.E., Xu, P., Ramoino, F., Arino, O., 2022. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., Arino, O., 2021. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tomáš Klouček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2024

prof. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Hodnocení přesnosti ESA WorldCover a ESRI Land Cover v letech 2020 a 2021“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 26.3. 2024

.....

Adam Jakeš

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tomáši Kloučkovi, Ph.D. za pomoc při práci na této bakalářské práci, za konzultace, komentáře a cenné rady, které mi byly poskytnuty a čas, který mi věnoval. Poděkování patří také rodičům, kteří mi pomohli s korekturou.

Abstrakt

Společnosti ESA a ESRI vydaly v roce 2020 a 2021 dvě globální databáze krajinného pokryvu vytvořené pomocí různých výpočetních algoritmů využívajících metod strojového učení. Obě databáze byly tvořeny ze snímků Sentinel-2. ESA navíc používá i snímky z družice Sentinel-1. Cílem mé bakalářské práce je vyhodnotit přesnost obou databází, a určit pro jaké prostorové analýzy jsou vhodné. Práce probíhala na 7 zájmových územích, které byly vybrány na základě počtu kategorií krajinného pokryvu a jeho rozmanitosti. Na každém kontinentu bylo takto vybráno jedno zájmové území, a to kromě Evropy, kde byla zvolena území dvě. Porovnání přesnosti všech databází bylo provedeno pomocí vlastních validačních bodů, u kterých byla zjištěna reálná hodnota krajinného pokryvu podle ortofoto mapy. Z těchto bodů byly vypočítány chybové matice a celková přesnost databází a jejich jednotlivých kategorií, které sloužily jako vstup pro jejich následné porovnání. Dosažené výsledky bakalářské práce prokázaly celkovou přesnost databáze ESA WorldCover 2020 67,11 %, což se významně liší od udávaných 74,70 % přímo ESA. Naopak ESA WorldCover 2021 dosáhla přesnosti 75,25 %, což se velmi blíží ESA udávané přesnosti 76,80 %. U databází ESRI Land Cover 2020 a 2021 se přesnost mezi lety prakticky nezměnila a dosahovala 65,71 %, respektive 66,52 %. Nejvíce problematickou kategorií byla holá půda, která se u obou databází snadno zaměňovala se zastavěnými plochami. I přes toto zjištění jsou obě databáze z globálního pohledu velice přesné, a lze je doporučit pro celou řadu prostorových analýz využitelných v krajinném plánování, při sledování klimatických změn, sledování tání ledovců či sledování desertifikace.

Klíčová slova: Dálkový průzkum Země, satelitní snímky, Sentinel, ESA, ESRI,

Abstract

In 2020 and 2021, ESA and ESRI released two global land cover databases created using different computational algorithms using machine learning methods. Both databases were created from Sentinel-2 images. ESA also uses images from the Sentinel-1 satellite. The goal of my bachelor's thesis is to evaluate the accuracy of both databases, and to determine for which spatial analyzes they are suitable. The work took place in 7 areas of interest, which were selected based on the number of land cover categories and its diversity. In this way, one area of interest was selected on each continent, except for Europe, where two areas were selected. The comparison of the accuracy of all databases was carried out using my own validation points, where the real value of the land cover according to the orthophoto map was determined. Error matrices and the overall accuracy of the databases and their individual categories were calculated from these points, which served as input for their subsequent comparison. The achieved results of the bachelor thesis demonstrated the overall accuracy of the ESA WorldCover 2020 database of 67.11 %, which is significantly different from the reported 74.70 % directly by ESA. In contrast, ESA WorldCover 2021 achieved an accuracy of 75.25 %, which is very close to ESA's reported accuracy of 76.80 %. For the ESRI Land Cover 2020 and 2021 databases, the accuracy was practically unchanged between years, reaching 65.71 % and 66.52 %, respectively. The most problematic category was bare land, which was easily confused with built-up areas in both databases. Despite this finding, both databases are very accurate from a global perspective, and can be recommended for a wide range of spatial analyzes that can be used in landscape planning, monitoring climate change, monitoring the melting of glaciers or monitoring desertification.

Key words: remote sensing, satellite imagery, Sentinel, ESA, ESRI

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce	11
3. Literární rešerše.....	11
3.1 Rozdíl Land cover a Land use.....	11
3.2 Mapování krajinného pokryvu.....	12
3.3 Dálkový průzkum Země.....	13
3.4 Program Sentinel.....	13
3.5 Databáze ESA WorldCover	15
3.6 Databáze ESRI LandCover	18
3.7 Dynamic World.....	18
3.8 Současný stav řešené problematiky	18
4. Metodika	20
4.1 Data	20
4.1.1 Výběr dat	20
4.2 Úprava dat.....	20
4.2.1 Jiné kategorie ESRI LandCover	20
4.3 Validační body.....	21
4.4 Tvorba vlastních referenčních dat	21
4.5 Validace pro jiné roky	22
4.6 Hodnocení přesnosti	22
5. Výsledky	23
5.1 Databáze ESA WorldCover 2021	23
5.1.1 USA (Florida).....	23
5.1.2 Afrika	24
5.1.3 Sever Evropy (Anglie).....	24
5.1.4 Jižní Asie (Vietnam)	26
5.1.5 Austrálie.....	27
5.1.6 Alpská oblast.....	28
5.1.7 Jižní Amerika (Argentina).....	29
5.1.8 Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2021	30
5.2 Databáze ESA WorldCover 2020	31
5.2.1 USA (Florida)	31
5.2.2 Afrika	31
5.2.3 Sever Evropy (Anglie).....	31
5.2.4 Jižní Asie (Vietnam)	32
5.2.5 Austrálie.....	32

5.2.6 Alpská oblast.....	33
5.2.7 Jižní Amerika (Argentina).....	33
5.2.8 Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2020	33
5.3 Databáze ESRI LandCover 2021	35
5.3.1 USA (Florida)	35
5.3.2 Afrika	36
5.3.3 Severní Evropa (Anglie).....	36
5.3.4 Jižní Asie (Vietnam)	37
5.3.5 Austrálie.....	38
5.3.6 Alpská oblast.....	38
5.3.7 Jižní Amerika (Argentina).....	39
5.3.8 Celková přesnost ESRI LandCover 2021	40
5.4 Databáze ESRI LandCover 2020	41
5.4.1 USA (Florida)	41
5.4.2 Afrika	41
5.4.3 Severní Evropa (Anglie).....	41
5.4.4 Jižní Asie (Vietnam)	42
5.4.5 Austrálie.....	42
5.4.6 Alpská oblast.....	42
5.4.7 Jižní Amerika (Argentina).....	43
5.4.8 Celková přesnost ESRI LandCover2020.....	43
6. Diskuse.....	45
7. Závěr a přínos práce.....	48
8. Použitá literatura a zdroje	50

1. Úvod

Krajinný pokryv (angl. land cover) je definován jako fyzický a biologický pokryv zemského povrchu planety Země, který je tvořen zejména kategoriemi zástavby, lesa, vody, zemědělské půdy, travin a holé půdy. Krajinný pokryv hraje významnou roli při energetické bilanci planety Země a skleníkovém efektu. Navíc každá kategorie krajinného pokryvu přispívá do těchto procesů jinou měrou, z čehož je patrné, že změna krajinného pokryvu má přímé konsekvence se změnou klimatu. Pro studium krajinného pokryvu a s ním souvisejících jevů je, ale nutné mít k dispozici jeho aktuální nebo historický stav, který v současnosti nejčastěji představují různé databáze krajinného pokryvu.

Databáze krajinného pokryvu nejen v celosvětovém měřítku jsou tak velice důležitým nástrojem pro monitorování změn na naší planetě. Zpřesňování, neustálá aktualizace a stále častější volná dostupnost těchto dat přispívá k jejich využití v řadě úloh. Například ke studiu změn ve vegetaci, studiu dopadů lidské činnosti, databáze přispívají k efektivnějšímu územnímu a krajinnému plánování při rozvoji zemědělství, měst a základní infrastruktury (dálnice, železnice a dráty vysokého napětí) nebo jsou důležitým podkladem pro ochranu ohrožených druhů či obecně studiu ekosystémů.

Hlavním zdrojem dat pro tvorbu těchto databází je v současnosti dálkový průzkum Země (DPZ) a konkrétně pak různorodé družicové senzory, které díky svým rozdílným parametrům mohou mapovat, jak malá zájmová území, tak celou planetu Zemi. Databáze krajinného pokryvu využívající DPZ tak poskytují velice cenná data pro mapování současného stavu a změn v krajinném pokryvu. Navíc pro veškeré prostorové analýzy, souvisejících s klimatickou změnou, odlesňováním, změnou rozložení obyvatelstva, ochranou biodiverzity a ekosystémů apod., jsou důležitým vstupním předpokladem přesná data. V případě analýzy krajinného pokryvu se jako jedny z mála aktuálních volně dostupných celosvětových databází nabízí databáze ESA WorldCover od European Space Agency (ESA) a databáze ESRI Land Cover distribuovaná společností Environmental System Research Institute (ESRI). Obě databáze jsou na poměry celosvětového měřítku velice podrobné (dosahují prostorového rozlišení 10 m), což bylo jedním z důvodů jejich využití při řešení bakalářské práce.

V poslední době se v oblasti tvorby databází krajinného pokryvu pomocí DPZ dat začíná stále více uplatňovat metody strojového a hlubokého učení využívající přístupy umělé inteligence (angl. Artificial Intelligence, AI), které byly rovněž použity při tvorbě výše uvedených databází. Vývoj a implementace strojového a hlubokého učení do oboru DPZ a jeho využití při tvorbě databází krajinného pokryvu je důležité zejména pro vyhodnocování velkých a rozsáhlých území, anebo naopak na územích s velmi podrobným a členitým krajinným pokryvem, kde může být aplikace doposud běžných mapovacích přístupů z pohledu dosaženou přesností nedostatečná, či časově a finančně velmi náročná.

Důležitým faktorem při využití databází krajinného pokryvu je jejich přesnost, která je ale často pro uživatele neznáma, anebo není známa pro všechny třídy zkoumaného krajinného pokryvu či konkrétní zájmová území. Je tak důležité průběžně kontrolovat a vyhodnocovat přesnost těchto databází, aby bylo možné posoudit jaké jsou skutečné možnosti jejich využití. Čím přesnější a kvalitnější databáze, tím přesněji reflektuje aktuální stav krajinného pokryvu a je tak zárukou validity provedené analýzy s větší konečnou hodnotou a věrohodností. Průměrná přesnost současných celosvětových databází krajinného pokryvu se dle dostupné

literatury pohybuje mezi 60 až 80 % v závislosti na použité metodě, vstupních DPZ datech a zájmovém území.

2. Cíle práce

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo porovnat přesnost databází celosvětového krajinného pokryvu s rozlišením 10 metrů ESA WorldCover a ESRI Land Cover na vybraných zájmových územích. Dalšími dílčími cíli bylo porovnání jednotlivých kategorií krajinného pokryvu a vyhodnocení pro jaké účely by bylo nejvhodnější databáze využívat v praxi a na jakých zájmových územích byly databáze nepřesnější.

3. Literární rešerše

3.1 Rozdíl Land cover a Land use

Land cover a land use jsou oba pojmy popisující co se nachází na povrchu Země v dané lokalitě. Tyto dva termíny jsou z laického pohledu často považovány za synonyma a za zaměnitelné, ale ve skutečnosti mohou vyjadřovat velice odlišné věci (Community-planinig zoning, 2019). Land use je definován jako série procesů vytvořená člověkem, za účelem využití půdy (Coffey, 2013). Jako příklad se uvádí, že v land cover kategorii zástavba lze odlišit land use kategorie jako jsou rodinné domy, průmyslové objekty, nákupní zóny a další (Community-planinig zoning, 2019). Land cover je definován jako veškerá vegetace nebo to co je vytvořeno člověkem, ale zobecněně. Například kategorie holá půda, zástavba, travnaté plochy a další (Coffey, 2013). Někdy jsou pojmy land cover a land use používány v hierarchickém smyslu. Land cover je používán v makro měřítku a čím podrobnější je měřítko, tak se z land cover stává land use (Community-planinig zoning, 2019). Nebo jsou oba pojmy spojovány dohromady o označovány jako „Land use and Land cover“ (tzv. LULC).

Land use a land cover mají několik základních odlišností. Land use nemusí korespondovat s tím, co je na povrchu Země (Tabulka 1). Typ land use rekreační areál může být jak v lese, na poli, holé půdě tak i v zástavbě. Naopak land cover koresponduje s tím, co se nachází na povrchu Země. Informace o aktuálním stavu land use i land cover představující velice cenná data pro plánování dalšího rozvoje krajiny a její udržitelnosti (Coffey, 2013).

Prostorová data či databáze představující land cover jsou v dnešní době ve většině případech tvořena ze satelitních snímků procesem klasifikace využívající pro tvorbu těchto land cover dat různé zpracovatelské metody. Naopak land use je tvořen především pozemním pozorováním, protože ze snímků pořízených z výšky lze v řadě případů jen velmi špatně vyhodnotit využití krajiny daného místa (Community-planinig zoning, 2019).

Land cover	Land use
Zastavěné oblasti	Residenční zástavba
	Obchody a služby
	Průmysl
	Veřejná doprava a infrastruktura
	Průmyslové a komerční oblasti
	Smíšená zástavba
	Ostatní zástavba
Zemědělské oblasti	Pole a pastviny
	Sady, vinice,
	Pastviny
rangeland	Louky
	Keře
	Smíšený
stromový porost	Jehličnaté lesy
	Listnaté lesy
	Smíšené lesy
Voda	Kanály
	Jezera
	Nádrže
	zátoky a zálivy
mokřady	Lesní mokřady
	Nelesní mokřady
Holá půda	Solné pláně
	Pláže
	Písčité oblasti (bez pláží)
	Holé kameny
	Lomy, doly a štěrkovny
Tundra	Mechová a lišejníková tundra
	Bylinná tundra
	Holá půda tundra
	Mokrá tundra
	Smíšená tundra
Stálý sníh a led	Stálý sníh
	Ledovce

Tabulka 1, Rozdělení land cover a land use, vlastní zpracování podle (Fisher & Unwin, 2005)

3.2 Mapování krajinného pokryvu

Ekonomický a populační růst v posledních dvou stoletích, zpustil velkou změnu v krajinném pokryvu. Z dostupných dat je velmi pravděpodobné, že se bude změna krajinného pokryvu s přibývajícím časem ještě zrychlovat. Změny v krajinném pokryvu navíc ovlivňují změnu a rychlost změny klimatu (Roy et al., 2012). Za změny krajinného povrchu mohou jak přírodní aspekty jako kontinentální drift, ledovce, zemětřesení, tsunami, tak aspekty způsobené člověkem jako je kácení lesů, rozmach zemědělství, zvětšení populace, lesní plantáže a další (Giri, 2012). Kvůli těmto okolnostem je třeba neustále vytvářet nové či aktualizovat stávající databáze krajinného pokryvu. Na základě těchto databází je poté možné studovat jak změny

způsobené přírodou, tak přímo člověkem. Data o krajinném pokryvu mohou být pořizována různými způsoby. Lze je pořizovat pomocí pozemního pozorování a měření. Ač jsou takto získaná data velmi přesná, tak jejich praktické využití je spojeno hned s několika problémy. Například firmy, které provádějí pozemní průzkum krajinného pokryvu velmi často pracují samostatně pouze na svých projektech a vzájemně nespolupracují. Nepoužívají stejné dělení do kategorií, stejné měřítko či souřadnicový systém. Velmi často může docházet i k redundanci pořizovaných dat. Navíc data o krajinném pokryvu, která jsou takto nesystematicky pořizována se jen obtížně aktualizují a udržují (Roy et al., 2012). Proto se mapy krajinného pokryvu nejčastěji vytváří z dat pořizovaných dálkovým průzkumem Země (DPZ). Tento způsob má oproti pozemnímu průzkumu několik výhod, jako jsou šířka záběru kamery, frekvence snímání a možnost aktualizace, uchovávání dat a jejich kompatibility s GIS. Například multispektrální snímky navíc dokáží pořizovat data ve více spektrálních pásmech než lidské oko. DPZ tak v současnosti představuje přesnou a ekonomicky dostupnou možnost mapování krajinného pokryvu (Lilesand et al., 2015).

Tvorba dat ze snímků dálkového průzkumu Země se skládá ze sběru dat, jejich preprocesingu, klasifikace snímků, tvorby databáze krajinného pokryvu a následně tvorby mapy. Pravděpodobně nejdůležitějším metodickým krokem je samotná klasifikace, pro kterou lze využít manuální, digitální či hybridní metody. U manuálních metod data vizuálně klasifikuje (interpretuje) člověk (tzv. operátor) podle DPZ snímků. Jedná se proto o metodu, která není moc rychlá a efektivní. Na druhou stranu v případě, že člověk zná místo, které klasifikuje, tak se může jednat o velice přesný způsob tvorby dat o krajinném pokryvu. Digitální metoda vyhodnocuje krajinný pokryv víceméně automaticky na základě spektrální odrazivosti uložené v pixelech DPZ snímků. Jedná se tak o velmi rychlou a efektivní metodu, která ale velmi často nedosahuje přesnosti metody manuální. Poslední metodou je metoda hybridní, kde je využíváno výhod jak digitální, tak manuální metody klasifikace (Roy et al., 2012).

3.3 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země je moderní způsob získávání informací (Mařašová et al., 2021). Jedná se o bezkontaktní sběr informací o zemském povrchu. Většina senzorů snímá a měří přenos elektromagnetického záření, odrazivost a radiační záření povrchu. Dálkový průzkum Země pořizuje snímky o různých vlnových délkách od viditelného po mikrovlnné spektrum. Dle způsobu pořizování dat lze DPZ rozdělit na metody pasivní a aktivní. Pasivní znamená, že senzor měří energii odraženého slunečního záření či přímo vlastní energii těles na zemském povrchu. U aktivního dálkového průzkumu Země musí senzor vysílat nějaký vlastní druh záření a zaznamenává kdy a jak se k němu vrátí (Sivakumar et al., 2003).

Výhodou DPZ, je rychlost a opakovatelnost sběru dat, a to hlavně v případě senzorů umístěných na satelitech, oproti terénnímu sběru dat. Dále je zde nespornou výhodou rozsah zachyceného území v jednom okamžiku (Mařašová et al., 2021). Dálkový průzkum Země má samozřejmě i nevýhody, jako například nemožnost pořizování pasivními senzory snímky za špatného počasí (oblačnosti), limitace rozlišením a v neposlední řadě i potřebná odbornost pro zpracovávání DPZ snímků (Hais & Brom, 2006).

3.4 Program Sentinel

Program Sentinel je jeden z nejambicióznějších satelitních programů na světě. Pomáhá sledovat a shromažďovat data o naší planetě, předpovídat a zabraňovat jevům jako je například klimatická změna. Tento dlouhodobý projekt byl zahájen

v roce 1998, kde se experti dohodli na enviromentálním sledovacím programu v Bavenu v Itálii (Milagro-Perez, 2020). Program Copernicus začal aktivně operovat vypuštěním prvního satelitu Sentinel-1 v roce 2014. Celkově je na oběžné dráze Země v tuto chvíli vypuštěno 6 satelitů jmenovitě Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-4, Sentinel-5, Sentinel-5P a Sentinel-6 (Obr. 1) (Gomarasca et al., 2019). Jeden z největších přínosů mělo vypuštění satelitu Sentinel-2, který je konstelací dvou satelitů Sentinelu-2A a Sentinelu-2B (Phiri et al., 2020). Program Copernicus má k dispozici portál pro stažení dat zdarma. Copernicus browser poskytuje data po registraci zdarma ze Sentinelu-1, Sentinelu-2, Sentinelu-3 a Sentinelu-5P (Gomarasca et al., 2019).

Sentinel-1 nese C-band radar se syntetickou apenturou (SAR) senzor. Produkuje celodenní, celonoční radarová data za každého počasí. Hlavním úkolem satelitu Sentinel-1 je monitorování výšky hladiny arktických moří a rozsahu ledu, monitorování olejových skvrn a podobných událostí, monitorování lodí či monitorování území při probíhajících humanitárních krizích. První satelit byl vyslán v roce 2014 a druhý v roce 2016 (Milagro-Perez, 2020). Satelit Sentinel-1B, tedy druhý z dvojice Sentinelů-1, 23. 12 2022 přestal komunikovat a všechny dosavadní pokusy o navázání spojení byly neúspěšné (*Jeden Satelit Copernicus Se Odmlčel. ,Problém Souvisí s Napájecí Jednotkou, Uvedl Šéf Kosmické Agentury, 2022*) Díky konstelaci dvou satelitů je časové rozlišení pořizovaných dat (tedy průletu nad jedním místem na zemském povrchu) 6 dní (Milagro-Perez, 2020).

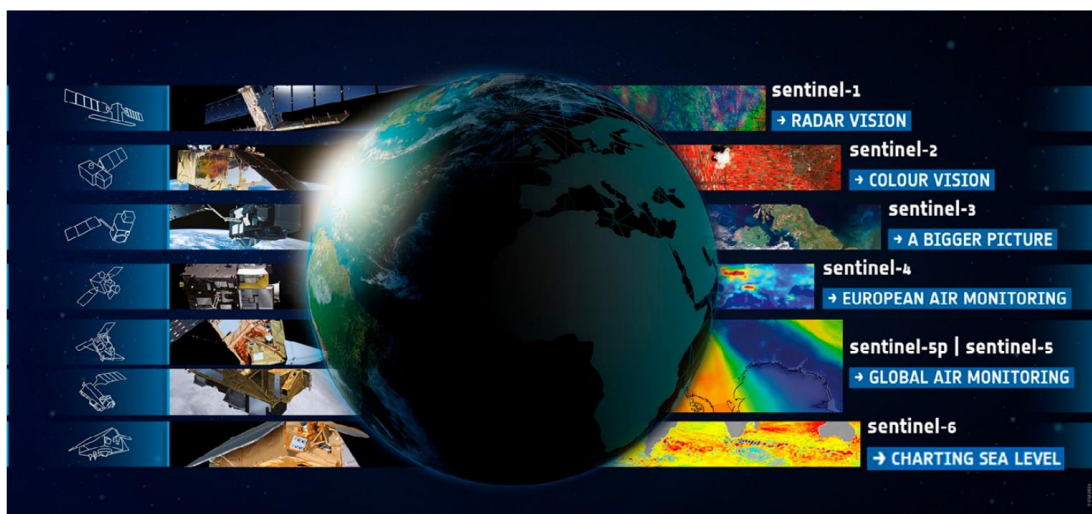
Sentinel-2A byl vypuštěn na oběžnou dráhu 23.6. 2015, Sentinel-2B 7.3. 2017. Sentinel-2 nese multispektrální senzor s vysokým prostorovým rozlišením pořizující snímky ve 13 spektrálních pásmech (Phiri et al., 2020). Hlavní misí těchto dvou satelitů je pořizovat snímky s vysokým rozlišením pro mapování land cover, klimatické změny a monitorování katastrof (Malenovský, 2012). Dvojice satelitů umožňuje pořádit snímky s časovým rozlišením 5 dní (Milagro-Perez, 2020).

Sentinel-3 je primárně určen pro mise mapující oceán, ale jde využívat i pro pozorování pevniny. Mise Sentinelu-3 navazuje na mise European remote sensing (ERS), Envisat a SPOT a zajišťuje tak kontinuitu v pořizování družicových dat pro celoplanetární aplikace (Gomarasca et al., 2019). První satelit byl vypuštěn v roce 2016 a druhý v roce 2018. Satelity se díky svým sensorům používají na měření vodní hladiny, měření nadmořské výšky, pomáhají předpovídat enviromentální a klimatickou změnu (Milagro-Perez, 2020). Sentinel-3 používá několik měřících nástrojů SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer), OLCI (Ocean and Land Colour Instrument), SRAL (SAR Altimeter), DORIS, and MWR (Microwave Radiometer). Pro potřeby mapování krajinného pokryvu je důležitý zejména senzor OLCI. OLCI je pushbroom senzor pořizující snímky s prostorovým rozlišením 300 metrů (Gomarasca et al., 2019).

Sentinel-4 bude hrát hlavní roli ve sledování kvality vzduchu nad Evropou. Bude umístěn na prvním Meteosatu třetí generace. Sentinel-4 bude osazen snímačem ultrafialového a viditelného spektra a infračerveným spektrometrem. Byl vytvořen pro zprostředkovávání velmi přesných dat každou hodinu o stopových plynech, jako jsou například oxid dusičitý, ozon, oxid siřičitý, formaldehyd a také aerosoly. Na geostacionární dráze ve výšce 36 000 kilometrů nad zemí bude sledovat kvalitu vzduchu a znečištění, které poté bude klíčové pro Evropskou politiku životního prostředí. Sentinel-4 bude vypuštěn v druhé polovině roku 2024 (ESA, 2023).

Sentinel-5 využívá data s vysokým spektrálním a časovým rozlišením ze dvou obrazových spektrometrů, které jsou umístěny na Meteosatech třetí generace od EUMETSAT na geostacionárních a polárních orbitech. Společně s jinými satelity a senzory odvozuje hodnoty pro monitorování kvality vzduchu, stratosférického ozonu, slunečního záření a klimatu. Sentinel-5P byl vyslán na oběžnou dráhu v roce 2017, aby pokryl měření atmosféry po dosluhujícím ENVIsatu.

Radarový altimetr s vysokou přesností nese Sentinel-6 i Jason series of ocean topography satellites pro stálé sledování vodní hladiny. Informace o výšce vodní hladiny jsou důležité pro sledování oceanografie a také je to jeden z hlavních indikátorů klimatické změny (Milagro-Perez, 2020). První Satelit-6 byl vyslán 21. listopadu 2020 (ESA, 2024). Druhý satelit bude vypuštěn v průběhu roku 2025 (Milagro-Perez, 2020).



Obrázek 1, Program Copernicus Sentinel (Milagro-Perez, 2020)

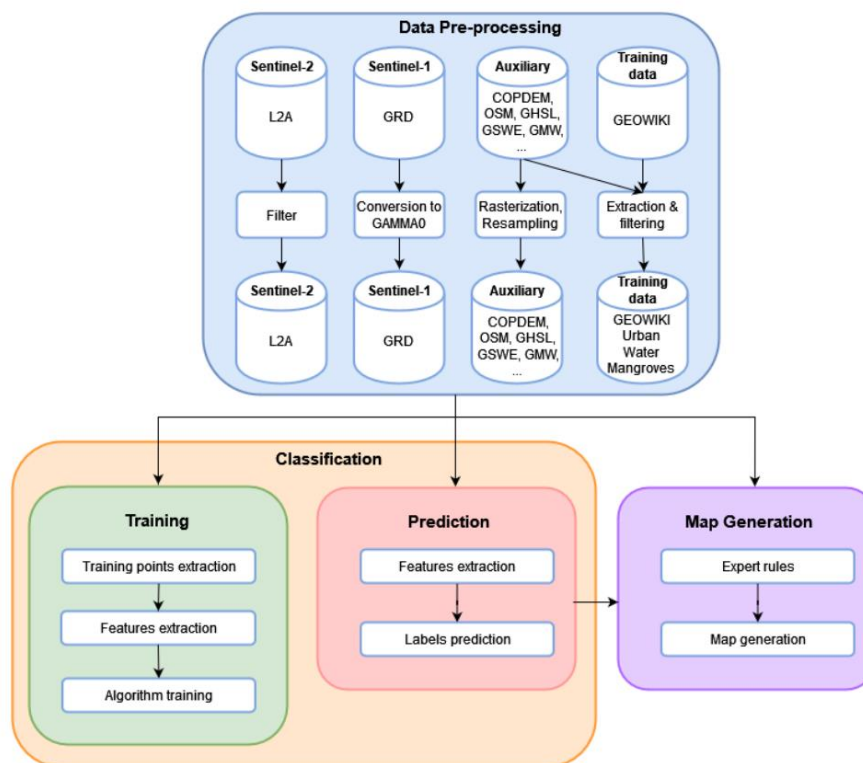
3.5 Databáze ESA WorldCover

V rychle se měnícím klimatu, je potřeba mít velmi přesné a aktualizované informace o krajině a jeho změnách. Regionální či kontinentální databáze pokryvu byly však často tvořeny v hrubém více jak 100 m prostorovém rozlišení, a to přesto, že byly tvořeny na optických datech satelitů Sentinel-2 a Landsat. Z tohoto důvodu byl vytvořen projekt ESA WorldCover, jehož hlavní produkt je databáze krajinového pokryvu s rozlišením 10 metrů, která byla vydaná v říjnu 2021 s názvem ESA WorldCover 2020. Vstupními daty pro tvorbu databáze byly snímky ze satelitů Sentinel-1 a Sentinel-2. ESA WorldCover obsahuje 11 kategorií krajinového pokryvu (Tabulka 2), konkrétně zobrazuje stromový porost, travní porost, keřový porost, zemědělskou půdu, zastavěné oblasti, holou půdu, sníh, vodu, mokřady/trvale mokrou půdu, mangrovové porosty a mechy a lišejníky. Celková přesnost databáze by měla dle ESA dosahovat 74,7 %. Díky úspěchu a pozitivní zpětné vazbě, ESA udělala aktualizovanou databázi i pro rok 2021, pro kterou deklaruje přesnost 76,7 %. Rozdíly mezi databázemi z roku 2020 a 2021 nejsou jen v časovém úseku zobrazení zemského povrchu, ale každá z databází je navíc vytvořena na základě jiných zpracovatelských algoritmů (De Kerchove Ruben, 2020).

Kód v mapě	Kategorie krajinného pokryvu	LCCS kód	Popis	Kód barvy
10	Lesní porost	A12A3//A11A1, A24A3C1(C2)-R1(R2)	Jakákoliv oblast ve většině pokrytá stromy. Stromy používány v zemědělství - olivové stromy, palmové plantáže jsou zahrnuté zde. Tato kategorie také obsahuje stromy, které jsou permanentně zaplavené kromě mangrovů.	0,100,0
20	Keřový porost	A12A4//A11A2	Tato kategorie obsahu půdu kde převažuje keřový porost, Keř je definován jako dřevěné rostliny bez jednoznačného kmene a menší než 5 metrů.	255, 187, 34
30	Travní porost	A12A2	Tato kategorie obsahuje veškeré traviny. Louky, prerie, stepy, savany a pastviny.	255,255, 76
40	Zemědělská půda	A11A3(A4)(A5)//A23	Půda porostlá plodímami, alespoň jednou za 12 měsíců. Skleníky jsou považovány za zástavbu.	240, 150, 255
50	Zástavba	B15A1	Půda pokrytá domy, silnicemi, železnicemi. Jsou zde rezidenční i industriální budovy. Zeleň, parky a sportovní areály zde nejsou. Sklárky jsou jako holá půda.	250, 0, 0
60	Holá půda	B16A1(A2)//B15A2	Holý povrch, který za celý rok není porostlý z více jak 10 %	180, 180, 180
70	Sníh a led	B28A2(A3)	Jakýkoliv povrch pokrytý sněhem a ledem	240, 240, 240
80	Voda	B28A1(B1)//B27A1(B1)	Jakékoliv vodní plochy, které jsou zaplavené více jak 9 měsíců v roce, může být zamrzlá, ale méně jak 9 měsíců	0, 100, 200
90	Mokřady	A24A2	Půda s převládajícím zelení a je trvale zaplavená. Neobsahuje vodu, mokřadní lesy a mangrov	0, 150, 160
95	Mangrovové porosty	A24A3C5-R3	Sůl tolerantní stromy, které rostou ve voděv tropických oblastech	0, 207, 117
100	Mechy a lišejníky	A12A7	Půda pokrytá lišejníky a mechy. Jedná se o rostliny bez listů.	250, 230, 160

Tabulka 2. Tabulka rozdělení krajinné pokryvu a kategorií v databázi, vlastní zpracování podle (De Kerchove Ruben, 2020)

ESA WorldCover je tvořena na základě zkušeností získaných zpracovateli při tvorbě databází GlobCover a CCI Land Cover, které ESA produkovala v minulosti (ESA, 2017). Algoritmy, které byly použity při tvorbě ESA WorldCover, jsou založeny na algoritmech, které byly použity při tvorbě Copernicus Global Land Service Land Cover (CGLS-LC) mapy v rozlišení 100 metrů (Buchhorn et al., 2020). ESA WorldCover byla produkována pomocí klasifikační metody random Forrest a třemi jejími klasifikačními algoritmy (Obr. 2), které byly trénovány v 100 x 100 m gridu na 141 000 unikátních lokalitách rozmístěných po celém světě (Venter et al., 2022). Při tvorbě databáze ESA WorldCover je používáno oproti jiným databázím krajinného povrchu ke zpřesnění klasifikace kromě optických dat Sentinel-2 (Venter et al., 2022) také radarových dat ze Sentinel-1 (Osgouei et al., 2023).



Obrázek 2, Tvorba databáze ESA WorldCover (De Kerchove Ruben, 2020)

Prvním krokem tvorba ESA WorldCover bylo získání vhodných snímků pořízených Sentinel-2 a Sentinel-1. Pro co nejmenší redundanci dat, je zpracováván pouze jeden snímek denně z jednoho místa. Pokud v jednom místě bylo pořízeno více snímků, byl použit ten s nejvíce použitelnými pixely. Pokud, po vyčištění snímků od mraků a stínů za použití tzv. „scene classification layer“, byly přítomny stále pixely s žádnou hodnotou, byly dopočítány lineární interpolací nejbližších hodnot (De Kerchove Ruben, 2020). Mimo dat Sentinel-1 a Sentinel-2 byla při tvorbě databáze využita i nadmořská výška a sklonitost terénu, jejich zdrojem byl Copernicus Global 30 m Digital Elevation Model (Fahrland et al., 2019) a vybraná meteorologická data z programu Copernicus. Celkem tak bylo pro tvorbu databáze využito 131, respektive 115 vstupních parametrů (viz Tabulka 3) vypočtených ze všech druhů dat (De Kerchove Ruben, 2020).

Ve fázi tvorby trénovacích dat, byly náhodně rozmístěny trénovací body po každém z vybraných zájmových území. Pro každou z klasifikovaných kategorií bylo rozmístěno maximálně 30 bodů na jedné trénovací lokalitě. Trénovací body byly rozmístěny náhodně, aby bylo možné natrénovat různé situace pro algoritmus. (Prokhorenkova et al., 2017) Byly proto v rámci projektu vytvořeny tři klasifikační modely. První, který obsahoval všechny prvky a informace, druhý, který neobsahoval informace ze Sentinel-1 a třetí, který neobsahoval informace ze Sentinel-2 (Prokhorenkova et al., 2017).

Databáze z roku 2020 a 2021 byly navíc tvořeny jinými zpracovatelskými algoritmy, konkrétně algoritmem v100 pro rok 2020 a v200 pro rok 2021. Novější algoritmus v200 používá pro všechny kategorie vylepšená trénovací data a využívá upravený trénovací algoritmus s upravenými klasifikačními pravidly, (viz. Tabulka 3). Při využití těchto databází například při hledání změn krajinného pokryvu, tak může nastat situace, že detekovaná změna nemusí představovat reálnou, skutečnou

změnu krajinného pokryvu, ale může být velmi pravděpodobně způsobena právě rozdílnými výpočetními algoritmy a trénovacími daty (De Kerchove Ruben, 2020).

Algorithm Version	Main characteristics
v100	Used to generate the WorldCover 2020 product . A total of 259734 training locations was used and 131 features.
v200	Used to generate the WorldCover 2021 product . A total of 319415 training locations was used and 115 features

Tabulka 3: Algoritmy ESA WorldCover (De Kerchove Ruben, 2020)

3.6 Databáze ESRI LandCover

Další aktuální globální databázi krajinného pokryvu je databáze ESRI LandCover, která na rozdíl od předešlých globálních databází využívá pro mapování krajinného pokryvu vylepšeného klasifikačního algoritmu využívajícího umělé inteligence (zejména metod hlubokého učení). Většina běžných databází krajinného pokryvu je typicky vydána několik měsíců až let od započetí jejich tvorby, takže jsou v průběhu jejich publikace prakticky zastaralé a neaktuální. To tak vytváří velký rozdíl mezi skutečným stavem krajinného pokryvu a tím, co je zobrazeno v databázích či z nich vytvořených mapách apod. S rozvojem technologií umělé inteligence se naopak dají produkty zobrazující aktuální stav krajinného pokryvu vytvářet mnohem rychleji, levněji a efektivněji (ESRI Land Cover, 2024). Pro tvorbu ESRI LandCover bylo využito 2 000 000 snímků Sentinel-2 od roku 2017 až 2022, které jsou klasifikovány do 9 kategorií krajinného pokryvu. Výsledná vrstva krajinného pokryvu má prostorové rozlišení 10 m (ESRI Land Cover, 2024). Při tvorbě databáze bylo, mimo umělé inteligence, využito více než 5 miliardách ručně určených pixelů na více jak 24 000 snímcích Sentinel-2 rozmístěných po celém světě (Venter et al., 2022). Tím, že byla databáze a její výpočetní algoritmus vytvořen soukromou společností ESRI, tak jsou jeho detaily utajeny a nedostupné běžným uživatelům, takže ho nelze jednoduše dohledat a podrobně popsat jako v případě ESA WorldCover. Známa není ani distributorem databáze oficiálně udává přesnost.

3.7 Dynamic World

Jedná se o globální databázi krajinného pokryvu s prostorovým rozlišením 10 metrů tvořenou společností Google ve spolupráci s World Resources Institute. Dynamic World je produkován metodou hlubokého strojového učení ze snímků satelitu Sentinel-2. Díky metodě strojového učení je možné snímky vyhodnocovat velice rychle a aktualizovat databázi každých 2–5 dní. Databáze obsahu 9 základních kategorií krajinného pokryvu. Pro produkci databáze Dynamic World se používá Google Earth Engine a AI (Dynamic World, 2024).

3.8 Současný stav řešené problematiky

Problematikou přesnosti a vyhodnocování přesnosti globálních databází krajinného pokryvu aktuálně zkoumali ve své studii Karra et al. (2021), kteří se zabývali vytvořením globální databáze krajinného pokryvu a vyhodnocením přesnosti na 4 zájmových územích – Belgie, Kalifornie, Costa Rica, Laos (Karra et al., 2021). Jako trénovací data použili více jak 24 000 snímků. Jejich databáze rozděluje krajinný pokryv do 10 kategorií (Brown et al., 2022). Na každém ze svých čtyř zájmových území dosáhli přesnosti více než 85 %. Ze studie vyplývá, že s velkou spoustou trénovacích dat a metodou strojového učení lze vytvořit velmi přesná globální databáze krajinného pokryvu. Karra et al. (2021) jsou dále přesvědčeni, že takto

vytvořené databáze jsou velice užitečné a dobře uplatnitelné v praxi. Autoři dále poukazují na fakta, která by mohla přesnost globálních databází ještě vylepšit. Například zmiňují, že za použití dat ze Sentinel-1, by bylo možné lépe odlišit mokřady od holé půdy nebo zemědělské půdy a travní porost od zemědělské půdy. Dále ve studii autoři diskutují problematiku podrobnosti databáze z pohledu počtu klasifikovaných tříd a jejího vlivu na přesnost, Za příklad dávají odlišení plantáží od přírodního lesa nebo komerční zástavby od obytných oblastí (Karra et al., 2021).

Studie Osgouei et al. (2023) se zabývá globální databází ESA WorldCover 2021 a studuje její přesnost pro regionální použití. Autoři tvrdí, že je u globálních databází důležité vyhodnocovat mimo celkové přesnosti i přesnost pro jejich regionální použití. Tu autoři studie hodnotí na příkladu území Lalapasa, což je část regionu Edirne v Turecku. Krajinný pokryv tohoto zájmové území je tvořen převážně zemědělskou, holou nebo opuštěnou půdou po odstěhování velkého množství obyvatel. Cíl studie je tak vyhodnotit přesnost ESA WorldCover na regionální úrovni a možnosti jejího využití pro regionální krajinné plánování spojené s revitalizací tohoto území (Osgouei et al., 2023). Databáze také mohou pomoci objevit zchátralá místa, místa vhodná pro zemědělství, území pro zachování přírody, anebo také místa vhodná pro moderní precizní hospodářství (Li, Xi, 2017). Autoři vytvořili 290 referenčních bodů, které klasifikovali podle reálného krajinného pokryvu. Výsledkem vyhodnocení přesnosti u takto malého regionálního území bylo snížení celkové přesnosti (70,2 %) oproti globální přesnosti uváděné přímo ESA (76,8 %). Autoři proto navrhuje pro regionální použití této databáze její zpřesnění přidáním volně dostupných geografických vrstev. Jako příklad uvádí volně dostupnou vrstvu silnic a dálnic z databáze Open Street Maps, podle které pře-klasifikovali příslušné části ESA WorldCover jako zastavěnou plochu. Celková přesnost takto upravené databáze se zlepšila z 70,2 % na 86 %. Osgouei et al. (2023) na základě dosažených výstupů doporučují pro další vývoj v oblasti tvorby globálních databází krajinného pokryvu zakomponovat volně dostupné vrstvy z jiných převážně tematických databází (Osgouei et al., 2023).

Studie od Wang et al. (2022) se zabývá územím kamenné pouště na jihozápadě Číny. Předmětem jejich zkoumání je zjištění rozlohy jednotlivých kategorií krajinného pokryvu pomocí vybraných databází krajinného pokryvu a určení jejich tematické přesnosti. V zájmovém území převažuje zejména les, holá půda a travní porost. Studie se zaměřuje na porovnávání databází ESA WorldCover, ESRI LandCover a Globcover. Ve studii jsou použity tři hlavní metody verifikace, a to absolutní přesnost, shodnost databází a prostorová konzistence. Ze studie vyplývá, že největší přesnost mají databáze GLC a ESA od 45,13 % do 64,50 %. Nejhorší celkové přesnosti naopak dosáhla databáze od ESRI (39,03 % až 61,94 %). Obecně databáze prokázaly vyšší přesnost v místech s menší heterogenitou povrchu. Když se jednalo o povrch s vysokou rozmanitostí krajinného pokryvu, byla přesnost zkoumaných databází okamžitě menší. Největší chyby vykazovaly databáze v případě travního porostu, keřového porostu a holé půdy. Celková přesnost databází nevypadá na první pohled ideálně, ale kdyby se lépe rozlišovaly právě kategorie travního porostu, keřového porostu a holé půdy, přesnost by byla okamžitě větší. Z výsledků studie je patrné, že globální databáze tvořené z dat Sentinel-1 a Sentinel-2 mají velký aplikační potenciál, ale uživatel musí pečlivě vybírat, kterou z nich kvůli rozdílné přesnosti jednotlivých kategorií zvolí (Wang et al., 2022).

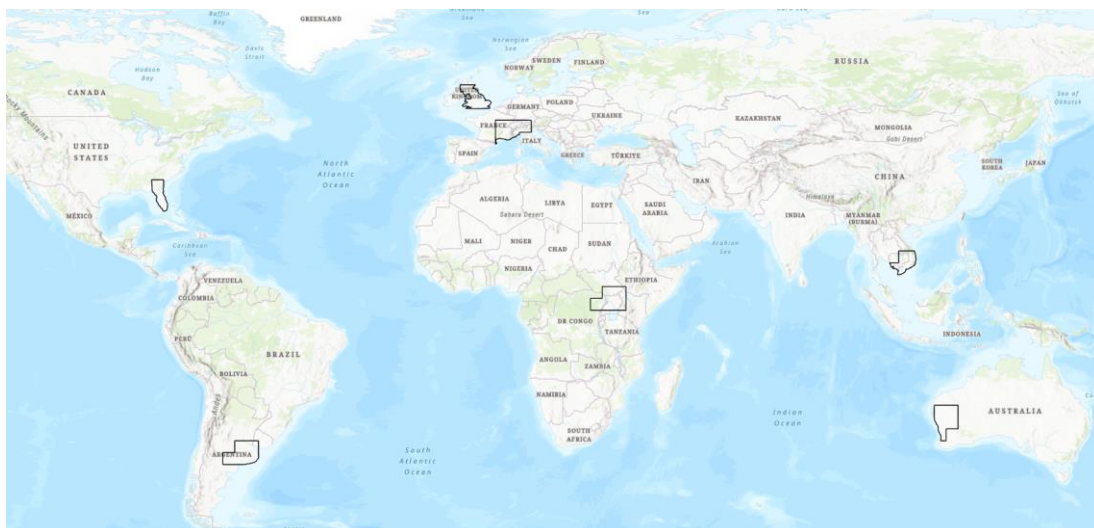
4. Metodika

4.1 Data

Vstupní data bakalářské práce tvoří dvě odlišné databáze krajinného pokryvu. Databáze ESA WorldCover je vytvořena pouze pro roky 2020 (Zanaga et al. 2021) a 2021 (Zanaga et al. 2022), proto byly vybrány tyto roky i pro databázi Esri LandCover (Karra et al. 2021), která je dostupná pro roky 2017-2022. Obě datové sady jsou v rozlišení 10 metrů. Velikost zájmových území byla stanovena jako velikost 5 dlaždic (cca 553 081 km² bez okolního moře a oceánu, které není započítáno do rozlohy) z ESA WorldCover.

4.1.1 Výběr dat

Bylo vybráno 7 zájmových území (Obr. 3). Na každém kontinentu kromě Antarktidy jedno, pouze v Evropě jsou z důvodu vynechání Antarktidy zvolena dvě. Území byla vybrána na základě jejich rozlohy tak, aby byla podobně velká. A dále také podle rozmanitosti krajinného pokryvu. Byla preferována území s rozmanitějším a větším počtem typů krajinného pokryvu. Na základě těchto kritérií tak byla vybrána území v Anglii, Argentíně, Floridě, Vietnamu, Ugandě, Austrálii a v Alpách.



Obrázek 3, Zobrazení všech zájmových území použitých v práci, vlastní zpracování

4.2 Úprava dat

Pro veškerou práci se vstupními daty byl využit software ArcGIS Pro. Každé zájmové území z databáze ESA WorldCover se skládá z 5 dlaždic, proto bylo nutné je sjednotit do jednoho rastru. K tomuto byla použita funkce *MOSAIC TO NEW RASTER*. Data ESRI Land Cover jsou rozdělena na větší dlaždice, ale i tak se zájmové území skládalo z 2–4 dlaždic a bylo potřeba udělat stejnou úpravu. Všechna data byla převedena do souřadnicového systému WGS 1984.

4.2.1 Jiné kategorie ESRI LandCover

Databáze od ESA má 11 základních kategorií krajinného pokryvu, načež databáze od ESRI má jen 8 základních kategorií (Tabulka 4). Bylo tak potřeba sjednotit třídy databáze ESA WorldCover, tak aby odpovídaly databázi ESRI Land Cover. V atributové tabulce vrstvy ACCURACY POINTS, která byla vytvořena pro ESA WorldCover, proto byly sjednoceny atributy ve sloupci GRNDTRUTH tak, aby bylo možné je použít i pro ESRI Land Cover (Tabulka 5).

Esa WorldCover		Esri WorldCover	
Třídy	Kódové Označení	Třídy	Kódové Označení
Stromový porost	10	Voda	1
Travní porost	20	Stromový porost	2
Keřový porost	30		3
Zemědělská půda	40	Mokřady/trvale mokrá půda	4
Zastavěné oblasti	50	Zemědělská půda	5
Holá půda	60		6
Sníh	70	Zastavěné oblasti	7
Voda	80	Holá půda	8
Mokřady/trvale mokrá půda	90	Sníh	9
Mangrovové porosty	95		10
Mechy a rašeliny	100	Rangeland	11

Tabulka 4, Základní rozdělení kategorií ESA WorldCover a ESRI LandCover, vlastní zpracování

Sjednocení tříd ESA do ESRI		
ESA	ESRI	Třídy
80	1	Voda
10	2	Stromový porost
90, 95	4	Mokřady/trvale mokrá půda
40	5	Zemědělská půda
50	7	Zastavěné oblasti
60	8	Holá půda
70	9	Sníh
20,30,100	11	Rangeland

Tabulka 5, Sjednocené třídy ESRI LandCover, vlastní zpracování

4.3 Validační body

Validační body byly tvořeny na zmozaikovaném rastru ESA WorldCover. Byla použita funkce *CREATE ACCURACY ASSESSMENT POINTS*. Do této funkce se zadává rastr, ze kterého se berou informace o rozloze jednotlivých kategorií krajinného pokryvu, dále kolik validačních bodů chceme vytvořit a nakonec způsob (metodu) jejich vytvoření. Zadal jsem, aby bylo vytvořeno minimálně 100 bodů, ale funkce si počet přizpůsobuje dle aktuální rozlohy jednotlivých kategorií krajinného pokryvu, takže na každém zájmovém území vzniklo 139 až 155 bodů a celkově 1021 validačních bodů. Pro tvorbu validačních bodů jsem vybral nastavení *STRATIFIED*, které podle počtu pixelů v rastru přiřazených ke každé třídě, vytvoří počet bodů úměrně k celkové rozloze území. Funkce dále automaticky do atributové tabulky vytvoří dva sloupce, které jsou potřeba pro další práci s body. Sloupce se nazývají *CLASSIFIED* a *GRNDTRUTH*. Do sloupce *CLASSIFIED* se propíše hodnoty přímo z rastru ESA WorldCover.

4.4 Tvorba vlastních referenčních dat

Každý bod na každém zájmovém území bylo potřeba ručně projít a vyhodnotit jaký typ krajinného pokryvu ve skutečnosti reprezentuje. K tomu byla použita

IMAGINARY base map dostupná přímo v ArcGIS pro, která byla aktualizovaná v roce 2022. Pro ověření některých bodů byly použity také Google maps a street view. Ke každému bodu byla připsána do sloupce GRNDTRUTH, kódová hodnota, která odpovídá skutečnému krajinnému pokryvu.

4.5 Validace pro jiné roky

Obě databáze jsem hodnotil pro dva roky 2020 a 2021. Nejdříve jsem udělal klasifikační body pro rok 2021 u databáze ESA WorldCover. Vyhodnotil jsem reálné hodnoty z IMAGINARY base map pro roky 2021. Poté jsem vrstvu klasifikačních bodů vyexportoval, aby vznikla nová totožná vrstva, kterou jsem nahrál do mapy s databází ESA WorldCover 2020. V nové mapě s totožnými body byla použita funkce *UPDATE ACCURACY ASSESSMENT POINTS*, která aktualizuje hodnoty v atributové tabulce ve sloupci CLASSIFIED, na hodnotu pod body z nové databáze. Hodnoty ve sloupci GRNDTRUTH zůstaly stejné jako pro rok 2021, aby bylo možné zjistit rozdíl. Pro databázi od ESRI byly použity stejné body, aby bylo možné porovnat databáze mezi sebou. Opět byla použita funkce *UPDATE ACCURACY ASSESSMENT POINTS* tak, aby byly body aktualizovány na hodnoty databáze ESRI Land Cover.

4.6 Hodnocení přesnosti

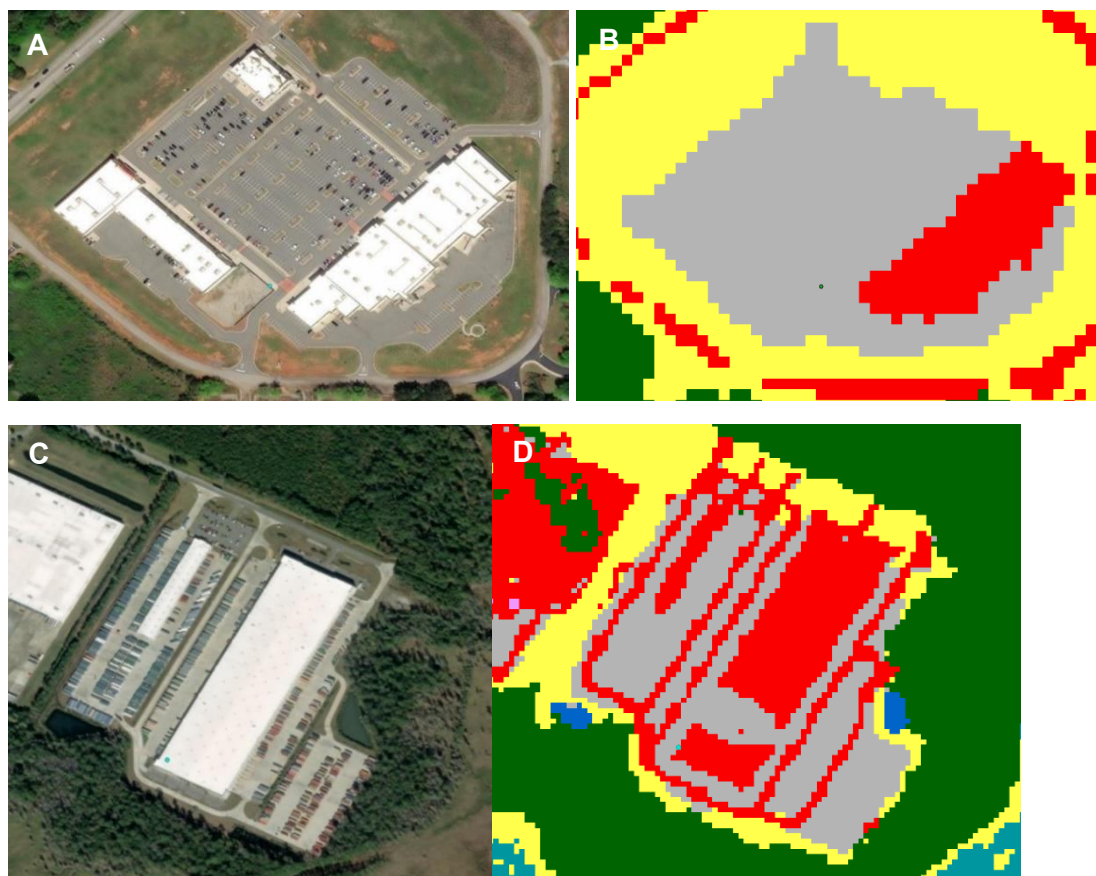
Pro výpočet statistik potřebných k hodnocení jednotlivých databází krajinného pokryvu byla použita funkce v ArcGIS Pro *COMPUTE CONFUSION MATRIX*. Funkce počítá chybovou matici z *ACCURACY ASSESMENT POINTS*. Matice byla vypočítána pro každé ze 7 zájmových území každé databáze za oba zkoumané roky. Vypočtená matice obsahuje výpočet přesnosti pro každý druh krajinného pokryvu, který se nachází v databázích. Je zde také celková přesnost všech tříd. Také se zde nachází koeficient KAPPA, který porovnává přesnost provedené klasifikace určené z chybové matice a s přesností dosaženou čistě náhodným zařazením pixelů do jednotlivých tříd. Koeficient kappa může nabývat hodnot od 0 do 1, čím vyšší číslo tím lepší výsledek (Červená, 2018).

5. Výsledky

5.1 Databáze ESA WorldCover 2021

5.1.1 USA (Florida)

Na zájmovém území Floridy bylo vytvořeno 142 validačních bodů. Z ortofotomapy bylo určeno, že 44/45 validačních bodů správně spadá do třídy lesní porost, 5/9 do travnatý porost, 9/14 do keřový porost, 10/18 do zemědělské půdy, 11/17 do zástavby, 6/6 do kategorie holá půda, 7/7 do třídy voda, 10/15 do mokřady/trvale mokrá půda a 11/11 do mangrovových porostů. Nejmenší shody databáze s reálnými hodnotami jsou u travního porostu a zemědělské půdy, kde je přesnost jen 55,56 %, což znamená, že u travního porostu bylo vyhodnoceno jako správně klasifikovaných 5/9 bodů a u zemědělské plochy 10/18 validačních bodů. Největší chybovost (4/17 bodů) byla u databáze vyhodnocena v případě holé půdy, která byla ve skutečnosti zastavěnou plochou. Typickým příkladem je to, že databáze vyhodnotila parkoviště nebo lesklou střechu haly právě jako holou půdu (Obr. 4). Jako další kategorie s významnou chybovostí (4/9 bodů) byl v databázi vyhodnocen travní porost, který byl ve skutečnosti keřovým porostem. Naopak největší, stoprocentní, shodu databáze s realitou měly kategorie holá půda, voda a mangrovové porosty. Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2021 zájmového území Floridy je 79,58 %. Koeficient kappa je 75,23 % (Tabulka 6).



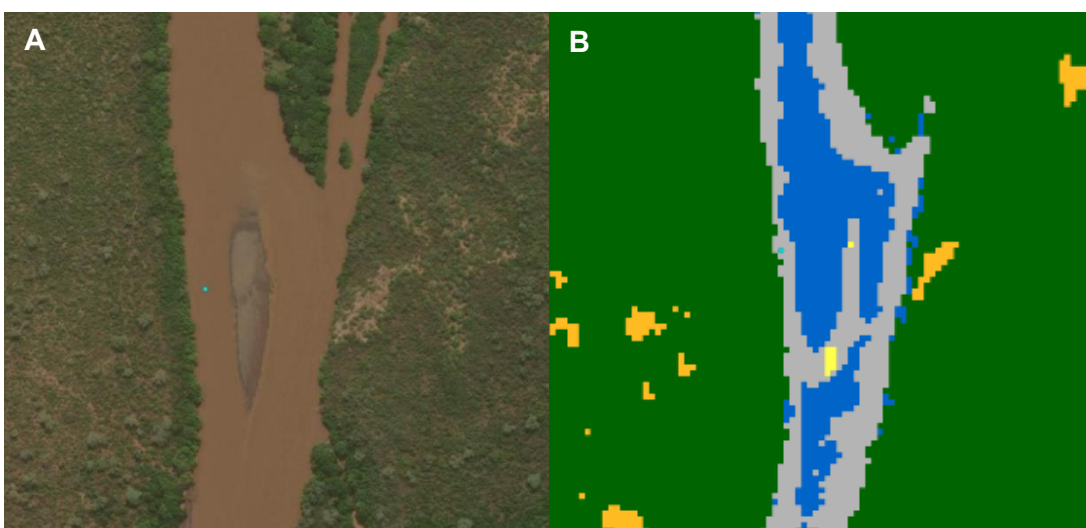
Obrázek 4, A,C – ortofoto, B,D – databáze, chyby mezi *zástavbou (červená)* a *holou půdou (šedivá)*

Databáze ESA WorldCover 2021 - Florida												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Celkový počet	U Accuracy	
Stromový porost	44	0	5	3	2	0	0	0	0	54	81,48%	0
Travní porost	0	5	0	1	0	0	0	4	0	10	50,00%	0
Keřový porost	0	4	9	4	0	0	0	1	0	18	50,00%	0
Zemědělská půda	1	0	0	10	0	0	0	0	0	11	90,91%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	11	0	0	0	0	11	100,00%	0
Holá půda	0	0	0	0	4	6	0	0	0	10	60,00%	0
Voda	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7	100,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	100,00%	0
Mangrovové porosty	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	100,00%	0
Celkový počet	45	9	14	19	17	6	7	15	11	142	0	0
P Accuracy	97,78%	55,56%	64,29%	55,56%	64,71%	100,00%	100,00%	66,67%	100,00%	0	79,58%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75,23%

Tabulka 6, Celkové vyhodnocení zájmového území USA (Florida)

5.1.2 Afrika

Na území Afriky bylo vytvořeno 148 validačních bodů. Z ortofotomapy bylo určeno, že 33/44 bodů je úspěšně klasifikovaných jako lesní porost, 12/20 travní porost, 18/22 keřový porost, 10 zemědělská půda, 6/10 zástavba, 8/20 holá půda, 2/2 sníh, 10/13 voda, 7/7 mokřady/trvale mokrá půda. Nejmenší přesnost databáze v Africe byla identifikována v kategorii holá půda, kde byla jen 40 %. Z 20 bodů bylo v databázi správně určeno pouze 8, dalších 8 bodů v této kategorii bylo určeno jako sníh a 4 jako travní porost. Naopak největší celková přesnost (100 %) byla rovnou u tří kategorií, a to zástavby, sněhu a mokřadů/trvale mokré půdy. Jednou ze specifických chyb v zájmovém území Afrika byla záměna kategorie voda za holou půdu. Důvodem bylo, že voda byla velmi špinavá a zanešená různými sedimenty a měla tak velmi pravděpodobně podobnou odrazivost jako holá půda (Obr. 5). Celková přesnost na tomto zájmovém území byla 71,62 %. Koeficient kappa byl 66,70 % (Tabulka 6).



Obrázek 5, A – ortofoto, B – databáze, chyby mezi vodou (modrá) a holou půdou (šedivá)

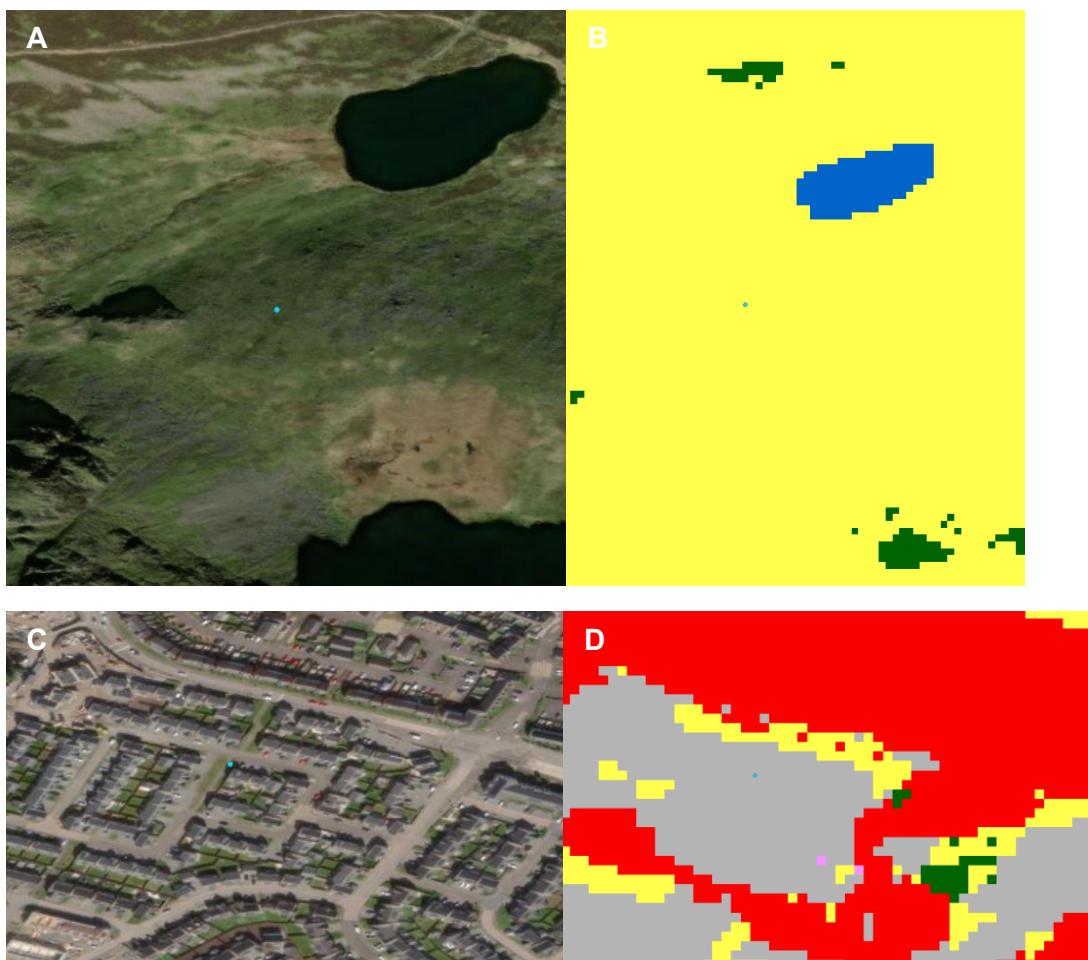
Databáze ESA WorldCover 2021 - Afrika												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Celkový počet	U Accuracy	
Stromový porost	33	0	0	0	0	0	0	0	0	33	100,00%	0
Travní porost	8	12	0	3	0	0	0	0	0	23	52,17%	0
Keřový porost	2	7	18	1	0	4	0	0	0	32	56,25%	0
Zemědělská půda	0	1	3	6	0	0	0	0	0	10	60,00%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100,00%	0
Holá půda	0	0	1	0	0	8	0	1	0	10	80,00%	0
Sníh	0	0	0	0	0	8	2	0	0	10	20,00%	0
Voda	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	100,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	1	0	0	0	0	0	0	2	7	10	70,00%	0
Celkový počet	44	20	22	10	10	20	2	13	7	148	0	0
P Accuracy	75,00%	60,00%	81,82%	60,00%	100,00%	40,00%	100,00%	76,92%	100,00%	0	71,62%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66,70%

Tabulka 6, Celkové vyhodnocení zájmového území Afriky

5.1.3 Sever Evropy (Anglie)

Jako další zájmové území bylo vybráno území na severu Evropy v Anglii. Bylo zde vygenerováno 145 validačních bodů. Z toho bylo na základě porovnání databáze s realitou validně určeno 16/16 jako lesní porost, 1/2 travní porost, 28/39 keřový

porost, 26/40 zemědělská půda, 15/19 zástavba, 7/11 holá půda, 1/1 voda, 10/10 mokřady/trvale mokrá půda a 5/7 jako mechy a rašeliny. Nejmenší přesnost byla v kategorii travní porost (50 %), nicméně v této třídě byly díky její malé rozloze vygenerovány pouze 2 validační body. Druhá nejmenší přesnost byla dosažena v kategorii holá půda (63,63 %). Jako nejpřesnější byly vyhodnoceny kategorie voda a mokřady/trvale mokrá půda, které dosáhly přesnosti 100 %, i když u vody byl pouze jeden klasifikační bod. Nejvíce validačních bodů bylo vytvořeno v kategorii keřový porost a zemědělská půda, 39 respektive 40. Jednou z častých chyb, obdobně jako na zájmovém území Floridy, byla záměna zástavby za holou půdu (Obr. 6 C a D). Další chybou byla nepřesná klasifikace kategorie mechy a rašeliny, které tam ve skutečnosti byly, ale databáze je vyhodnotila jako travní porost (Obr. 6 A a B). Celková přesnost databáze pro toto zájmové území dosáhla 75,17 %. Koeficient kappa byl 69,86 % (Tabulka 7).



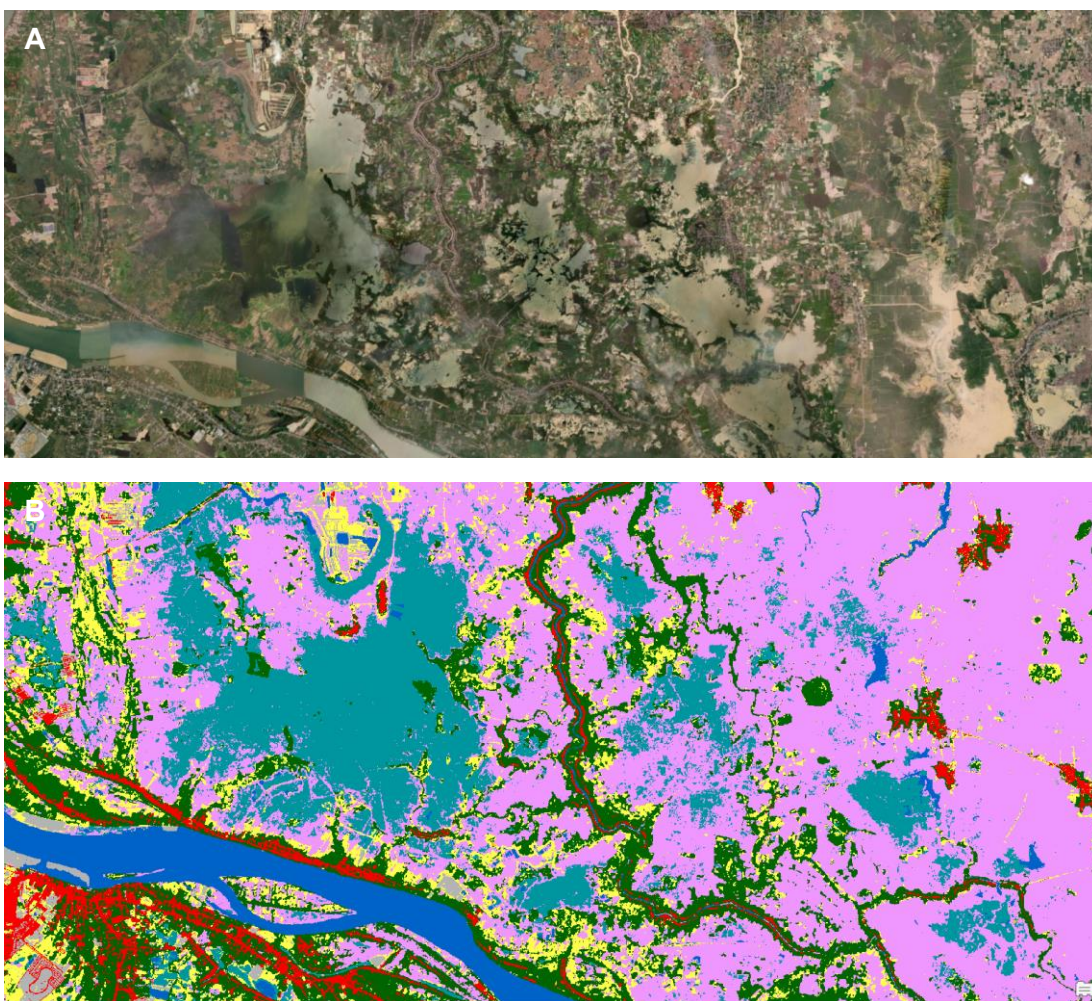
Obrázek 6, A - ortofoto a B – databáze, chyba mezi *travním porostem (žlutá)* a *mechy a lišejníky (běžová)* – není na obrázku, C - ortofoto a D – databáze, chyba mezi *zástavbou (červená)* a *holou půdou (šedivá)*

Databáze ESA WorldCover 2021 - Anglie											
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mechy a rašeliny	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	16	1	4	0	1	0	0	0	0	22	72,73%
Travní porost	0	1	5	0	0	0	0	0	6	6	16,67%
Keřový porost	0	0	28	14	0	0	0	0	2	44	63,64%
Zemědělská půda	0	0	0	26	0	0	0	0	0	26	100,00%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	15	1	0	0	0	16	93,75%
Holá půda	0	0	0	0	3	7	0	0	0	10	70,00%
Voda	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	100,00%
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	100,00%
Mechy a rašeliny	0	0	2	0	0	3	0	0	5	10	50,00%
Celkový počet	16	2	39	40	19	11	1	10	7	145	0
P Accuracy	100,00%	50,00%	71,79%	65,00%	78,95%	63,64%	100,00%	100,00%	71,43%	0	75,17%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69,86%

Tabulka 7, Celkové výsledky zájmového území Severní Evropa (Anglie)

5.1.4 Jižní Asie (Vietnam)

Na území jižní Asie bylo vygenerováno 148 validačních bodů. Z toho bylo 51/58 klasifikováno úspěšně jako lesní porost, 3/8 travní porost, 4/6 keřový porost, 20/37 zemědělská půda, 10/12 zástavba, 4/8 holá půda, 3/4 voda, 4/7 mokřady/trvale mokrá půda a 8/8 jako mangrovové porosty. Nejmenší přesnost byla identifikována u kategorie keřový porost (37,5 %). Z 8 bodů byly určeny 3 správně, 2 jako travní porost, 1 jako holá půda a 1 jako mokřady/trvale mokrá půda. Největší shoda databáze s reálným stavem zde panovala v kategorii lesní porost s 87,93 %, kde z 58 bodů bylo určeno špatně pouze 7 bodů. Na tomto území se vyskytla jedna zajímavost. V době vytváření databáze, zde byly záplavy, takže databáze vyhodnotila vše v záplavové oblasti jako kategorii voda nebo mokřady/trvale mokrá půda (Obr. 7). Je to zřetelně vidět i z ortofota. Většina zaplavené půdy byla zemědělská půda nebo travní porost případně zástavbou a holou půdou. I tak se celková přesnost na tomto území dostala na hodnotu 72,30 %. Koeficient kappa je 64,93 % (Tabulka 8).



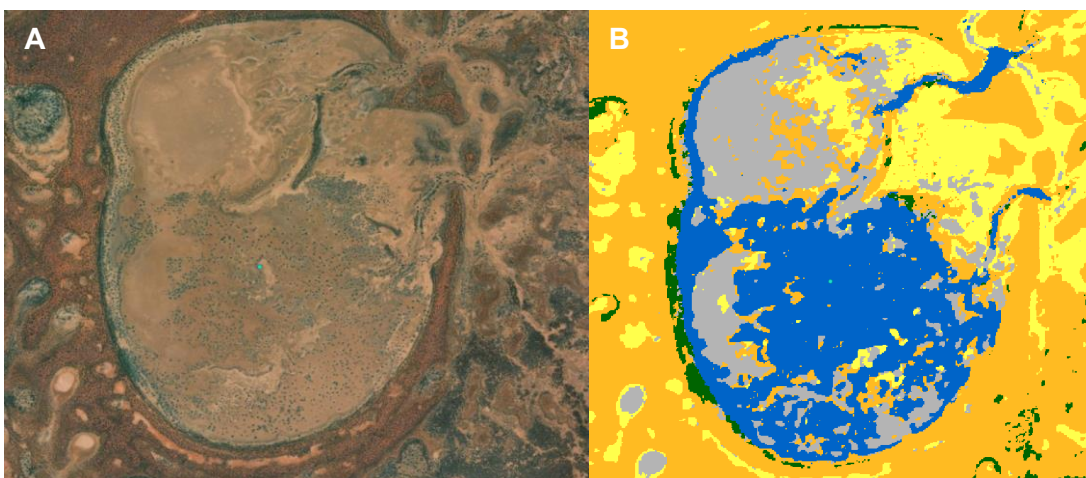
Obrázek 7, A – ortofoto, B – databáze, záplavy ve Vietnamu a následné špatné vyhodnocení krajinného pokryvu, voda (modrá), mokřady a trvale mokrá půda (tyrkysová), zemědělská půda (růžová), lesní porost (zelená), zástavba (červená), travní porost (žlutá)

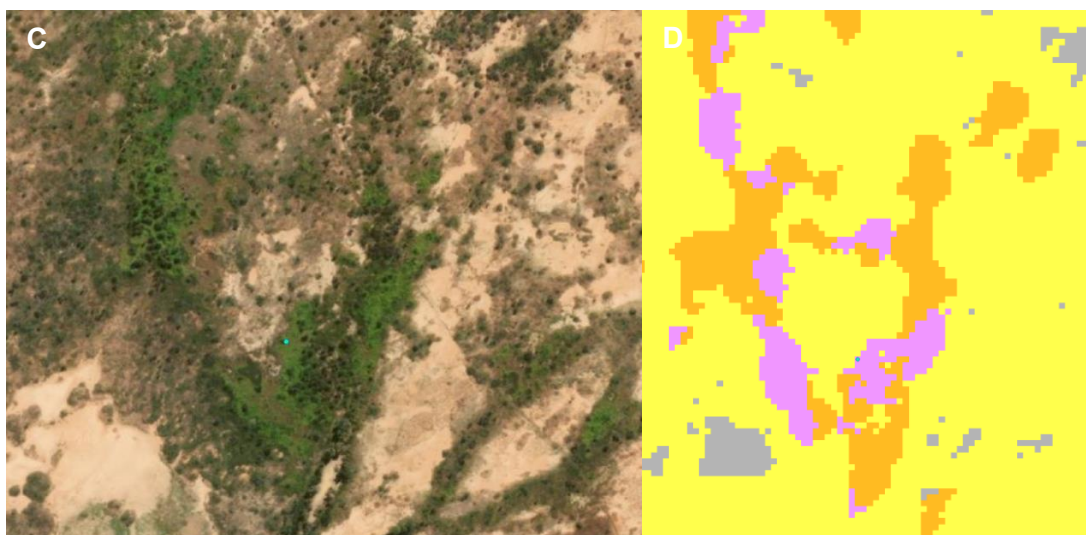
Databáze ESA WorldCover 2021 - Asie												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Celkový počet	U Accuracy	
Stromový porost	51	1	1	2	0	0	1	0	0	56	91,07%	0
Travní porost	4	3	0	3	0	0	0	0	0	10	30,00%	0
Keřový porost	2	2	4	2	0	4	0	0	0	14	28,57%	0
Zemědělská půda	0	0	1	20	0	0	0	1	0	22	90,91%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100,00%	0
Holá půda	0	1	0	3	2	4	0	0	0	10	40,00%	0
Voda	0	0	0	2	0	0	3	1	0	6	50,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	1	0	5	0	0	0	4	0	10	40,00%	0
Mangrovové porosty	1	0	0	0	0	0	0	1	8	10	80,00%	0
Celkový počet	58	8	6	37	12	8	4	7	8	148	0	0
P Accuracy	87,93%	37,50%	66,67%	54,05%	83,33%	50,00%	75,00%	57,14%	100,00%	0	72,30%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64,93%

Tabulka 8, celkové výsledky zájmového území Jižní Asie (Vietnam)

5.1.5 Austrálie

Na zájmovém území, které se nachází na západním pobřeží Austrálie bylo vytvořeno 144 validačních bodů, jako správně klasifikováno bylo identifikováno 8/16 bodů lesního porostu, 45/61 travního porostu, 9/9 keřový porostu, 9/10 zemědělské půdy, 11/11 zástavby, 8/20 holé půdy, 6/14 vody, 3/3 mokřady/trvale mokrá půda a 0/0 jako mangrovové porosty. Největší nepřesnost byla v kategorii mangrovové porosty. V databázi jich bylo určených 10 ale se skutečným stavem neseseděl ani jeden. V realitě to byly buď lesní porosty nebo voda, což znamená 0 % přesnost. Naopak nejpřesnější jsou 3 kategorie, a to keřový porost s 9 přesnými body, zástavba s 11 přesnými body a mokřady/trvale mokrá půda s 3 přesnými body, které shodně dosáhly přesností 100 %. Jednou ze specifických chyb této lokality bylo, že databáze zaměňovala lesní porost za zemědělskou půdu (Obr. 8 C a D). Další chybou bylo, že podle ortofota se zde nachází vyschlé jezero, ve kterém už roste tráva a keře, databáze ho i přes to vyhodnotila jako vodu (Obr. 8 A a B). Celková přesnost databáze na území Austrálie dosáhla 68,75 %, i přes to, že žádný bod, který představuje mangrovové porosty nebyl vyhodnocen správně. Koeficient kappa je 61,39 % (Tabulka 9).





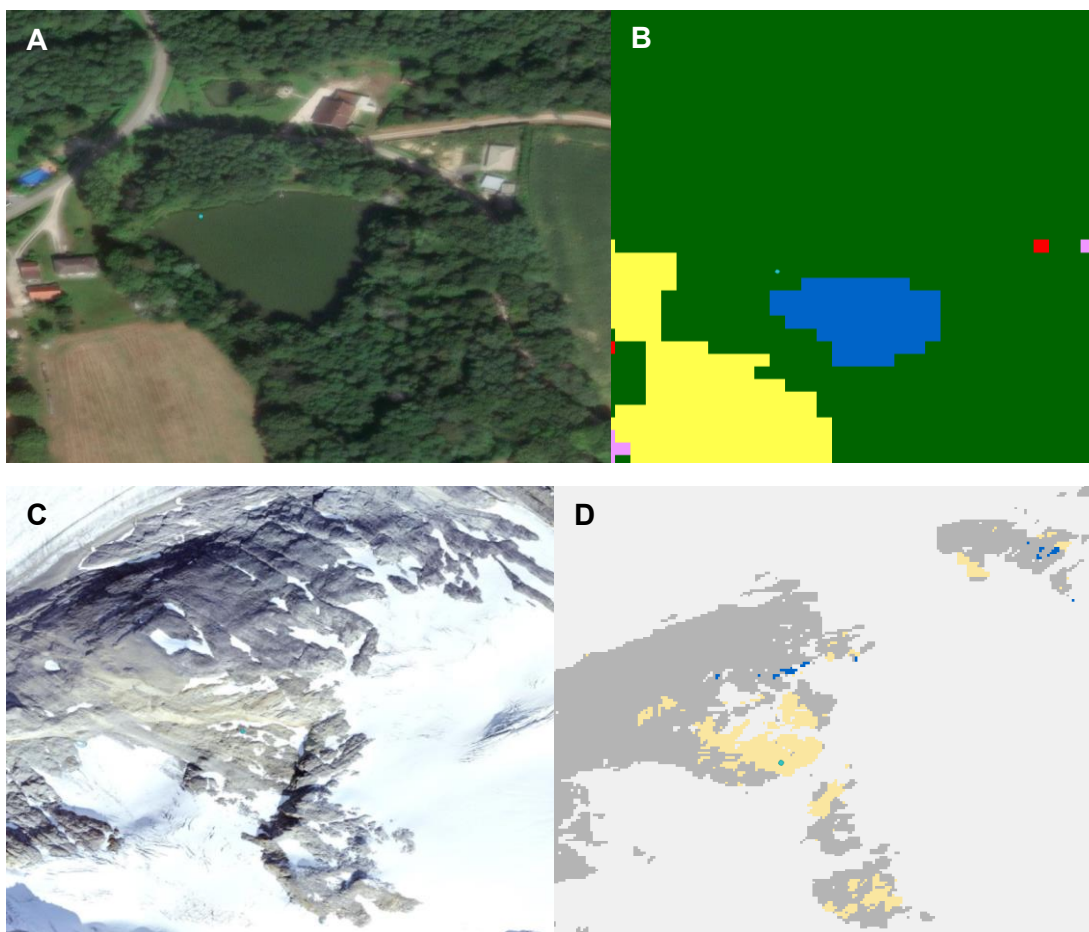
Obrázek 8, A – ortofoto, B – databáze, vyhodnocení pravděpodobně vyschlého jezera holá půda (šedivá) a travní porost (žlutá) jako voda (modrá), C – ortofoto, D – databáze, vyhodnocení travní porostu (žlutá) jako zemědělská půda (růžová)

Databáze ESA WorldCover 2021 - Austrálie												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Celkový počet	U	Accuracy
Stromový porost	8	3	0	0	0	0	0	0	0	11	72,73%	0
Travní porost	2	45	0	0	0	2	0	0	0	49	91,84%	0
Keřový porost	0	10	9	1	0	4	0	0	0	24	37,50%	0
Zemědělská půda	1	0	0	9	0	2	0	0	0	12	75,00%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	11	0	0	0	0	11	100,00%	0
Holá půda	0	2	0	0	0	8	0	0	0	10	80,00%	0
Voda	0	1	0	0	0	0	6	0	0	7	85,71%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	0	0	4	3	3	0	10	30,00%	0
Mangrovové porosty	5	0	0	0	0	0	5	0	0	10	0,00%	0
Celkový počet	16	61	9	10	11	20	14	3	0	144		0
P Accuracy	50,00%	73,77%	100,00%	90,00%	100,00%	40,00%	42,86%	100,00%	0,00%	0	68,75%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61,40%

Tabulka 9, Celkové vyhodnocení zájmového území Austrálie

5.1.6 Alpská oblast

Další zájmové území bylo vybráno v Alpské oblasti na jihu Evropy a bylo zde vytvořeno 155 validačních bodů. Z toho bylo 38/38 správně klasifikováno jako lesní porost, 5/5 travní porost, 18/24 keřový porost, 14/26 zemědělská půda, 11/12 zástavba, 10/17 holá půda, 7/7 sníh, 6/9 voda, 4/4 mokřady/trvale mokrá půda a 8/13 mechy a rašeliny. Nejhorší přesnost byla u kategorií zemědělská půda (53,84 %) a holá půda (58,82 %). U zemědělské půdy bylo správně vyhodnoceno 14/26 validačních bodů a u holé půdy 10/17 bodů. Největší přesnost byla naopak u lesního porostu, keřového porostu a mokřady/trvale mokrá půda (100 %). Častá chyba na tomto území byla, že databáze vyhodnotila holou půdu v horách jako mechy a rašeliny nebo sníh. Ve skutečnosti se jednalo o holé skály (Obr. 9 C a D). Další častou chybou bylo, že vodu databáze vyhodnotila jako lesní porost. Může to být způsobeno jak jejich podobnou barvou, tak prostorovým rozlišením 10 m, které nahrává vzniku tzv. mixed pixelů. V okolí vodních ploch se nachází les, takže klasifikační algoritmus této databáze mohl nesprávně vyhodnotit i tyto pixely jako les (Obr. 9 A a B). Celková přesnost na Alpském území je 78,06 %. Koeficient kappa je 74,4 % (Tabulka 10).



Obrázek 9, A – ortofoto, B – databáze, vyhodnocení vody (modrá) jako lesní porost (zelená), C – ortofoto, D – databáze, Vyhodnocená holá půda (šedivá) jako mechy a lišejníky (běžová), sníh (bílá)

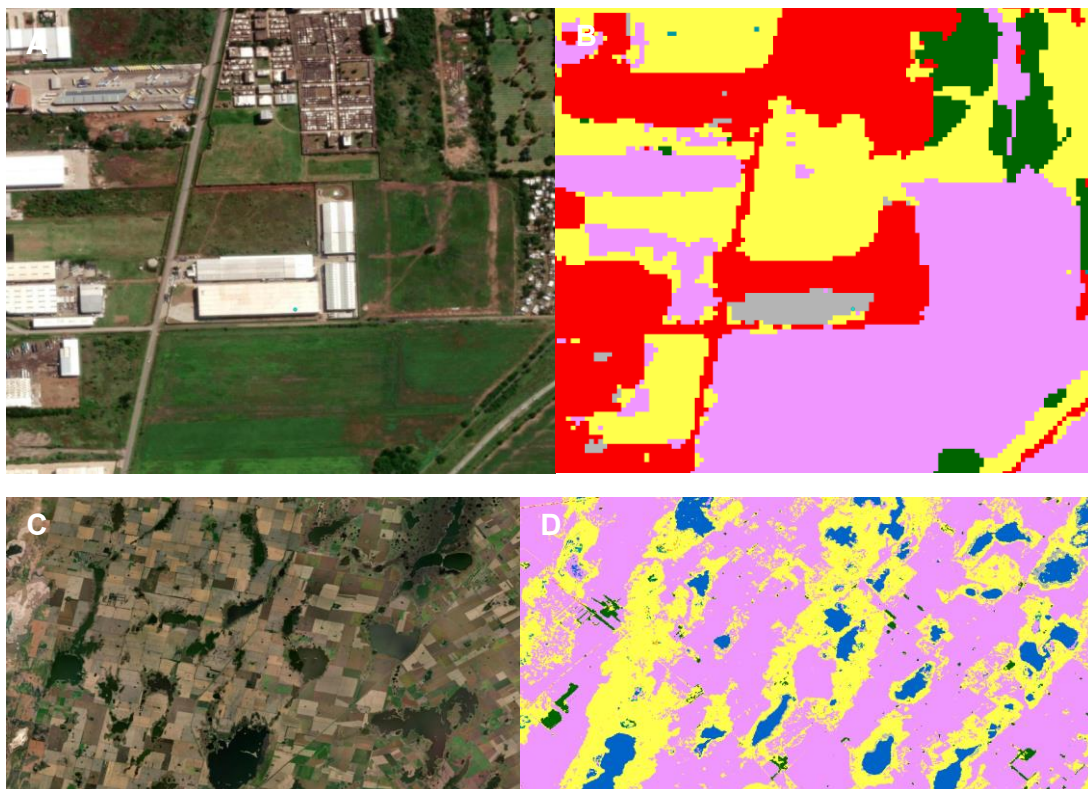
Databáze ESA WorldCover 2021 - Alpská oblast												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mechy a rašeliny	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	38	0	4	2	0	0	0	1	0	0	45	84,44%
Travní porost	0	5	0	3	0	1	0	0	0	1	10	50,00%
Keřový porost	0	0	18	6	1	0	0	0	0	4	29	62,07%
Zemědělská půda	0	0	0	14	0	1	0	0	0	0	15	93,33%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	100,00%
Holá půda	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100,00%
Sníh	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	10	70,00%
Voda	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	100,00%
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	2	1	0	0	0	2	4	0	9	44,44%
Mechy a rašeliny	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	10	80,00%
Celkový počet	38	5	24	26	12	17	7	9	4	13	155	0
P Accuracy	100,00%	100,00%	75,00%	53,85%	91,67%	58,82%	100,00%	66,67%	100,00%	61,54%	0	78,06%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74,40%

Tabulka 10, Celkové vyhodnocení zájmového území Alpské oblasti

5.1.7 Jižní Amerika (Argentina)

Na území v Jižní Americe bylo vytvořeno 139 validačních bodů. Z toho bylo 11/12 správně klasifikovaných jako lesní porost, 9/12 travní porost, 14/15 keřový porost, 46/60 zemědělská půda, 12/13 zástavba, 8/11 holá půda, 4/4 voda a 9/12 mokřady/trvale mokrá půda. Na tomto území má většina kategorií databáze ESA WorldCover 2021 velmi podobnou přesnost. Kategorií s nejnižší přesností byla holá půda (72,72 %), v rámci, které bylo vyhodnoceno dobře 8 /11 validačních bodů, 2 byly určeny jako keřový porost a 1 jako voda. Nejpřesnější kategorií byl na tomto území keřový porost s 93,33 %. Nejvíce zastoupenou kategorií byla zemědělská půda, na které bylo 60 bodů, které byly určeny s přesností 76,66 %. Jedna z největších chybovostí na tomto území byla spojena s tím, že v Argentině mají mezi poli různé vodní plochy, ať už s vodou či bez. Databáze tedy určovala okolí těchto ploch jako holou půdu, vodu nebo mokřady/trvale mokrá půdu. Nebo naopak tyto plochy zaměňovala za zemědělskou půdu (Obr. 10 C a D). Další chyba zde byla obdobná

jako na ostatních územích, tedy že zástavba byla vyhodnocena jako holá půda (Obr. 10 A a B). Celková přesnost databáze je proto toto území 81,30 %. Koeficient kappa je 76,44 % (Tabulka 11).



Obrázek 10, A – ortofoto, B – databáze, chybně vyhodnocena holá půda (šedivá) jako zástavba (červená), C – ortofoto, D – databáze, Příklad vodních ploch (modrá) v zemědělské půda (růžová) a následně špatné vyhodnocení, Travní porost (žlutá)

Databáze ESA WorldCover 2021 - Jižní Amerika										
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	11	1	1	0	0	0	0	0	13	84,62%
Travní porost	1	9	0	0	0	0	0	0	10	90,00%
Keřový porost	0	2	14	13	0	2	0	1	32	43,75%
Zemědělská půda	0	0	0	46	0	0	0	1	47	97,87%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	12	0	0	0	12	100,00%
Holá půda	0	0	0	0	0	1	8	0	10	80,00%
Voda	0	0	0	0	0	1	4	0	5	80,00%
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	1	0	0	0	9	10	90,00%
Celkový počet	12	12	15	60	13	11	4	12	139	
P. Accuracy	91,67%	75,00%	93,33%	76,67%	92,31%	72,73%	100,00%	75,00%	0	81,30%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76,44%

Tabulka 11, Celkové výsledky zájmového území V Jižní Americe (Argentina)

5.1.8 Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2021

Největší chybovost v databázi ESA WorldCover 2021 byla mezi kategoriemi zástavba a holá půda. Kde parkoviště či lesklou střechu hal databáze vyhodnocovala jako holou půdu. Další vysoká míra chybovosti byla mezi zemědělskou půdou a travním porostem. Největší celková přesnost byla na území Jižní Ameriky, kde na jediném území přesáhla přesnost 80 %. Naopak nejmenší přesnost byla na území Austrálie, které jako jediné zájmové území nedosáhlo na přesnost 70 %. Nejvyšší přesnost databáze v rámci jednotlivých kategorií je u sněhu (100 %). Nicméně sníh byl jen na dvou zájmových oblastech a díky své malé rozloze byl pokryt jen malým počtem validačních bodů. Nejvyšší přesnost mezi kategoriemi, které jsou zastoupeny na většině zájmových území je u zastavěných oblastí s 87,28 % (Tabulka 12). Nejmenší přesnost je naopak u kategorie holá půda s pouze 60,74 %. Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2021 napříč všemi zájmovými území je 75,25 %. Koeficient kappa je 69,85 % (Tabulka 13).

Databáze ESA WorldCover 2021											
Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Mechy a rašeliny	
86,05%	64,55%	78,99%	65,02%	87,28%	60,74%	100,00%	80,21%	85,54%	66,67%	66,48%	

Tabulka 12, Celková přesnost všech kategorií na všech zájmových územích

Celková přesnost	75,25%
kappa	69,85%

Tabulka 13, Celková přesnost celé databáze ESA WorldCover 2021

5.2 Databáze ESA WorldCover 2020

5.2.1 USA (Florida)

Na území Floridy pro rok 2020 byly jako reference použity stejné validační body jako pro rok 2021, které byly aktualizované pro databázi z roku 2020. Je zde tedy 142 validačních bodů. Z nich bylo vyhodnoceno 44/45 úspěšně jako lesní porost, 1/9 travní porost, 8/14 keřový porost, 8/18 zemědělská půda, 8/17 zástavba, 6/6 holá půda, 6/7 voda, 11/15 mokřady/trvale mokrá půda, 10/11 mangrovové porosty. Databáze ESA WorldCover 2020 má ve všech kategoriích až na dvě menší přesnost než databáze z roku 2021. Ve dvou kategoriích (lesní porost a holá půda) má stejnou hodnotu přesnosti. Kategorií s nejnižší přesností je travní porost s 1 správně vyhodnoceným bodem z 9, tedy s 11,11 % přesností. Celková přesnost databáze pro zájmové území Floridy je 71,83 %. Koeficient kappa je 65,44 % (Tabulka 14).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Florida												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Celkový počet	U	Accuracy
Stromový porost	44	1	5	6	3	0	0	1	0	60	73,33%	0
Travní porost	0	1	0	0	0	0	0	3	0	4	25,00%	0
Keřový porost	1	3	8	3	1	0	1	0	0	17	47,06%	0
Zemědělská půda	0	0	1	8	0	0	0	0	0	9	88,89%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8	100,00%	0
Holá půda	0	1	0	1	5	6	0	0	0	13	46,15%	0
Voda	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	100,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	3	0	0	0	0	0	11	1	15	73,33%	0
Mangrovové porosty	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	100,00%	0
Celkový počet	45	9	14	18	17	6	7	15	11	142		0
P Accuracy	97,78%	11,11%	57,14%	44,44%	47,06%	100,00%	85,71%	73,33%	90,91%	0	71,83%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65,44%

Tabulka 14, Celkové vyhodnocení zájmového území USA (Floridy)

5.2.2 Afrika

Na tomto území je vyhodnoceno 28/44 správně jako lesní porost, 10/20 travní porost, 16/22 keřový porost, 3/10 zemědělská půda, 7/10 zástavba, 7/20 holá půda, 2/2 sníh, 11/13 voda, 5/7 mokřady, trvale mokrá půda. Tato databáze je oproti té z roku 2021, přesnější pouze v kategorii voda, a to o 8 %. U kategorie sníh, která obsahuje pouze dva body je se 100 % stejně přesná. Celková přesnost databáze je u tohoto území 60,14 %. Koeficient kappa je zde 52,91 % (Tabulka 15).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Afrika												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Celkový počet	U	Accuracy
Stromový porost	28	1	1	0	1	0	0	0	1	32	87,50%	0
Travní porost	14	10	2	4	0	0	0	0	1	31	32,26%	0
Keřový porost	2	9	16	3	1	5	0	0	0	36	44,44%	0
Zemědělská půda	0	0	1	3	0	0	0	0	0	4	75,00%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7	100,00%	0
Holá půda	0	0	2	0	1	7	0	1	0	11	63,64%	0
Sníh	0	0	0	0	0	7	2	0	0	9	22,22%	0
Voda	0	0	0	0	0	0	0	11	0	11	100,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	0	0	1	0	1	5	7	71,43%	0
Celkový počet	44	20	22	10	10	20	2	13	7	148		0
P Accuracy	63,64%	50,00%	72,73%	30,00%	70,00%	35,00%	100,00%	84,62%	71,43%	0	60,14%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52,91%

Tabulka 15, Celkové vyhodnocení zájmového území Afriky

5.2.3 Sever Evropy (Anglie)

V rámci lokality Anglie bylo správně určeno 14/16 jako lesní porost, 0/2 travní porost, 30/39 keřový porost, 19/40 zemědělská půda, 15/19 zástavba, 2/11 holá půda, 1/1 voda, 6/10 mokřady/trvale mokrá půda, 0/7 mechy a rašeliny. Na území severní Evropy (Anglie) byla databáze z roku 2020 přesnější pouze u kategorie keřový porost, a to o 5 %. U kategorie zástavba byly obě databáze stejně přesné (78,94 %). U všech

ostatních kategorií je databáze z roku 2020 méně přesná. Navíc u tříd travní porost a mechy a rašeliny je přesnost 0 %. Celková přesnost databáze pro rok 2020 je tak rovných 60,00 %. Koeficient kappa je 49,80 % (Tabulka 16).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Anglie											
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mechy a rašeliny	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	14	2	5	0	1	0	0	0	0	22	63,64%
Travní porost	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0,00%
Keřový porost	2	0	30	21	0	5	0	3	7	68	44,12%
Zemědělská půda	0	0	0	19	1	0	0	0	0	20	95,00%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	15	3	0	0	0	18	83,33%
Holá půda	0	0	0	0	2	2	0	1	0	5	40,00%
Voda	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	50,00%
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6	100,00%
Mechy a rašeliny	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Celkový počet	16	2	39	40	19	11	1	10	7	145	0
P Accuracy	87,50%	0,00%	76,92%	47,50%	78,95%	18,18%	100,00%	60,00%	0,00%	0	60,00%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49,80%

Tabulka 16, Celkové vyhodnocení zájmového území Severní Evropy (Anglie)

5.2.4 Jižní Asie (Vietnam)

Na tomto území bylo databází správně určeno, že 52/58 validačních bodů je lesní porost, 0/8 travní porost, 3/6 keřový porost, 22/37 zemědělská půda, 10/12 zástavba, 3/8 holá půda, 3/4 voda, 2/7 mokřady/trvale mokrá půda, 8/8 mangrovové porosty. V jižní Asii je v rámci databáze ESA WorldCover pro rok 2020 přesnější oproti roku 2021 pouze kategorie lesní porost, a to o 2 %. U dvou kategorií je přesnost stejná jako v databázi z roku 2021. Jedná se o zástavbu a mangrovové porosty. Naopak u všech ostatních kategorií je přesnost horší. Navíc u travního porostu je přesnost této databáze 0 %. Celková přesnost na území Vietnamu je 69,59 %. Koeficient kappa je 60,38 % (Tabulka 17).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Asie											
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	52	3	1	2	0	1	1	0	0	60	86,57%
Travní porost	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Keřový porost	2	1	3	4	0	2	0	0	0	12	25,00%
Zemědělská půda	1	2	2	22	1	1	0	3	0	32	68,75%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100,00%
Holá půda	1	1	0	5	1	3	0	0	0	11	27,27%
Voda	0	0	0	2	0	1	3	1	0	7	42,86%
Mokřady/trvale mokrá půda	1	1	0	2	0	0	0	2	0	6	33,33%
Mangrovové porosty	1	0	0	0	0	0	0	1	8	10	80,00%
Celkový počet	58	8	6	37	12	8	4	7	8	148	0
P Accuracy	89,66%	0,00%	50,00%	59,46%	83,33%	37,50%	75,00%	28,57%	100,00%	0	69,59%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60,38%

Tabulka 17, Celkové vyhodnocení zájmového území Jižní Asie (Vietnam)

5.2.5 Austrálie

Na území Austrálie bylo úspěšně určeno, že 7/16 validačních bodů je lesní porost, 47/61 travní porost, 8/9 keřový porost, 8/10 zemědělská půda, 9/11 zástavba, 10/20 holá půda, 5/14 voda, 1/30 mokřady/trvale mokrá půda, 0/0 mangrovové porosty. V případě databáze z roku 2020 jsou oproti roku 2021 přesněji klasifikovány kategorie travní porost (o 4 %) a holá půda (o 10 %). U mangrovových porostů je přesnost stejná jako u databáze z roku 2021, nicméně ani u jedné databáze není určen správně jediný bod. U všech ostatních kategorií je přesnost oproti roku 2021 horší. Celková přesnost pro území Austrálie je 65,97 %. Koeficient kappa je 56,49 % (Tabulka 18).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Austrálie											
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	7	2	0	0	1	1	1	0	0	12	58,33%
Travní porost	2	47	1	1	1	3	2	0	0	57	82,46%
Keřový porost	3	8	8	1	0	4	1	0	0	25	32,00%
Zemědělská půda	0	0	0	8	0	1	0	0	0	9	88,89%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9	100,00%
Holá půda	0	4	0	0	0	10	2	2	0	18	55,56%
Voda	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	100,00%
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	50,00%
Mangrovové porosty	4	0	0	0	0	0	3	0	0	7	0,00%
Celkový počet	16	61	9	10	11	20	14	3	0	144	0
P Accuracy	43,75%	77,05%	88,89%	80,00%	81,82%	50,00%	35,71%	33,33%	0,00%	0	65,97%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56,49%

Tabulka 18, Celkové vyhodnocení zájmového území Austrálie

5.2.6 Alpská oblast

V zájmovém území v jižní Evropě v oblasti Alp bylo určeno 38/36 jako lesní porost, 2/5 travní porost, 19/24 keřový porost, 14/26 zemědělská půda, 10/12 zástavba, 6/17 holá půda, 7/7 sníh, 5/9 voda, 4/4 mokřady/trvale mokrá půda, 6/13 mechy a rašeliny. Zemědělská půda má stejnou přesnost jako u novější databáze (53,85 %). Kategorie keřový porost má lepší přesnost než v novější databázi (o 4 %). Zbytek databáze z roku 2020 je méně přesný oproti novější verzi roku 2021. Nejhorší přesnost je například u kategorie holá půda (35,30 %). Celková přesnost databáze pro zájmovém území Alp je 70,32 %. Koeficient kappa je 65,05 % (Tabulka 19).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Alpská oblast												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mechy a rašeliny	Celkový počet	U Accuracy
Stromový porost	36	2	2	2	1	1	0	1	0	0	45	80,00%
Travní porost	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	66,67%
Keřový porost	1	1	19	6	1	5	0	0	0	7	40	47,50%
Zemědělská půda	0	0	0	14	0	1	0	0	0	0	15	93,33%
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	100,00%
Holá půda	0	0	0	2	0	6	0	2	0	0	10	60,00%
Sníh	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	9	77,78%
Voda	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	6	83,33%
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	3	1	0	0	0	1	4	0	9	44,44%
Mechy a rašeliny	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6	8	75,00%
Celkový počet	38	5	24	26	12	17	7	9	4	13	155	0
P Accuracy	94,74%	40,00%	79,17%	53,85%	83,33%	35,29%	100,00%	55,56%	100,00%	46,15%	0	70,32%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65,05%

Tabulka 19, Celkové vyhodnocení zájmového území Alpská oblast

5.2.7 Jižní Amerika (Argentina)

Na území Jižní Ameriky bylo vyhodnoceno, že 8/12 validačních bodů je správně klasifikovaných jako lesní porost, 9/12 travní porost, 12/15 keřový porost, 42/60 zemědělská půda, 11/13 zástavba, 9/11 holá půda, 4/4 voda, 5/12 mokřady/trvale mokrá půda. Databáze z roku 2020 je přesnější v případě kategorie holá půda (o skoro 10 %) než novější verze z roku 2021. V kategorii voda je stejně přesná a ve všech ostatních kategoriích je horší než databáze z roku 2021. Celková přesnost databáze je v případě Argentiny 71,94 %. Koeficient kappa je 64,48 % (Tabulka 20).

Databáze ESA WorldCover 2020 - Jižní Amerika												
	Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Celkový počet	U Accuracy		
Stromový porost	8	0	1	0	0	0	0	0	9	88,89%	0	0
Travní porost	2	9	0	0	0	0	0	0	11	81,82%	0	0
Keřový porost	0	3	12	17	1	1	0	5	39	30,77%	0	0
Zemědělská půda	1	0	2	42	1	1	0	1	48	87,50%	0	0
Zastavěné oblasti	1	0	0	0	11	0	0	0	12	91,67%	0	0
Holá půda	0	0	0	0	0	9	0	1	10	90,00%	0	0
Voda	0	0	0	0	0	0	4	0	4	100,00%	0	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	0	1	0	0	0	5	6	83,33%	0	0
Celkový počet	12	12	15	60	13	11	4	12	139	0	0	0
P Accuracy	66,67%	75,00%	80,00%	70,00%	84,62%	81,82%	100,00%	41,67%	0	71,94%	0	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64,48%

Tabulka 20, Celkové vyhodnocení zájmového území Jižní Ameriky (Argentina)

5.2.8 Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2020

Na všech zájmových územích kromě USA (Florida) byla zjištěna nejmenší procentuální přesnost databáze ESA WorldCover 2020 u kategorie holá půda. Další kategorie, která měla poměrně nízkou přesnost je travní porost, který databáze z roku 2020 velmi často zaměňovala za zemědělskou půdou či keřový porost. Mezi všemi kategoriemi je naopak nejpřesnější sníh s 100 %, stejně jako u databáze z roku 2021. Největší přesnost mezi kategoriemi obsažených na většině zájmových území je u lesního porostu (77,67 %). Naopak nejmenší přesnost u této databáze skrze všechny zájmové území je u kategorie travní porost s pouhými 36,17 % (Tabulka 22). Celková přesnost databáze je 67,11 %, celkový koeficient kappa je 59,22 % (Tabulka 21).

Databáze z roku 2020 je ve všech kategoriích celkově méně přesná než databáze z roku 2021. Tedy až na kategorii sníh, kde dosahují shodně obě databáze přesnosti 100 %. Největší rozdíl (43,41 %) je u kategorie mechy a rašeliny. Tato kategorie se, ale nachází pouze na dvou územích – Severní Evropa (Anglie), Alpská oblast. Nejmenší rozdíl mezi databázemi je u kategorie mangrovové porosty. Tato

kategorie se ale nachází jen na dvou zájmových územích. Mezi kategoriemi, které se nachází na většině území je největší rozdíl u travního porostu. U databáze z roku 2020 je méně přesná o 28,38 %. Nejmenší rozdíl mezi kategoriemi, které jsou na většině území je u vody, zde je rozdíl pouze 3,55 % (Tabulka 23). Obecně, na základě porovnání celkové přesnosti napříč všemi zájmovými lokalitami, se dá říci, že databáze ESA WorldCover z roku 2020 je o 8,14 % méně přesná než databáze z roku 2021. Koeficient kappa je horší o 10,63 % (Tabulka 24).

Celková přesnost	67,11%
kappa	59,22%

Tabulka 21, Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2020

Databáze ESA WorldCover 2020										
Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sněh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Mechy a rašeliny
77,67%	36,17%	72,12%	55,04%	75,59%	51,11%	100,00%	76,66%	58,33%	63,64%	23,08%

Tabulka 22, Celková přesnost všech kategorií na všech zájmových územích

Rozdíl přesnosti databázi ESA WorldCover 2021 a 2020 pro jednotlivé kategorie										
Stromový porost	Travní porost	Keřový porost	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sněh	Voda	Mokřady/trvale mokrá půda	Mangrovové porosty	Mechy a rašeliny
8,36%	28,38%	6,86%	9,98%	11,69%	9,63%	0,00%	3,55%	27,21%	3,03%	43,41%

Tabulka 23, Rozdíl přesností všech kategorií mezi databázemi ESA WorldCover 2021 a 2020

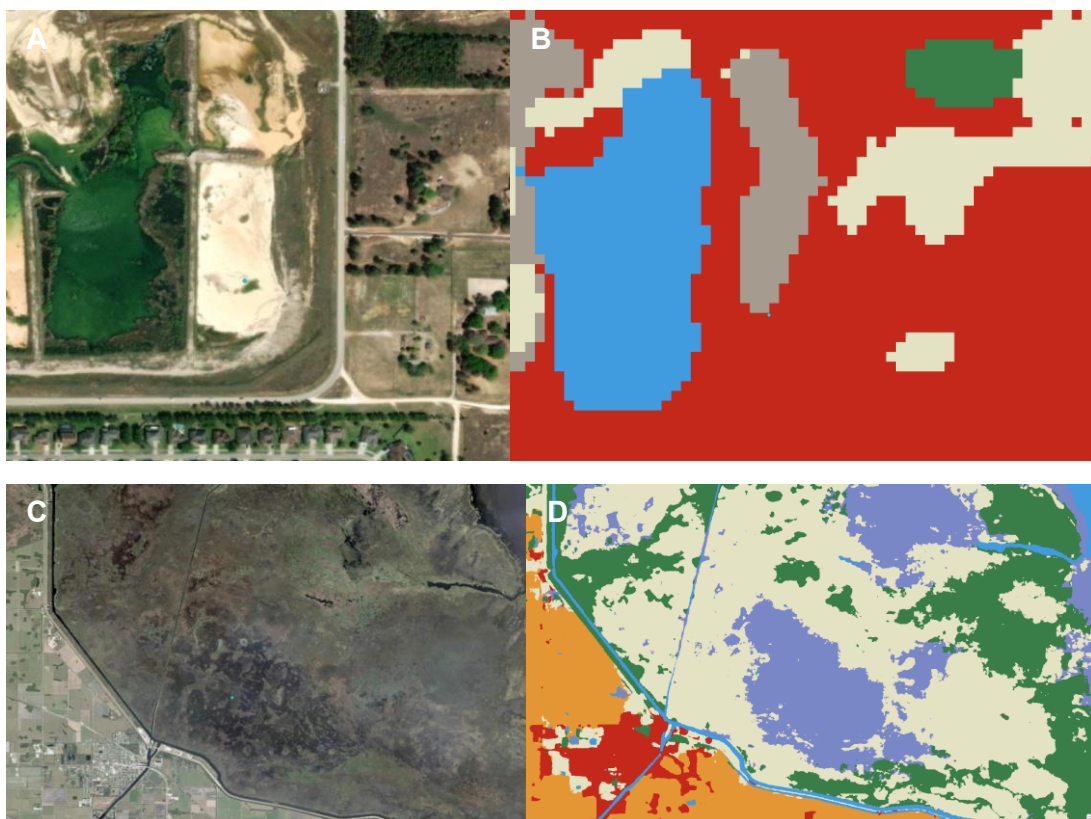
Rozdíl přesnosti (2021 - 2020)	8,14%
Rozdíl kappa (2021 - 2020)	10,63%

Tabulka 24, Rozdíl celkových přesností databází ESA WorldCover 2021 a 2020

5.3 Databáze ESRI LandCover 2021

5.3.1 USA (Florida)

V databázi od ESRI jsou jiné kategorie oproti té od ESA, jak jsem již psal v metodice. Na zájmovém území v USA (Florida) bylo určeno úspěšně 7/7 bodů jako voda, 35/45 stromový porost, 6/26 mokřady/trvale mokrá půda, 13/18 zemědělská půda, 17/17 zástavba, 1/6 holá půda, 18/23 „rangeland“ (pastvina). Nejmenší přesnost byla u kategorie holá půda (16,67 %). Nejčastější chybou bylo, že holá půda byla určena jako zástavba u 5/6 bodů (Obr. 11 A a B). Velká chybovost byla také u mokřadů/trvale mokré půdy, kde bylo určeno 20/26 bodů špatně, 7 jako stromový porost a 13 jako rangeland (Obr. 11 C a D). Naopak největší přesnost byla prokázána u kategorií voda a zastavěné oblasti (100 %). Celková přesnost databáze od ESRI na území Floridy je 68,31 %. Koeficient kappa je 60,85 % (Tabulka 25).



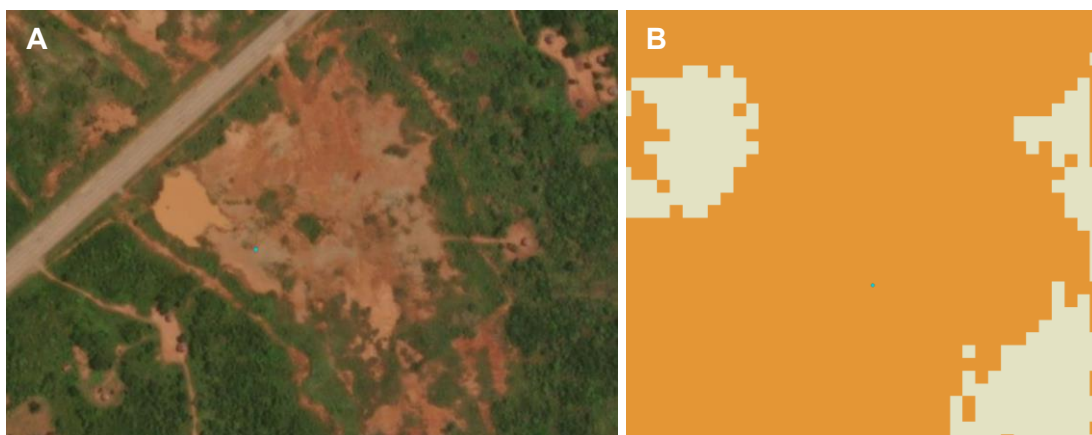
Obrázek 11, A – ortofoto, B – databáze, chybně vyhodnocená holá půda (šedivá) jako zástavba (červená), C – ortofoto, D – databáze, zde byl mokřad a trvale mokrá půda (Fialová) jako rangeland (běžová)

Databáze ESRI LandCover 2021 - Florida										
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Rangeland	Celkový počet	U Accuracy	
Voda	7	0	0	0	0	0	0	7	100,00%	0
Stromový porost	0	35	7	1	0	0	0	43	81,40%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	6	0	0	0	0	6	100,00%	0
Zemědělská půda	0	1	0	13	0	0	3	17	76,47%	0
Zastavěné oblasti	0	5	0	0	17	5	2	29	58,62%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	1	0	1	100,00%	0
Rangeland	0	4	13	4	0	0	18	39	46,15%	0
Celkový počet	7	45	26	18	17	6	23	142		0
P Accuracy	100,00%	77,78%	23,08%	72,22%	100,00%	16,67%	78,26%			68,31%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0			60,85%

Tabulka 25, Celkové vyhodnocení zájmového území USA (Florida)

5.3.2 Afrika

V Africe bylo určeno, že 11/13 validačních bodů je opravdu voda, 39/44 stromový porost, 0/7 mokřady/trvale mokrá půda, 6/10 zemědělská půda, 7/10 zástavba, 2/20 holá půda, sníh 0/2, 27/42 rangeland. Největší chybovost byla u kategorií mokřady/trvale mokrá půda a sníh s 0 %. Druhá nejmenší přesnost byla u kategorie holá půda, kde bylo špatně 18/20. Z toho vyplívá pouze 10 % přesnost. Na Obr. 12 je vidět, že databáze určila holou půdu jako zemědělskou půdu. Nejvyšší přesnost je naopak u kategorie stromový porost (88,64 %). V tomto případě bylo pouze 5 bodů ze 44 určeno špatně. Celková přesnost zájmového území v Africe je 62,16 %. Koeficient kappa je 51,34 % (Tabulka 26).



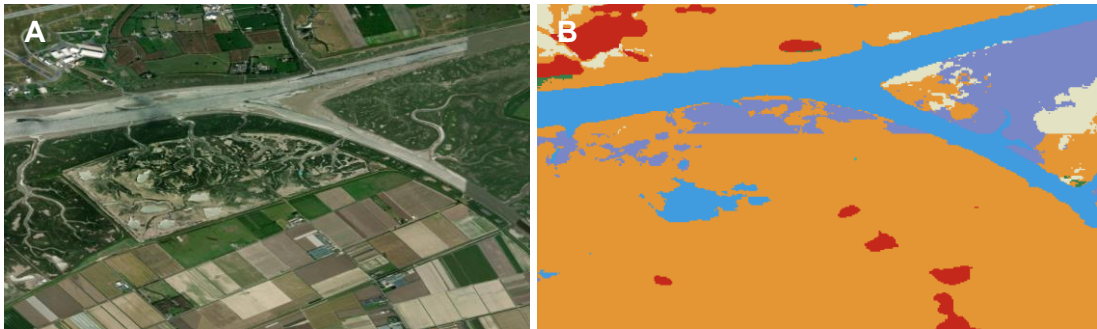
Obrázek 12, A – ortofoto, B – databáze, Chyba, že holá půda byla určena jako zemědělská půda (oranžová)

Databáze ESRI LandCover 2021 - Afrika											
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland	Celkový počet	U. Accuracy	
Voda	11	0	0	0	0	0	0	0	11	100,00%	0
Stromový porost	0	39	3	0	0	0	0	10	52	75,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00%	0
Zemědělská půda	0	2	0	6	1	1	0	4	14	42,86%	0
Zastavěné oblasti	0	1	0	0	7	0	0	1	9	77,78%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	2	1	0	3	66,67%	0
Sníh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	0
Rangeland	1	2	4	4	2	11	0	27	51	52,94%	0
Celkový počet	13	44	7	10	10	20	2	42	148		0
P Accuracy	84,62%	88,64%	0,00%	60,00%	70,00%	10,00%	0,00%	64,29%	0	62,16%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,34%	

Tabulka 26, Celkové vyhodnocení zájmového území Afrika

5.3.3 Severní Evropa (Anglie)

Na území Anglie bylo určeno, že 1/1 je voda, 7/16 stromový porost, 1/10 mokřady/trvale mokrá půda, 35/40 zemědělská půda, 17/19 zástavba, 1/11 holá půda, 37/48 rangeland. Největší chybovost byla u kategorie holá půda, kde bylo určeno 10/11 špatně s přesností pouze 9,09 % a kategorie mokřady/trvale mokrá půda s 9/10 určených špatně s přesností 10 %. U holé půdy byly chyby rozloženy přes všechny kategorie, ale u mokřadů/trvale mokré půdy bylo 5/10 určeno jako zemědělská půda. Na Obr. 13 je vidět mokřad, který databáze určila jako zemědělskou půdu. Největší přesnost u tohoto zájmového území je u vody (100 %), avšak tato třída obsahuje pouze 1 validační bod. Největší přesnost u kategorie s více body je u zástavby (89,47 %). Celková přesnost na území Anglie je 68,28 %. Koeficient kappa je 57,82 % (Tabulka 27).



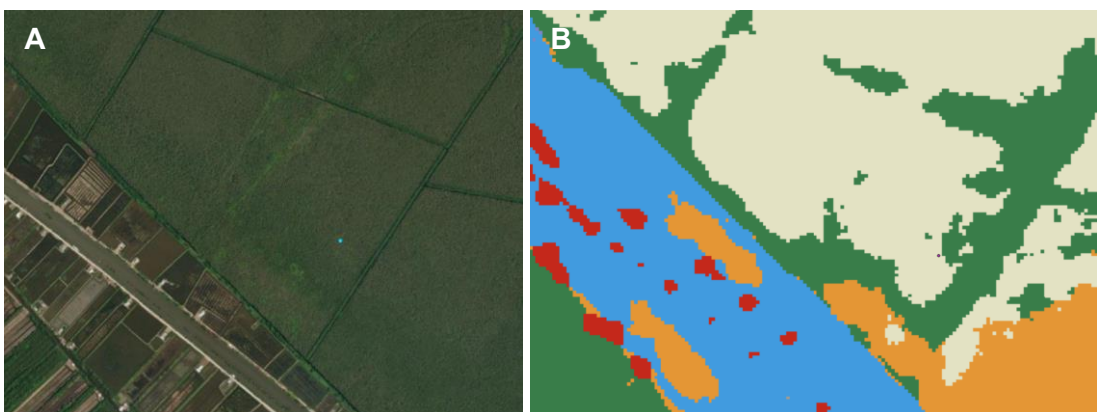
Obrázek 13, A – ortofoto, B – databáze, chyba, že databáze určila mokřad a trvale mokrou půdu (fialová) jako zemědělskou půdu (oranžová)

Databáze ESRI LandCover 2021 - Anglie										
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Rangeland	Celkový počet	U	Accuracy
Voda	1	0	1	0	0	1	0	3	33,33%	0
Stromový porost	0	7	1	0	0	0	3	11	63,64%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	1	0	0	1	0	2	50,00%	0
Zemědělská půda	0	2	5	35	2	2	6	52	67,31%	0
Zastavěné oblasti	0	4	0	0	17	2	2	25	68,00%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	1	0	1	100,00%	0
Rangeland	0	3	2	5	0	4	37	51	72,55%	0
Celkový počet	1	16	10	40	19	11	48	145		0
P Accuracy	100,00%	43,75%	10,00%	87,50%	89,47%	9,09%	77,08%			68,28%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0		57,82%

Tabulka 27, Celkové vyhodnocení zájmového území Severní Evropa (Anglie)

5.3.4 Jižní Asie (Vietnam)

Na území Jižní Asie je určeno, že 3/4 je voda, 41/58 stromový porost, 3/15 mokřady/trvale mokrá půda, 24/37 zemědělská půda, 11/12 zástavba, 1/8 holá půda, 7/14 rangeland. Nejméně přesná kategorie na tomto zájmovém území je holá půda se 7/8 body určenými špatně s přesností 12,5 %. Databáze je vyhodnocována ve stejném období jako databáze od ESA, takže i v případě této databáze jsou na zájmovém území záplavy. V databázi jsou tak špatně určeny kategorie mokřady/trvale mokrá půda, zemědělská půda a rangeland. Na příklad na Obr. 14 je vidět, jak databáze určila stromový porost jako rangeland. Nejpřesnější kategorie je zástavba s pouhým 1 bodem určeným špatně a tedy 91,67 % přesností. Na tomto zájmovém území nemá žádná kategorie přesnost 100 %. Celková přesnost databáze pro území Vietnamu je 60,81 %. Koeficient kappa je 49,43 % (Tabulka 28).



Obrázek 14, A – ortofoto, B – databáze, stromový porost (zelená), rangeland (běžová), voda (modrá),

Databáze ESRI LandCover 2021 - Asie										
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Rangeland	Celkový počet	U	Accuracy
Voda	3	0	4	5	0	1	0	13	23,08%	0
Stromový porost	0	41	5	1	0	2	49	83,67%	0	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	1	3	0	0	1	6	50,00%	0	0
Zemědělská půda	1	5	3	24	1	2	38	63,16%	0	0
Zastavěné oblasti	0	4	0	3	11	1	21	52,38%	0	0
Holá půda	0	0	0	0	0	1	1	100,00%	0	0
Rangeland	0	7	0	4	0	2	20	35,00%	0	0
Celkový počet	4	58	15	37	12	8	148		0	0
P Accuracy	75,00%	70,69%	20,00%	64,86%	91,67%	12,50%	50,00%		0	60,81%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0		0	49,43%

Tabulka 28, Celkové vyhodnocení zájmového území Jižní Asie (Vietnam)

5.3.5 Austrálie

Na zájmovém území v Austrálii je 6/14 bodů správně určeno jako voda, 10/16 stromový porost, 1/3 mokřady/trvale mokrá půda, 7/10 zemědělská půda, 11/11 zástavba, 3/20 holá půda, 62/70 rangeland. Nejmenší přesnost je u kategorie holá půda se 17 body určenými špatně a tedy 15 % přesností. 16 ze 17 validačních bodů bylo určeno jako rangeland. Na Obr.15 je vidět, příklad nepřesnosti, kde databáze určila povrch právě jako rangeland. Ve skutečnosti se zde nachází holá půda. Největší přesnost databáze byla u kategorie zástavba, kde bylo určeno správně 11 bodů z 11. Celková přesnost databáze na tomto zájmovém území je 69,44 %. Koeficient kappa je 54,05 % (Tabulka 29).



Obrázek 15, A – ortofoto, B – databáze, zde databáze vyhodnotila celou plochu jako rangeland (běžová), i když je to holá půda

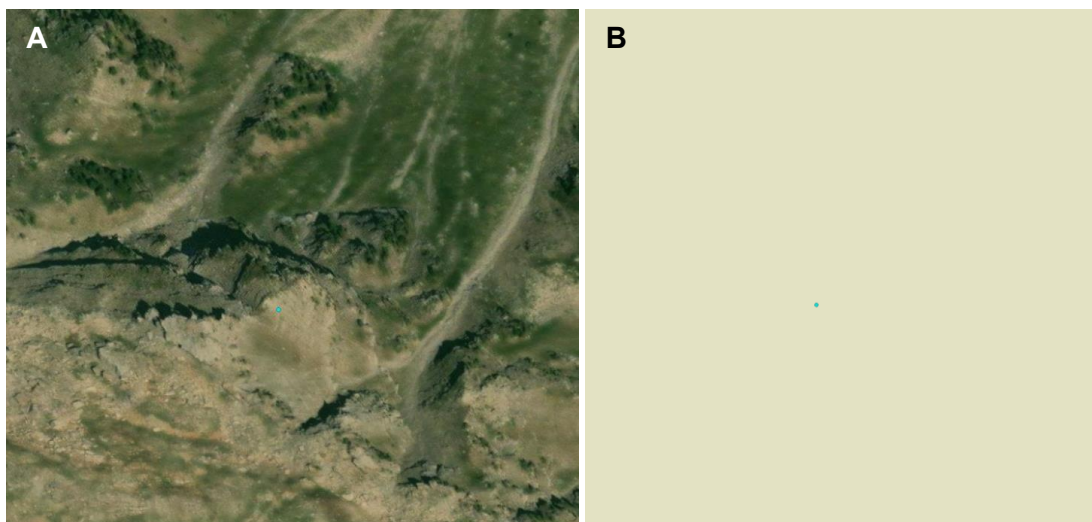
Databáze ESRI LandCover 2021 - Austrálie										
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Rangeland	Celkový počet	U	Accuracy
Voda	6	1	2	0	0	0	0	9	66,67%	0
Stromový porost	2	10	0	0	0	1	8	21	47,62%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	1	0	0	0	0	1	100,00%	0
Zemědělská půda	0	1	0	7	0	0	0	8	87,50%	0
Zastavěné oblasti	0	0	0	0	11	0	0	11	100,00%	0
Holá půda	3	0	0	0	0	3	0	6	50,00%	0
Rangeland	3	4	0	3	0	16	62	88	70,45%	0
Celkový počet	14	16	3	10	11	20	70	144		0
P Accuracy	42,86%	62,50%	33,33%	70,00%	100,00%	15,00%	88,57%		0	69,44%
Kappa	0	0	0	0	0	0	0		0	54,05%

Tabulka 29, Celkové vyhodnocení zájmového území Austrálie

5.3.6 Alpská oblast

Na zájmovém území v Evropě v Alpské oblasti bylo určeno, že 7/9 je voda, 32/38 stromový porost, 2/4 mokřady/trvale mokrá půda, 23/26 zemědělská půda, 12/12 zástavba, 2/17 holá půda, 3/7 sníh, 26/42 rangeland. Nejmenší přesnost na tomto zájmovém území je u kategorie holé půdy s pouhými 2 body ze 17 určenými správně a přesností 11,76 %. Nejčastější chyby souvisí s tím, že databáze vyhodnocovala rangeland a sníh jako holou půdu. Nejpresnější kategorie je zástavba

se 100 % a 12/12 správně vyhodnocenými body. S nejvíce 42 body zde byla zastoupená kategorie rangeland (Obr. 16), která dosahuje přesnosti 61,90 %. 26 bodů bylo určeno správně, 6 bodů bylo vyhodnoceno jako zemědělská půda, 6 jako stromový porost, 3 body jako zástavba a 1 bod jako mokřady/trvale mokrá půda. Celková přesnost databáze na tomto území je 69,03 %. Koeficient kappa je 61,91 % (Tabulka 30).



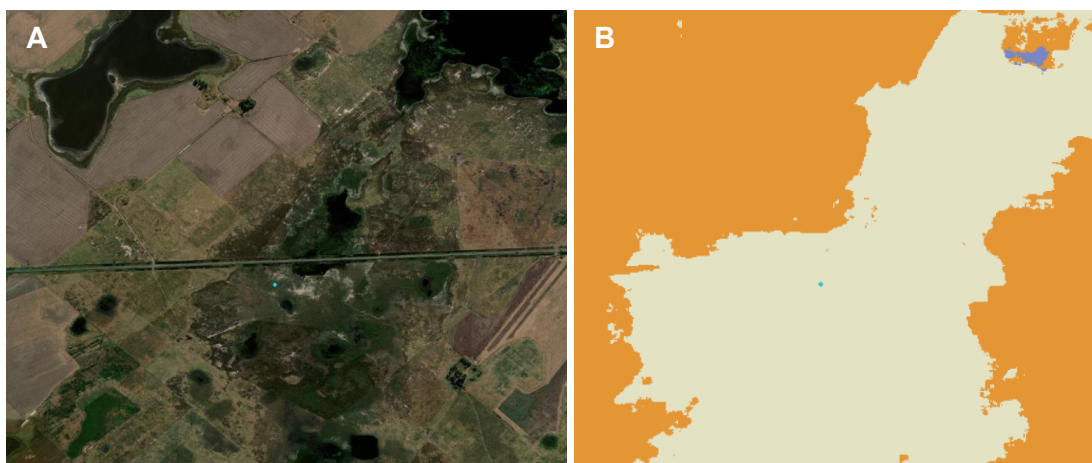
Obrázek 16, A – ortofoto, B – databáze, rangeland (béžová) vyhodnocen místo holé půdy

Databáze ESRI LandCover 2021 - Alpská oblast											
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Snih	Rangeland	Celkový počet	U Accuracy	
Voda	7	1	0	0	0	0	0	0	8	87,50%	0
Stromový porost	1	32	0	0	0	2	0	6	41	78,05%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	2	0	0	0	0	1	3	66,67%	0
Zemědělská půda	0	1	0	23	0	1	0	6	31	74,19%	0
Zastavěné oblasti	0	2	0	1	12	0	0	3	18	66,67%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	2	3	0	5	40,00%	0
Snih	0	0	0	0	0	6	3	0	9	33,33%	0
Rangeland	1	2	2	2	0	6	1	26	40	65,00%	0
Celkový počet	9	38	4	26	12	17	7	42	155	0	0
P Accuracy	77,78%	84,21%	50,00%	88,46%	100,00%	11,76%	42,86%	61,90%	0	69,03%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61,91%

Tabulka 30, Celkové vyhodnocení zájmového území Alpská oblast

5.3.7 Jižní Amerika (Argentina)

Na území Jižní Ameriky, v Argentině, bylo určeno, že 4/4 je voda, 6/12 stromový porost, 2/12 mokřady/trvale mokrá půda, 47/60 zemědělská půda, 13/13 zastavěné oblasti, 4/11 holá půda, 18/27 rangeland. Nejméně přesná kategorie na tomto území je s 10/12 body špatně určenými a přesností 16,67 % kategorie mokřady/trvale mokrá půda. Největší chybovost na území Argentiny byla, že databáze vyhodnocovala zemědělskou půdu jako rangeland (Obr. 17). Nejpřesnější kategorií jsou zastavěné oblasti se 100 % přesností, tedy 13/13 body vyhodnocenými správně. Největší plochou, a tedy nejvíce body (60) disponuje v Argentině kategorie zemědělská půda, která dosahuje přesnosti 78,33 %. Celková přesnost na území Jižní Ameriky je 67,63 %. Koeficient kappa je 56,06 % (Tabulka 31).



Obrázek 17, A – Ortofoto, B – databáze, *rangeland (béžová)*, *zemědělská půda (oranžová)*

Databáze ESRI LandCover 2021 - Jižní Amerika										
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Rangeland	Celkový počet	U Accuracy	
Voda	4	0	1	0	0	3	0	8	50,00%	0
Stromový porost	0	6	1	1	0	0	3	11	54,55%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	2	0	0	0	0	2	100,00%	0
Zemědělská půda	0	4	1	47	0	4	5	61	77,05%	0
Zastavěné oblasti	0	2	0	1	13	0	1	17	76,47%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	4	0	4	100,00%	0
Rangeland	0	0	7	11	0	0	18	36	50,00%	0
Celkový počet	4	12	12	60	13	11	27	139		0
P Accuracy	100,00%	50,00%	16,67%	78,33%	100,00%	36,36%	66,67%	0	67,63%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56,06%

Tabulka 31, Celkové vyhodnocení zájmového území Jižní Amerika (Argentina)

5.3.8 Celková přesnost ESRI LandCover 2021

Nejpřesnější kategorií databáze ESRI pro rok 2021 je kategorie zastavěné oblasti s 93,02 %. Nejméně přesná kategorie je sníh s 21,43 %. Nicméně sníh se nachází pouze na dvou zájmových územích. Kategorie s nejmenší přesností, která se nachází na většině území je holá půda s 15,91 %. Největší chyby v této databázi jsou, že vyhodnocovala zástavbu, vodu a rangeland jako holou půdu. Kvůli těmto okolnostem má kategorie holá půda nejmenší přesnost (Tabulka 32). V databázi ESRI LandCover 2021 nemá žádné zájmové území větší přesnost jak 70 %, ale také žádné nemá menší přesnost než 60 %. Nejpřesnější zájmové území je Austrálie s 69,44 %. Naopak nejméně přesné je s 60,81 % území Asie (Vietnam). Celková přesnost celé databáze je 66,52 %. Celkový koeficient kappa je 55,92 % (Tabulka 33).

Celková přesnost kategorií databáze ESRI LandCover 2021							
Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland
82,89%	68,22%	21,87%	74,48%	93,02%	15,91%	21,43%	69,54%

Tabulka 32, Celková přesnost všech kategorií na všech zájmových územích

Celková přesnost	66,52%
Celková kappa	55,92%

Tabulka 33, Celková přesnost databáze ESRI LandCover 2021

5.4 Databáze ESRI LandCover 2020

5.4.1 USA (Florida)

Na zájmovém území USA (Florida) bylo určeno, že 7/7 je voda, 34/45 stromový porost, 6/26 mokřady/trvale mokrá půda, 13/18 zemědělská půda, 17/17 zastavěné oblasti, 2/6 holá půda, 19/23 rangeland. Nejméně přesná kategorie je mokřady/trvale mokrá půda s 23,08 % a 20 body určenými špatně, kdy konkrétně 6 bodů bylo určeno jako stromový porost a 14 jako rangeland. U této kategorie je stejná přesnost jako v databázi pro rok 2021, akorát body, které jsou nepřesné se liší. Nejpřesnější kategorie jsou voda a zastavěné oblasti se 100 %. 100% přesnost mají stejné kategorie i v novější databázi. Celková přesnost na tomto území je 69,01 %. Koeficient kappa je 61,82 % (Tabulka 34).

Databáze ESRI LandCover 2020 - Florida										
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Rangeland	Celkový počet	U	Accuracy
Voda	7	0	0	0	0	0	0	7	100,00%	0
Stromový porost	0	34	6	1	0	0	0	41	82,93%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	1	6	0	0	0	0	7	85,71%	0
Zemědělská půda	0	0	0	13	0	0	2	15	86,67%	0
Zastavěné oblasti	0	5	0	0	17	4	2	28	60,71%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	2	0	2	100,00%	0
Rangeland	0	5	14	4	0	0	19	42	45,24%	0
Celkový počet	7	45	26	18	17	6	23	142		0
P Accuracy	100,00%	75,56%	23,08%	72,22%	100,00%	33,33%	82,61%	0	69,01%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61,82%

Tabulka 34, Celkové vyhodnocení zájmového území USA (Florida)

5.4.2 Afrika

Na území Afriky bylo určeno, že 11/13 je voda, 39/44 stromový porost, 0/7 mokřady/trvale mokrá půda, 7/10 zemědělská půda, 7/10 zastavěné oblasti, 2/20 holá půda, 0/2 sníh, 26/42 rangeland. V tabulce 35 není ani jeden bod kategorie sníh vyhodnocený správně, má tedy přesnost 0 % je nejméně přesná. Důvodem je výskyt oblačnosti, která byly chybně klasifikována jako sníh. V databázi byly mraky, které překrývali plochu kde by měl být sníh. Když nebudeme brát v potaz sníh na tomto území, tak nejméně přesná kategorie je mokřady/trvale mokrá půda, také s 0 % přesností. Zde bylo 5 bodů vyhodnoceno jako rangeland a 2 jako stromový porost. Největší přesnost je u stromového porostu, který má 88,64 %. Celková přesnost je pro tuto databázi na území Afriky 62,16 %. Koeficient kappa je 51,38 % (Tabulka 35).

Databáze ESRI LandCover 2020 - Afrika											
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland	Celkový počet	U	Accuracy
Voda	11	0	0	0	0	0	0	0	11	100,00%	0
Stromový porost	0	39	2	2	1	0	0	13	57	68,42%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00%	0
Zemědělská půda	0	1	0	7	1	1	0	2	12	58,33%	0
Zastavěné oblasti	0	2	0	0	7	0	0	1	10	70,00%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	2	0	0	2	100,00%	0
Sníh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	0
Rangeland	0	2	5	1	1	11	0	26	46	56,52%	0
Celkový počet	13	44	7	10	10	20	2	42	148		0
P Accuracy	84,62%	88,64%	0,00%	70,00%	70,00%	10,00%	0,00%	61,90%	0	62,16%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,38%

Tabulka 35, Celkové vyhodnocení zájmového území Afrika

5.4.3 Severní Evropa (Anglie)

Na území Severní Evropy bylo určeno, že 1/1 je voda, 7/16 stromový porost, 1/10 mokřady/trvale mokrá půda, 37/40 zemědělská půda, 16/19 zastavěné oblasti, 0/11 holá půda, 36/48 rangeland. S 0% úspěšností a 0/11 body je nejméně přesná kategorie holá půda. Naopak s největší přesností (100 %) je v databázi určena voda, avšak ta je na tomto území validována pouze jedním bodem. Nejpřesnější kategorie kromě vody je zemědělská půda s 37/40 body a 92,50 %. Pouze 3 body zde byly vyhodnoceny špatně. Byly zařazeny do rangelandu. Celková přesnost databáze je pro Anglii, i přes 0 % u holé půdy a 10 % u mokřadů/trvale mokré půdy, je 67,59 %. Koeficient kappa je 56,83 % (Tabulka 36).

Databáze ESRI LandCover 2020 - Alpská oblast											
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland	Celkový počet	U_Accuracy	
Voda	7	1	0	0	0	0	0	0	8	87,50%	0
Stromový porost	1	32	0	0	0	2	0	5	40	80,00%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	2	0	0	0	0	0	2	100,00%	0
Zemědělská půda	0	1	1	23	0	1	0	8	34	67,65%	0
Zastavěné oblasti	0	2	0	1	12	0	0	2	17	70,59%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	2	2	0	4	50,00%	0
Sníh	0	0	0	0	0	3	4	0	7	57,14%	0
Rangeland	1	2	1	2	0	9	1	27	43	62,79%	0
Celkový počet	9	38	4	26	12	17	7	42	155	0	0
P_Accuracy	77,78%	84,21%	50,00%	88,46%	100,00%	11,76%	57,14%	64,29%	0	70,32%	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63,27%

Tabulka 39, Celkové vyhodnocení zájmového území Alpská oblast

5.4.7 Jižní Amerika (Argentina)

Na území Argentiny v Jižní Americe bylo určeno 4/4 voda, 6/12 stromový porost, 3/12 mokřady/trvale mokrá půda, 44/60 zemědělská půda, 12/13 zastavěné oblasti, 4/11 holá půda, 16/27 rangeland. Nejméně přesná kategorie byla mokřady/trvale mokrá půda s 25 % a 3 body vyhodnocenými správně. Nejpresnější kategorie je voda se 100 % a 4/4 správně určenými body. S 92,31 % je velmi přesně klasifikovaná kategorie zastavěné oblasti. Celková přesnost databáze pro Argentinu je tedy 64,03 %. Koeficient kappa je 51,62 % (Tabulka 40).

Databáze ESRI LandCover 2020 - Jižní Amerika											
	Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland	Celkový počet	U_Accuracy	
Voda	4	0	2	0	0	3	0	0	8	50,00%	0
Stromový porost	0	6	0	0	0	0	3	11	11	54,55%	0
Mokřady/trvale mokrá půda	0	0	3	0	0	1	1	5	5	60,00%	0
Zemědělská půda	0	4	0	44	1	3	6	58	58	75,86%	0
Zastavěné oblasti	0	2	0	1	12	0	1	16	16	75,00%	0
Holá půda	0	0	0	0	0	4	0	4	4	100,00%	0
Rangeland	0	0	6	15	0	0	16	37	37	43,24%	0
Celkový počet	4	12	12	60	13	11	27	139	139	0	0
P_Accuracy	100,00%	50,00%	25,00%	73,33%	92,31%	36,36%	59,26%	0	64,03%	0	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,62%

Tabulka 40, Celkové vyhodnocení zájmového území Jižní Amerika (Argentina)

5.4.8 Celková přesnost ESRI LandCover2020

V databázi ESRI LandCover 2020 pouze jediné zájmové území přesáhlo přesnost 70 %, a to Alpská oblast (70,32 %). Naopak území Jižní Asie nepřekonal hranici 60% přesnosti, konkrétně dosáhlo přesnosti pouze 58,11 %. Celkově nejméně přesná kategorie byla holá půda s 15,21 % (Tabulka 41). V databázi pro rok 2020 je její určení o 0,7 % méně přesné než pro rok 2021. Holá půda byla nejméně přesná na 4 ze 7 zájmových území. Nejpresnější kategorie, je stejně jako v databázi z roku 2021 kategorie zastavěné oblasti. V databázi pro rok 2020 je o 1,85 % méně přesná, než pro rok 2021. Voda má na setinu procenta stejnou přesnost v obou ESRI databázích (82,89 %). V databázi z roku 2020 jsou přesnější oproti roku 2021 pouze 3 kategorie. Jedná se o zemědělskou půdu, sníh a rangeland (Tabulka 42). Na rozdíl od databází od ESA, kde ve všech kategoriích byla přesnější databáze z roku 2021. Celková přesnost ESRI LandCover 2020 napříč kategoriemi je 65,71 %. Koeficient kappa je 54,86 % (Tabulka 43). Rozdíl v celkové přesnosti mezi oběma ESRI databázemi je pouze 0,81 %, což je zanedbatelné číslo. Rozdíl celkového koeficientu kappa je také velmi malý, jen 1,06 % (Tabulka 44). Závěrem lze tedy říci, že databáze od ESRI z roku 2020 a 2021 se od sebe z pohledu celkové přesnosti liší jen minimálně, nicméně každá z databází je přesnější v jiných kategoriích.

Celková přesnost kategorií databáze ESRI LandCover 2020							
Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland
82,89%	67,17%	21,15%	76,30%	91,17%	15,21%	28,57%	69,62%

Tabulka 41, Celková přesnost všech kategorií na všech zájmových územích

Rozdíl celkové přesnosti kategorií databáze ESRI LandCover 2021 - 2020							
Voda	Stromový porost	Mokřady/trvale mokrá půda	Zemědělská půda	Zastavěné oblasti	Holá půda	Sníh	Rangeland
0,00%	1,06%	0,71%	-1,81%	1,85%	0,70%	-7,14%	-0,08%

Tabulka 42, Rozdíl přesností všech kategorií mezi databázemi ESRI LandCover 2021 a 2020

Celková přesnost	65,71%
Celková kappa	54,86%

Tabulka 43, Celková přesnost databáze ESRI LandCover 2020

Celková přesnost rozdíl 2021 - 2020	0,81%
Celková kappa rozdíl 2021 - 2020	1,06%

Tabulka 44, Rozdíl celkových přesností databází ESRI LandCover 2021 a 2020

6. Diskuse

Porovnání přesnosti pro databáze ESA WorldCover a ESRI LandCover, bylo provedeno dle jednotné předem stanovené metodiky. Nejprve bylo potřeba vybrat samotná zájmová území. Území byla vybrána na základě rozlohy 5 polí databáze ESA WorldCover. Území byla také vybírána tak, aby na každém území bylo zastoupeno co nejvíce tříd krajinného pokryvu. Dále bylo potřeba vytvořit vlastní referenční body, podle kterých probíhalo samotné hodnocení přesnosti. Do referenčních bodů byl podle ortofoto mapy zapsán aktuální stav krajinného pokryvu na 7 zájmových lokalitách. Posledním následujícím krokem bylo vypočítání statistik a vyhodnocení samotné přesnosti, a to na úrovni jednotlivých tříd krajinného pokryvu, zájmových území a celkově pro jednotlivé databáze.

Celková přesnost databáze ESA WorldCover 2021 je 75,25 %. Podle samotné ESA by měla být přesnost této databáze 76,70 % (De Kerchove Ruben, 2020). Dosažený výsledek tak odpovídá přesnosti deklarované ESA. Shoda mezi těmito dvěma nezávislými hodnoceními je zárukou toho, že se opravdu jedná o reálnost přesnosti této databáze. Mezi jednotlivými kategoriemi krajinného pokryvu byla nejpřesnější kategorie sníh se 100% shodou. Tato kategorie se nicméně vyskytovala pouze na dvou zájmových územích, takže nemá takovou váhu jako ty, které byly na všech. Z kategorií, které byly na všech zájmových územích jsou nejpřesnější kategorií zastavěné oblasti s 87,28 % a stromový porost s 86,05 %. Naopak nejméně přesné byly kategorie holá půda s 60,74 %, travní porost s 64,55 % a zemědělská půda s 65,02 %. U holé půdy je chybovost způsobena zejména záměnou za zastavěné plochy. Databáze většinou vyhodnocovala velká parkoviště a lesklé kovové střechy budov a hal jako holou půdu, kvůli podobné odrazivosti. Kategorie zemědělská půda a travní porost se v databázi zaměňovaly navzájem, proto mají obě kategorie nižší přesnost. Je to zejména způsobeno tím, že ve vegetačním období, kdy byly databáze primárně tvořeny, má pole velmi podobné spektrální vlastnosti jako travní porost.

Přesnost databáze ESA WorldCover 2020 je 67,11 %. Od udávaných 74,70 % ESA (De Kerchove Ruben, 2020) se už výsledek celkem výrazně liší. Oproti databázi z roku 2021 je zde zhoršení o 8,14 %. Z konkrétních kategorií krajinného pokryvu je jako u novější databáze nejpřesnější sníh, ale opět se nachází pouze na dvou zájmových územích. Z kategorií, které se nachází na všech zájmových územích je nejpřesnější stromový porost s 77,67 % a voda s 76,66 %. Nejméně přesná kategorie je travní porost s 36,17 %. Oproti databázi z roku 2021, všechny kategorie zaznamenaly menší přesnost. Všechny kategorie jsou pod 80 %. Největší rozdíl mezi oběma databázemi a kategoriemi, které jsou zastoupeny na všech územích byl zaznamenán u travního porostu, kde se přesnost zhoršila o 28,38 %. Kde se obě databáze nejvíce shodují je kategorie voda, kde je rozdíl pouze 3,55 %. Rozdílná přesnost těchto dvou databází je zejména způsobena vylepšením algoritmu pro tvorbu novější databáze z roku 2021. Tento fakt jednoznačně dokládá v bakalářské práci vypočtená celková přesnost i přesnost všech jednotlivých kategorií krajinného pokryvu, které jsou u databáze z roku 2021 prokazatelně vyšší.

Obě databáze ESRI LandCover mají oproti těm od ESA pouze 9 kategorií krajinného pokryvu. Znamená to, že databáze je méně tematicky podrobná než ta od ESA a slučuje tak několik kategorií databáze ESA WorldCover dohromady. Díky tomu by se dalo teoreticky předpokládat, že vlivem menší podrobnosti by mohla dosahovat větší přesnosti jednotlivých kategorií. Nicméně v praxi tomu tak nebylo. Databáze od ESRI z roku 2021 má celkovou přesnost 66,52 %. Oproti databázi ESA ze stejného roku je to tedy horší výsledek o 8,63 %. Výslednou přesnost může

ovlivňovat odlišný výpočetní algoritmus či méně kvalitně trénovací data. Na druhou stranu o tom, jak přesně funguje ESRI klasifikační přístup se můžeme jen domnívat, protože je obchodním tajemstvím společnosti ESRI. Z výsledků mé bakalářské práce je zřejmé, že i přes menší tematickou podrobnost je celková přesnost databází ESRI LandCover 2021 nižší než případě ESA. Nejméně přesná kategorie v této databázi je holá půda s 15,91 %. Naopak nejvíce přesnou kategorií jsou zastavěné oblasti s 93,02 %, u kterých dosáhla ESRI větší přesnosti, než databáze od ESA ze stejného roku.

ESRI LandCover z roku 2020 má celkovou přesnost 65,71 %. Zde je oproti novější databázi z roku 2021 horší pouze o 0,81 %. Dá se tedy říci, že obě databáze jsou na rozdíl od ESA WorldCover víceméně stejně přesné. V případě ESA WorldCover byl mezi lety použit jiný, upravený a vylepšený algoritmus s více trénovacími daty, u ESRI Land Cover byl naopak v obou případech použit zcela stejný algoritmus. Tuto metodickou odlišenost obou databází tak velmi věrohodně dokreslují výsledky bakalářské práce. Nejpřesnější kategorie v databázi ESRI LandCover 2020 byla stejně jako u aktuálnější verze kategorie zastavěných oblastí s 91,17 %. Rozdíl v přesnosti zastavěných oblastí mezi ESRI databázemi je 1,85 %. Oproti databázím od ESA, kde byla novější databáze ve všech kategoriích krajinného pokryvu přesnější, v případě databází ESRI jsou kategorie zemědělská půda, sníh a rangeland přesnější ve starší verzi databáze, nicméně rozdíly se mezi lety pohybují v zanedbatelných hodnotách.

ESA databáze má 11 tříd krajinného pokryvu což znamená, že je velmi podrobná. I přes její podrobnost, a tudíž větší prostor pro chyby, je přesnější než databáze od ESRI. Obě databáze disponují velmi dobrým prostorovým rozlišením 10 metrů na pixel. V tomto ohledu mají oproti konkurenci velkou výhodu. Další databáze krajinného pokryvu s prostorovým rozlišením 10 metrů je Dynamic World od společností Google a World Resources Institute. Dynamic World je také produkován pomocí AI prostřednictvím Google Earth Engine ze snímků satelitu Sentinel-2. Dynamic World má stejně jako databáze od ESRI 9 kategorií krajinného pokryvu (*Dynamic World*, 2024). U dalších obdobných globálních databází krajinného pokryvu je nejlepší rozlišení 30 metrů u čínské databáze GlobeLand30 (Brovelli et al., 2015). S takto jemným prostorovým rozlišením se databáze dají potencionálně využít pro tvorbu lokálních či státních map krajinného pokryvu. Díky globálnímu pokrytí se tato možnost využití nabízí zejména v rozvojových zemích, kde takové informace o krajinném pokryvu zatím zcela chybí, anebo jsou svou povahou nedostatečné. Navíc protože jsou tyto databáze pravidelně aktualizovány, je na nich možné sledovat změny v krajinném pokryvu na celém světě i v oblastech obtížně dostupných pro člověka (Phiri et al., 2020).

Pouze jediné zájmové území bakalářské práce se dostalo přes 80% celkovou přesnost. Jedná se o území v Jižní Americe v databázi ESA WorldCover 2021, jehož přesnost dosahuje 81,30 %. U ESA WorldCover pro rok 2020 je rovněž nejpřesnější zájmové území ležící v Jižní Americe s přesností 71,94 %. V případě databáze ESRI LandCover 2021 je nejpřesnější zájmové území Austrálie s přesností 69,44 %. U databáze ESRI LandCover 2020 to je území v Evropě, konkrétně Alpská oblast s přesností 70,32 %. Jedná se o jediné území u ESRI databází, které přesáhlo 70% přesnost. Navíc je zajímavé, že toto nejpřesnější území, narozdíl od ESA databází, je určeno prostřednictvím starší verze databáze.

Ve studii od Osgouei et al. (2023), kde vyhodnocovali přesnost databáze ESA WorldCover 2021 pro regionální použití pro vybrané zájmové území v Turecku

autorům vyšla celková přesnost databáze 70,2 %. Při přidání volně dostupné vrstvy silnic a dálnic z Open Street map se zvýšila celková přesnost až na 86 % (Osgouei et al., 2023). V této bakalářské práci byla celková přesnost databáze přes všechny zájmové území 75,25 %. Rozdíl mezi výsledky bakalářské práce a studií Osgouei et al. (2023) si lze vysvětlit zejména rozdílností zájmových území obou výzkumů. Navíc Osgouei et al. (2023) hodnotili přesnost databáze na velmi malém zájmovém území oproti mé bakalářské práci, kde jsem přesnost této globální databáze hodnotil na více zájmových územích napříč jednotlivými kontinenty. S tímto tvrzením souvisí i hlavní přínos mé bakalářské práce, který je právě spojen s hodnocením regionální přesnosti globálních databází a jejich možné aplikace. Dalším výzkumem zabývajícím se přesností databáze ESA WorldCover je studie od Wang et al. (2022), která se zabývá územím kamenné pouště na jihozápadě Číny. Přesnost databáze ESA WorldCover v této studii se pohybovala od 45,13 % do 64,50 % (Wang et al., 2022). V této bakalářské práci vyšla celková přesnost 75,25 %. Nižší přesnost studie Wang et al. (2022) je způsobena hlavně tím, že v zájmovém území studie je krajinný pokryv tvořen převážně kategorií holá půda, která dle výsledků bakalářské práce dosahovala jedné z nejnižších přesností.

Obě hodnocené databáze jsou aktualizované na roční bázi, což opět znamená oproti konkurenčním globálním databázím krajinného pokryvu značnou výhodu a vlastně i potřebnou inovaci. ESA databáze byla vydána v roce 2020 a 2021. V případě databáze od ESRI je produkt dostupný od roku 2017 až do roku 2022. U obou databází lze na základě výsledků bakalářské práce konstatovat, že jsou z pohledu globálních databází krajinného pokryvu velmi přesné a dají se tak využít v mnoha různých analýzách souvisejících se studiem krajinného pokryvu.

7. Závěr a přínos práce

Bakalářská práce zhodnotila celkovou a dílčí přesnost jednotlivých kategorií globálních databází krajinného pokryvu ESA WorldCover a ESRI LandCover pro roky 2020 a 2021, a to na příkladu sedmi vhodně vybraných zájmových územích. Hodnocení obou databází probíhalo pomocí vlastních referenčních bodů, u kterých byl určen reálný krajinný pokryv pomocí ortofoto mapy. Z výsledků bakalářské práce pro databázi ESA WorldCover 2021 vyplývá velmi dobrá shoda s přesností udávanou přímo ESA. U ESRI databází je toto hodnocení poněkud složitější, protože žádná deklarovaná přesnost neexistuje. Výsledky pro obě databáze nicméně dosáhly na poměry globálních databází krajinného pokryvu velice slibné celkové přesnosti. Jejich samotná praktická využitelnost však nezáleží pouze na celkové přesnosti ale i na konkrétních potřebách daného uživatele. Pokud uživatel bude potřebovat co nejpřesnější kategorii lesů a zastavěné oblasti bude lepší zvolit databázi od ESRI. Pokud bude potřebovat kategorii voda, holá půda a další bude lepší volbou databáze od ESA.

ESA WorldCover 2021 dosáhla celkové přesnosti 75,25 %, což se velmi blíží deklarovaným 76,80 %. Databáze ESA WorldCover 2020 dosáhla celkové přesnosti 67,11 %, což se naopak liší od deklarovaných 74,70 %. Obě ESA databáze se tak od sebe liší o 8,14 %. Z dosažených výsledků je proto patrné zvýšení přesnosti způsobené využitím vylepšeného algoritmu u databáze z roku 2021. U databází od ESRI takový rozdíl mezi lety 2020 a 2021 není. ESRI LandCover z roku 2021 má celkovou přesnost 66,52 % a ESRI LandCover 2020 má celkovou přesnost 65,71 %. Jejich rozdíl činí pouze 0,81 %. Je tak zřejmé, že použitý výpočetní algoritmus, který byl pro obě databáze stejný, je velmi robustní a pro různá vstupní data generuje krajinný pokryv s velmi podobnou přesností.

V bakalářské práci bylo zjištěno, že nejpřesnější databází je ESA WorldCover 2021. Nejméně přesná databáze je ESRI LandCover 2020. Nejpřesnější kategorie krajinného pokryvu se liší podle databáze a roku vytvoření. Nejpřesnější kategorie u databáze ESA WorldCover 2021 je sníh s celkovou přesností 100 %. Tato kategorie byla zastoupena pouze na dvou zájmových územích a měla tak s ohledem na ostatní kategorie malý počet validačních bodů. Nejpřesnější kategorií v databázi ESA WorldCover 2021, která byla zastoupena na všech územích jsou zastavěné oblasti s 87,28 %. Nejpřesnější kategorie v ESA WorldCover 2020 byl, kromě sněhu, stromový porost s 77,67% přesností. U databáze ESRI LandCover 2021 byla nejpřesnější kategorie zastavěné oblasti s 93,02 %. V případě ESRI LandCover 2020 byla opět nejpřesnější kategorie zastavěné oblasti s 91,17% přesností. Nejpřesněji klasifikované zájmové území se nacházelo v databázi ESA WorldCover 2021 a bylo v Jižní Americe (Argentině) a jako jediné přesáhlo hranici 80 % celkové přesnosti (81,30 %). Naopak nejméně přesné území se nacházelo v databázi ESRI LandCover 2020 a jednalo se o území v Jižní Asii (Vietnam) a jako jediné nepřesáhlo svojí přesností hranici 60 % (58,11 %). Z dosažených výsledků práce je zřejmé, že kvůli jiným přesnostem jednotlivým kategoriím se každá databáze hodí po jiné analýzy krajinného pokryvu. Volba vhodné databáze krajinného pokryvu tak záleží zejména na požadavcích koncového uživatele.

Přesné a aktuální globální databáze krajinného pokryvu jsou velice důležitým zdrojem informací pro sledování změn v krajině, klimatické změny, krajinného rozvoje a dalších souvisejících proměnných. Přesné, aktuální databáze jsou proto nezbytným požadavkem pro sledování změny krajiny v téměř reálném čase. Důležitou a často opomíjenou součástí každé databáze krajinného pokryvu by měla být informace o její

celkové přesnosti a dílčí přesnosti jednotlivých kategorií napříč různými zájmovými územími. Bakalářská práce splňuje v zadání stanovené cíle a její výsledky odpovídají na stanovené výzkumné otázky, tedy že nejpřesnější databáze je ESA WorldCover 2021 s celkovou přesností (75,25 %). Nejpřesnějším zájmovým územím je Jižní Amerika (Argentina) v databázi ESA WorldCover 2021 (81,30 %). Nejpřesnější kategorií jsou zastavěné oblasti v databázi ESRI LandCover 2021 (93,02 %).

8. Použitá literatura a zdroje

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., Arino, O., 2021. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. doi:10.5281/zenodo.5571936.

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.E., Xu, P., Ramoino, F., Arino, O., 2022. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. doi:10.5281/zenodo.7254221.

Arino, O., Bicheron, P., Achard, F., Latham, J., Witt, R., Weber, J.L. (2008). GlobCover the most detailed portrait of Earth. *ESA Bulletin*, 136, 25-31.

Fahrland, E., Jacob, P., Schrader, H., Kahabka, H. (2019). Copernicus DEM Product Handbook. AIRBUS Defence and Space, Campaign ID: GEO.2018-1988-2, Version 1.0, pp. 27 <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>

S. Li and X. Li, "Global understanding of farmland abandonment: A review and prospects," *Journal of Geographical Sciences*, vol. 27, pp. 1123–1150, 2017

Malenovský, Z.; Rott, H.; Cihlar, J.; Schaepman, M.E.; García-Santos, G.; Fernandes, R.; Berger, M. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sens. Environ.* 2012, 120, 91–101

ESA. Land Cover CCI Product User Guide Version 2. Tech. Rep. (2017). Available at: maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf.

Brovelli, M. A., Molinari, M. E., Hussein, E., Chen, J., & Li, R. (2015). The first comprehensive accuracy assessment of global and 30 at a national level: Methodology and results. *Remote Sensing*, 7(4), 4191–4212. <https://doi.org/10.3390/rs70404191>

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>

Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus global land cover layers-collection 2. *Remote Sensing*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/rs12061044>

Červená, L. (2018). *pvzp-prostorove-vedy-v-zivotnim-prostredi*.

Coffey, R. (2013). *The difference between land use and land cover*. https://www.canr.msu.edu/news/the_difference_between_land_use_and_land_cover

- Comunity-planinig zoning. (2019, July 25). *What is the difference between land use and land cover?*
- De Kerchove Ruben, V. (2020). *Product User Manual Document Ref: WorldCover_PUM_v2.0.*
- Dynamic World*. (2024). <https://dynamicworld.app/>
- ESA. (2023, September 2). *Sentinel-4 set to join next weather satellite.*
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-4_set_to_join_next_weather_satellite
- ESA. (2024). *Sentinel-6.*
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6
- ESRI Land COVer*. (2024). <https://Livingatlas.Arcgis.Com/Landcover/>.
<https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
- Fisher, P., & Unwin, D. (2005). *Re-Presenting GIS* (P. Fisher, Ed.).
- Giri, C. (2012). *Remote Sensing of Land Use and Land Cover*. CRC Press.
- Gomarasca, M. A., Bresciani, M., De Carolis, G., Antonella, T., Gomarasca, M. A., Giardino, C., Bresciani, M., De Carolis, G., Milan, C.-I., Sandu, I. C., Torino, I., Tornato, I. A., Spizzichino, D., Valentini, E., Taramelli, A., Rome, I., & Giulio Tonolo, I. F. (2019). *Copernicus Sentinel missions for Water Resources.*
www.copernicus.eu
- Hais, M., & Brom, J. (2006). *Hodnocení změn v krajině s využitím dálkového průzkumu Země.* <https://www.researchgate.net/publication/258506960>
- Jeden satelit Copernicus se odmlčel. ,Problém souvisí s napájecí jednotkou,‘ uvedl šéf kosmické agentury.* (2022, January 15). https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/vesmir/vesmir-obezna-draha-satelit-copernicus-evropska-kosmicka-agentura_2201151347_aur
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021). GLOBAL LAND USE/LAND COVER WITH SENTINEL 2 AND DEEP LEARNING. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2021-July*, 4704–4707.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (n.d.). *I REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION Seventh Edition.*
- Maťašovská, V., Kothan, F., Ledvinka, O., Pumpann, P., Fojtík, T., Makovcová, M., & Bendakovská, L. (n.d.). *Využití metod dálkového průzkumu Země pro monitoring stavu koupacích míst.*
- Milagro-Perez, M. P. (2020). *ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN v.*
<https://doi.org/10.4995/raet.2020.14346>
- Osgouei, P. E., Sertel, E., & Kabadayi, M. E. (2023). Assessing the Accuracy of the Esa Worldcover 2021 for the Local Region of Lalapasa/Edirne, Turkey and Recommending Possible Accuracy Improvement Strategies. *2023 11th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2023.*
<https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics59224.2023.10233678>

- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 14). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2017). *CatBoost: unbiased boosting with categorical features*. <http://arxiv.org/abs/1706.09516>
- Roy, P. S., Dwivedi, R. S., & Vijayan, D. (2012). *Remote Sensing Applications*.
- Sivakumar, M. V. K., Roy, P. S., Harmsen, K., & Saha, S. K. (2003). *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology World Meteorological Organization (WMO) India Meteorological Department (IMD) Centre for Space Science and Technology Education in Asia and the Pacific (CSSTEAP) Indian Institute of Remote Sensing (IIRS) National Remote Sensing Agency (NRSA) and Space Application Centre (SAC)*. <http://www.bishensinghbooks.com>
- Venter, Z. S., Barton, D. N., Chakraborty, T., Simensen, T., & Singh, G. (2022). Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. *Remote Sensing*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/rs14164101>
- Wang, J., Yang, X., Wang, Z., Cheng, H., Kang, J., Tang, H., Li, Y., Bian, Z., & Bai, Z. (2022). Consistency Analysis and Accuracy Assessment of Three Global Ten-Meter Land Cover Products in Rocky Desertification Region—A Case Study of Southwest China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/ijgi11030202>