

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra prostorových věd



**Využitelnost dat a služeb programu Copernicus
pro hodnocení klimatické změny**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jan Komárek, Ph.D.

Bakalant: Jana Kudláčková

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jana Kudláčková

Aplikovaná ekologie

Název práce

Využitelnost dat a služeb programu Copernicus pro hodnocení klimatické změny

Název anglicky

Usability of Copernicus data and services for climate change assessment

Cíle práce

Cílem práce je vyhodnocení možností využití dat a služeb programu Copernicus pro analýzy dopadů klimatické změny. Cílem je též uživatelské zhodnocení vybrané služby a vytvoření vlastní analýzy pro ukázkou možného využití koncovým uživatelem.

Metodika

Autorka (a) udělá podrobnou rešerši programu Copernicus se zaměřením na data a služby využitelné pro monitorování klimatické změny; (b) zhodnotí a porovná dostupné služby z pohledu využitelnosti koncového uživatele; (c) využije vybranou službu pro ukázkou zvolené analýzy, tj. vytvoří skript analyzující vybraný klimatický parametr; (d) interpretuje výsledek analýzy, kriticky zhodnotí vybranou službu a diskutuje potenciační neurčitosti; (e) autorka obecně zhodnotí data a služby programu Copernicus vhodné pro analýzy klimatické změny z pohledu odlišných skupin cílových uživatelů.

Doporučený rozsah práce

30-50 stran

Klíčová slova

Dálkový průzkum Země, Copernicus, Sentinel, Evropská vesmírná agentura (ESA), klimatická změna

Doporučené zdroje informací

- Apicella, L., Quarati, A., Gorni, S., Molina, R., & Martino, M. D. (2021, July). Copernicus Users Uptake: An Overview of Downstream Applications. In Italian Conference on Geomatics and Geospatial Technologies (pp. 3-14). Springer, Cham.
- Bell, B., Hersbach, H., Berrisford, P., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., ... & Soci, C. (2020, September). Satellite observations in support of the Copernicus Climate Change Service. In Space, Satellites, and Sustainability (Vol. 11527, pp. 23-32). SPIE.
- Buontempo, C., Hutjes, R., Beavis, P., Berckmans, J., Cagnazzo, C., Vamborg, F., ... & Dee, D. (2020). Fostering the development of climate services through Copernicus Climate Change Service (C3S) for agriculture applications. *Weather and Climate Extremes*, 27, 100226.
- Guo, H., Goodchild, M. F., & Annoni, A. (2020). *Manual of digital Earth* (p. 852). Springer Nature.
- Thépaut, J. N., Dee, D., Engelen, R., & Pinty, B. (2018, July). The Copernicus programme and its climate change service. In IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 1591-1593). IEEE.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2023

doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 19. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Využitelnost dat a služeb programu Copernicus pro hodnocení klimatické změny vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, 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 vědoma, 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 30.03.2023

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Jan Komárkovi, Ph.D. za odborné vedení, věnovaný čas a cenné rady poskytnuté při vytváření práce. Poděkování patří také celé mojí rodině, která mi byla velkou oporou v průběhu celého mého studia a psaní bakalářské práce.

Abstrakt: Předmětem bakalářské práce je zdokumentovat možnosti využití služeb programu Copernicus v rámci hodnocení klimatických změn. Součástí práce je představení samotného programu. Jsou zde popsány principy sběru dat a jejich uložení. Hlavní část se práce věnuje jednotlivým službám a informacím, které program Copernicus nabízí a přístupu k nim. V druhé části práce se zabývá využitím programu v praxi nejen pro akademickou sféru, ale i pro běžné uživatele. Jako příklady jsou uvedeny studie a práce s daty programu Copernicus na různých platformách služeb či webových rozhraních. Následuje vyhodnocení zkoumané oblasti využití a diskuze v zamýšlení nad programem s možnostmi jeho využití. V závěru je shrnut vztah programu Copernicus na zmírnění klimatických změn.

Klíčová slova: Dálkový průzkum Země, Copernicus, Sentinel, Evropská vesmírná agentura (ESA), klimatická změna

Abstract: The subject of the bachelor thesis is to document the possibilities of using Copernicus services to tackle the issues related to climate change. Part of the work is the introduction of the programme itself. The principles of data collection and storage are described. The main part of the thesis focuses on individual services and information offered by Copernicus and access to them. The second part of the thesis analyzes the use of the programme in practice not only for the academic sphere, but also for ordinary users. Examples include studies and work with Copernicus data on different service platforms or web interfaces. This is followed by an evaluation of the examined area of use and discussion in reflection on the programme with the possibilities of its use. Finally, I summarise the relationship between Copernicus and tackling climate change.

Keywords: remote sensign, Copernicus, Sentinel, ESA, climate change

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Cíle	2
3.	Metodika	2
4.	Program Copernicus	3
4.1	Sběr dat	4
4.2	Přístup k datům.....	6
4.3	Uživatelé programu.....	8
4.4	Služby programu	10
4.4.1	Území	10
4.4.2	Atmosféra	12
4.4.3	Klimatické změny.....	14
4.4.4	Mořské prostředí.....	16
4.4.5	Bezpečnost.....	18
4.4.6	Krizové řízení	20
4.5	Oblasti využití.....	21
5.	Výsledky	38
6.	Diskuze.....	39
7.	Závěr.....	41
8.	Seznam literatury	42
8.1	Odborné zdroje	42
8.2	Legislativní zdroje.....	44
8.3	Ostatní zdroje.....	45

1. Úvod

Naše planeta je domovem mnoha živých organismů a jejich přežití je na stavu Země závislé. Vliv přírodních jevů a procesů však v průběhu času mění její tvář. Přírodní katastrofy, jako tornáda, povodně, zemětřesení či v opačném případě extrémní sucha a požáry, jsou těmi faktory, se kterými se planeta potýká každý den. Dopad na vzhled Země má nejen samotná příroda, ale i lidstvo, které se svými zásahy, ať už se jedná o přelidnění, válečné konflikty, čerpání přírodních zdrojů a jejich znehodnocení, na stavu planety negativně podepisuje. Vliv člověka způsobuje změny, které jsou mnohdy nevratné.

Znalost dat získaných z pozorování celé naší planety může pomoci reagovat na změny, přispívat k vyhodnocování rizik v aktuálním i dlouhodobém časovém úseku a být podporou při koordinaci opatření na zmírňování výše uvedeného dopadu (Earth Observations, ©2022). Program Copernicus je koordinován a spravován Evropskou komisí (EK) a jeho primárním účelem je monitoring životního prostředí. Program využívá moderní metody dálkového průzkumu země (DPZ) a shromážděná data slouží k možným predikcím, prevenci škod i následným analýzám. Služby programu jsou poskytovány pro akademickou půdu a výzkumnou činnost, pro soukromý i veřejný sektor, ale také pro širokou veřejnost (CENIA.cz, ©2022).

Program Copernicus je reakcí na otázky týkající se budoucnosti lidstva. Jak zabezpečíme kvalitu současného života, případně ji zlepšíme? Jak ochráníme planetu a její zdroje pro budoucí generace? Je možné lépe pochopit příčiny a důsledky změny klimatu? Program byl vybudován na základě vědeckých studií, technologického pokroku a z dlouhodobých investic ze strany Evropské unie (EU). Ruku v ruce zde vidíme spolupráci mezi průmyslem a vesmírným výzkumem. Jeho základní část je otevřena bezplatně všem (Copernicus.eu, 2015). Program Copernicus si klade za cíl nadále rozvíjet služby programem poskytované a podporovat inovace jejich systémů, nejen ve sféře životního prostředí a klimatu, ale i v oblasti bezpečnosti (EUR-Lex - 32014R0377, 2014). Směřování programu bude dále stát také na mezinárodní spolupráci s různými světovými organizacemi, například OSN (Organizace spojených národů), a třetími zeměmi a mělo by podpořit výše uvedené záměry (EUR-Lex - 32021R0696, 2021).

2. Cíle

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení programu Copernicus s orientací na přehled nabízených služeb a přístupu k údajům programu Copernicus. Úkolem je zjistit, jak a zda uživatelé programu a systém fungování programu samotného mohou přispět při sledování změn klimatu.

První část je zaměřena na průzkum možností využití programu z pohledu ochrany klimatu. Je zde zkoumáno všech šest portfolií, která jsou pro ni nabízeny. Jde o monitoring klimatických změn, změn atmosféry, území, mořského prostředí, bezpečnosti a krizového řízení.

Druhá část práce je zacílena na analýzu dostupnosti servisu z hlediska koncového uživatele. Její součástí je reálný průzkum a zpracování dat služby Klimatické změny programu Copernicus.

Třetí část je orientována na zhodnocení dat a služeb programu Copernicus, na jejich vhodnost pro analýzy klimatických změn na úrovni jednotlivých koncových uživatelů. Též je provedeno reálné vypracování skriptu reanalýzy teplot na stránkách Změna klimatu.

3. Metodika

Teoretická část bakalářské práce vychází ze zdrojů dohledatelných na internetu za pomoci webové platformy Google scholar a ScienceDirect či v platformě Degreed pro zvyšování kvalifikace, případně ze zdrojů veřejnoprávních medií dostupných v rámci internetových vyhledávačů.

V první části práce je stručně popsána historie programu Copernicus a je rozebrán princip DPZ zároveň s druhy sběru dat a přístupu k nim. Část se také věnuje identifikaci uživatelů programu a pokračuje v analýze jednotlivých portfolií programu Copernicus. V metodice jsou použity přímo webové stránky programu Copernicus, podpůrné stránky patřící k programu, webové stránky České informační agentury životního prostředí (CENIA) a Úřední věstník Evropské unie (EUR-Lex).

V následné analýze jsou využita data z elektronicky dostupných studií, převážně z webových stránek společnosti VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek). Uvedeny jsou také reálné příklady využití programu. Například portál

SDG6 Hydrology TEP organizace UNESCO, monitoring jezer v Irsku, využití dronů pro zpřesnění dat DPZ, uplatnění platformy Terrascope v Natura 2000, mapování biotopů, projekt zavlažování, zjišťování změn krajinného rázu nebo studie městských tepelných ostrovů.

Dále je otestováno i praktické využití služby Klimatické změny v editovací části za využití přednastavených aplikací. Po registraci v systému jsou prostudovány služby, které se vztahují ke zpracování dat. Následně je zpracována na základě dostupných dat reanalýza teplot. Závěr práce interpretuje výsledky využitelnosti programu a služeb programu Copernicus.

4. Program Copernicus

Program Copernicus je jedním z nejmambicióznějších projektů v rámci pozorování planety Země. Za jeho vznikem stojí rozhodnutí Evropské unie (EU). Původní impuls byl dán v roce 1998 institucemi zapojenými do rozvoje vesmírných aktivit v Evropě, kdy pod názvem Global Monitoring for Environment and Security (GMES) vznikl program, který zajišťoval globální a kontinuální systém pozorování Země (Copernicus.eu, ©2022). Podnětem iniciace programu bylo setkání agentur, které se shodly, že by se Evropa měla významně podílet při řešení environmentálních otázek (Jutz & Milagro-Pérez, 2020).

O tři roky později v roce 2001 bylo na summitu EU v Göteborgu rozhodnuto, že EU vstoupí napřímo do financování programu GMES. V následujícím roce byla definována povaha a rozsah bezpečnostní části programu GMES a o další dva roky později byl zaveden akční plán do roku 2008, který měl zajistit dostatečnou kapacitu programu. V tomto roce byla také podepsána rámcová dohoda mezi Evropskou komisí (EK) a Evropskou vesmírnou agenturou (ESA). Tato dohoda vytvořila základ vesmírné složky programu. V roce 2008 byly zprovozněny tři předoperační služby programu Fast Track Services (FTS) a dvě služby programu Pilot Services (Copernicus.eu, ©2022). V listopadu roku 2010 vstoupilo v platnost nařízení o „*Evropském programu pozorování země (GMES) a jeho počátečních operacích (2011-2013)*“ (Copernicus.eu, ©2022). Během roku 2011 byl předložen EK rozpočet pro období 2014–2020, kde bylo navrženo podporovat program GMES nejen do roku 2013, ale i po něm. Evropská komise mj. také navrhla vytvoření konkrétního fondu GMES, do kterého by přispívaly všechny členské státy EU. Fond měl mít podobný

model jako Evropský rozvojový fond, tudíž příspěvky by byly počítány na základě hrubého národního důchodu jednotlivých zemí (EUR-Lex, 2017).

Rok 2012 byl pro program stěžejní. Služba Emergency Management Services – Mapping byla vyhlášena první plně funkční službou v rámci počátečních operací GMES. Evropská komise také v tomto roce oznámila změnu názvu programu. Název programu Copernicus odkazuje na práci astronoma a vědce Mikuláše Koperníka, který se zasloužil o teorii heliocentrického vesmíru (Copernicus.eu, ©2022). Dva roky na to, v říjnu 2014, EK a ESA sepsaly dohodu o správě „vesmírné složky“ programu Copernicus pro období od roku 2014 do roku 2021. ESA na pokrytí operací satelitní sítě do roku 2021 a stavbu chybějících satelitů do roku 2028-30 obdržela rozpočet v hodnotě 3,15 miliardy EUR. Částka byla zahrnuta v sedmiletém finančním rámci rozpočtu EU pro program Copernicus pro období 2014 až 2020, jehož hodnota činila 4,3 miliardy EUR. Podpisem smlouvy zároveň došlo k převodu vlastnictví radarové družice Sentinel-1A na EU (ESA - Copernicus 2021, 2014). Družice byla vypuštěna na oběžnou dráhu v dubnu 2014 a nahradila satelit Envisat, který ukončil své vysílání v roce 2012 (ESA - Envisat, 2012).

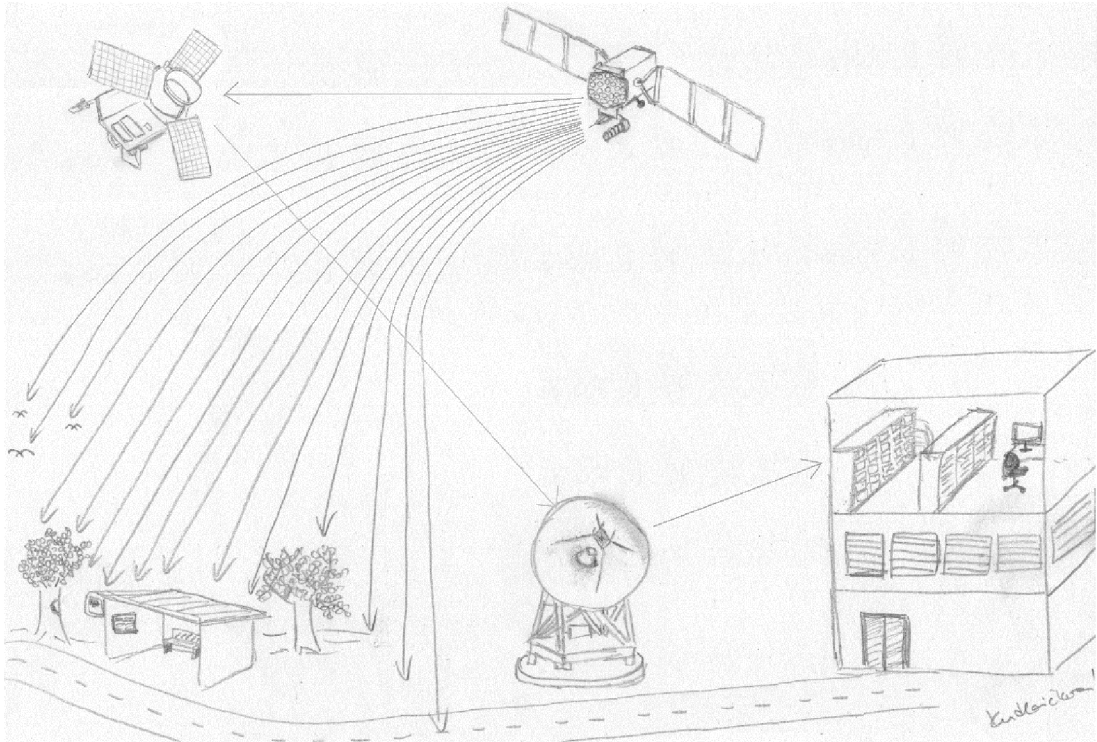
4.1 Sběr dat

Program Copernicus získává data za pomoci dvou cest. Jednou z nich je princip DZP (obr. 1), kdy program využívá data za pomoci družic. K tomuto účelu ESA vyvíjí v rámci programu sedm vesmírných misí satelitů Sentinel (Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-4, Sentinel-5P, Sentinel-5, Sentinel-6). V nich jsou obsaženy superspektrální data obsahující řádově pár desítek spektrálních pásem, pomocí stupnice odstínů šedi, a radarová zobrazení, která monitorují zemský povrch, oceán a atmosféru. Vše je založeno na vzájemné konstelaci dvou satelitů, které splňují a revidují požadavky na pokrytí každé mise Sentinel a tím poskytují spolehlivé datové soubory pro všechny služby programu Copernicus. Do budoucna plánuje ESA dalších šest misí, které pomohou v pokrytí mezer a potřeb programu (ESA - Sentinels, ©2022). Jedna z prvních družic Sentinel-6 byla vypuštěna v roce 2020 a druhá by měla následovat v roce 2025 (Jutz & Milagro-Pérez, 2020). Mimo družice Sentinel se ve vesmíru pohybují i další družice. Integrovaní všech dostupných dat nabízí širší možnosti pro podrobnější analýzy. Například pro získání údajů ze stejného dne ze satelitu Sentinel-2 a Landsat-8 je potřeba zpracovat data ručně. Pomoci

k automatizaci by mohl programovací model RemoteSensingOntology (Aldana-Martín et al., 2022).

Program Copernicus využívá také další výzkumné mise, které označuje jako GMES přispívající mise (GCMs). Ty poskytují další užitečné údaje pro poskytování služeb (Missions - Earth Online, ©2022). Patří sem menší mise průzkumu Země - SMOS (Soil Moisture and Ocean salinity), která na základě mikrovlnných měření pozoruje vlhkost půdy a salinitu mořského povrchu (SMOS - Earth Online, ©2022) či mise CryoSat-2, která měří tloušťku ledu (CryoSat - Earth Online, ©2022). Dále sem řadíme mise Pléjades (Pleiades – Earth Online, ©2022) a SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre), které poskytují snímky Země ve vysokém rozlišení (SPOT - Earth Online, ©2022). Mise TerraSAR-X zase přináší vysoce kvalitní topografické informace (TerraSAR-X and TanDEM-X - Earth Online, ©2022). Mise COSMO-SkyMed se skládá ze čtyř satelitů, které jsou vybaveny seizmickými senzory (COSMO-SkyMed - Earth Online, ©2022). Projekt Disaster Monitoring Constellation (DMC) pozoruje konstelaci satelitů, jejichž úkolem je pomoc při katastrofách (DMC First Generation - Earth Online, ©2022). Do programu GCMs jsou zahrnuty i satelity zaměřené na meteorologii, jako jsou Meteosat druhé generace - MSG (Meteosat Second Generation - Earth Online, ©2022) a tři polární družice MetOP (MetOp - Earth Online, ©2022). Další data, která program používá v rámci služeb, jsou generovaná satelity, které nespádají pod evropskou misi, například programy Landsat (Landsat Series - Earth Online, ©2022), GOSAT (GOSAT Series - Earth Online, ©2022) a satelit Radarsat-2 (RADARSAT - Earth Online, ©2022).

Druhá cesta pro získání dat je prostřednictvím monitorovací sítě in situ (měření v terénu), ve které síť GISC (GMES In Situ Coordination) převedla své iniciativy na jiné sítě: INSPIRE (Infrastruktura pro prostorové informace v Evropském společenství) a Sdílený informační systém o životním prostředí (SEIS). Koordinátorem GISC je Evropská agentura pro životní prostředí (EEA), jejíž hlavním cílem je efektivně a otevřeně poskytovat data (EEA - GISC, 2016). In situ data jsou složena například z dat pozemních meteorologických stanic či balónů, senzorů na palubách letadel, oceánských bójí, lodí, různých radarů, měřidel či senzorů kvality ovzduší atd. Zahrnuty jsou i topografické mapy (přirozený povrch i umělé tvary), dopravní infrastruktura, krajinný pokryv, letecké snímky aj. (Copernicus In Situ Component, ©2022). Data pořízená v rámci in situ doplňují mezery a přispívají k analýze dat pořízených z vesmíru (Jutz & Milagro-Pérez, 2020).



obr. 1 - diagram pořizování dat DZP (zdroj: vlastní)

4.2 Přístup k datům

Program Copernicus, který vyprodukuje v současné době 12 terabajtů dat denně, je sice primárně určen především pro orgány zodpovědné za životní prostředí či další subjekty státní správy, ale ve své podstatě není omezen jen na tyto uživatele. Data může využít jakákoliv soukromá či veřejná organizace, případně jednotlivec. Všeobecně shrnuto jsou data programu Copernicus přístupná všem, lze je využívat zdarma a v plném rozsahu. Je tu pouze jedna výjimka, která se týká specifické situace obecného ohrožení bezpečnosti. V tomto případě mohou být přístupy k datům omezeny (UN-SPIDER - OSN, 2018).

Naprostá většina dat je přístupná online. Informace a data lze procházet bez předchozí registrace, ale pro jejich stažení je již potřeba založení uživatelského profilu. Data jsou poskytována uživatelům prostřednictvím platform DIAS (Data and Information Access Services) nebo konvenčními datovými úložišti SCiHub (CENIA.cz, ©2022). Platformy DIAS (Sobloo, CREODIAS, Mundi, ONDA a WEkEO) jsou konkurenční cloudová úložiště, která pracují s daty, jak všech šesti služeb programu, tak i s daty sedmi misí Sentinel. Mají rovněž přístup ke komerčním datům z družic, jenž nesouvisí přímo s programem Copernicus. Jde o centralizovaný přístup

k údajům a informacím. Úložiště nabízejí také možnost pracovat s daty za pomoci sotsifikovaných nástrojů, které fungují buď s ověřeným zdrojovým kódem nebo za úhradu poplatku (UN-SPIDER - OSN, 2018). Volně přístupné a po registraci uživatele bezplatné portály spravuje ESA. Prvním z takových portálů je Sentinel Online. Zde jsou uvedeny informace o jednotlivých misích satelitů, o službách programu Copernicus a obsahem jsou i uživatelské a technické příručky. V záložce přístup k datům (obr. 2) nás následně portál odkáže na portál pod správou ESA: Copernicus open access HUB nebo na platformy DIAS (Sentinel Online - ESA, ©2022).

Home / Data Access

Access to Sentinel data via download



The free, full and open data policy adopted for the Copernicus programme foresees access available to all users for the Sentinel data products. News and further information about the service is available [here](#).

Access to Sentinel data via cloud

In addition to the download services, the Sentinel Data Products are available in the Copernicus Data and Information Access Service (DIAS) cloud environments. Each DIAS provides processing resources, tools and complimentary data sources at commercial conditions to further facilitate the access to Sentinel data.



obr. 2 - zobrazení přístupu k datům Sentinel SciHub (Sentinels.copernicus.eu)

SciHub (Copernicus Data hub, Collaborative Data Hub a international Access Hub) je základním nástrojem pro zpřístupnění satelitních dat a poskytuje jednoduché grafické zobrazení, kdy si uživatel vyplní do vyhledávače požadované informace a následně má možnost si je stáhnout (Bereta et al., 2019). Zatímco SciHub je tedy volně přístupný, další portály spadající pod tento HUB jsou s omezeným přístupem. Portál Copernicus Space Component Data Access system (CSCDA) má také omezený přístup k údajům, dostupný je pouze pro veřejnou správu, evropské projekty, výzkumy či nevládní případně mezinárodní organizace (CSCDA, ©2022). Dostupnost vysoké úrovně dat je závislá od geografické polohy a orientací zájmové

skupiny. Je potřeba uzpůsobit vhodnost dostupných zdrojů a vybrat správné nástroje k jejich interpretaci (Apicella et al., 2022).

Mezi další přístupy k datům se řadí EUMETSAT (European operational satellite agency for monitoring weather). Zde lze po registraci bezplatně využít „základní data“ v rámci vzdělávání či výzkumu. Služba je licencována a pro jiné účely je potřeba hradit členský poplatek. Pod portál patří i služby EUMETCast, kde je možné obdržet data téměř v reálném čase (EUMETCast, ©2022). Další službou EUMETSAT je Copernicus Online Data Access (CODA) s ročním archivem mise Sentinel-3. Služba má dvě rozhraní, webové CODA nebo API (Application Programming Interface) určené pro mobilní vývojáře (Copernicus-masters, ©2022). Mezi další možnosti přístupu k datům patří Research and User Support (RUS). Jde o službu financovanou EK, jež je pod křídly ESA. Služba je provozována soukromou společností CS group, která je hlavním dodavatelem a správcem systému. RUS je určen pouze pro občany a veřejný sektor, případně soukromé subjekty v EU (Research and User Support, ©2022). Tento cloud spravuje toolbox s daty satelitů Sentinel a je dobrým startem pro obeznámení se s programem Copernicus (Apicella et al., 2022).

4.3 Uživatelé programu

Stěžejním důvodem pro vytvoření programu Copernicus byla podpora evropských států ve strategii ochrany životního prostředí a bezpečnosti. Jeho kapacita z něj v současnosti činí ojedinělý a svrchovaný zdroj přesných a rychlých informací (MŽP, 2008).

Mezi významné uživatele se řadí do první linie státní správa. A to jak na úrovni celostátní, tak na úrovni územní. Cílem programu je, aby státní správa měla možnost efektivnějšího rozhodování ohledně ochrany životního prostředí, infrastruktury či územní správy, a to díky okamžité dostupnosti údajů v rámci pokrytí daného katastru. Možností, jak lze využít data ve veřejném sektoru je nepřeborné množství. Přínosem programu pak může být například zvýšení ochrany obyvatel i majetku při živelných nebo jiných pohromách (CENIA.cz, ©2022). Orgány veřejné správy mohou těžit z údajů vlastních geoportálů (např. INSPIRE), které lze s programem Copernicus integrovat (Apicella et al., 2022). Například z průzkumu odborných znalostí mezi uživateli Magistrátu hl. m. Brna vyplynulo, že základní dovednosti má většina dotazovaných, odborné znalosti má více jak třetina dotazovaných (Trojanová, 2019).

Dalším uživatelem programu Copernicus je vědecká, výzkumná a vývojově tvůrčí sféra. Za pomoci družicových snímků získávají výzkumné organizace a univerzity data pro experimenty či vědecké nebo absolventské práce (CENIA.cz, ©2022). Při využívání dat je potřeba určitá znalost geografických informačních systémů. V nabídce produktů je nezbytné umět rozeznat potřebnou sadu informací s ohledem na vyhledávaná data i s odkazem na jednotlivé satelitní zdroje (Apicella et al., 2022). Vzhledem k tomu, že mezi uživatele patří i soukromý sektor, který z volně dostupných dat může vytvářet GPS aplikace (Global Positioning System), programy pro kontrolu a monitoring daného území, aplikace pro meteorologické služby aj., vyhlašuje společnost AZO za podpory ESA a EK každoročně celosvětovou soutěž inovací s ohledem na využití dat DPZ, soutěž Copernicus Masters, která má přispět k osvojení aplikací programu konkrétnímu uživateli (Copernicus-masters, ©2022).

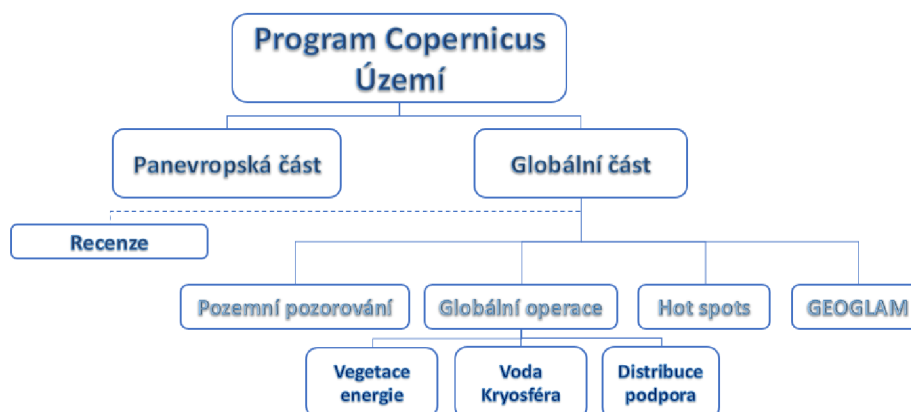
Technická zdatnost a počítačové dovednosti jsou základním aspektem pro uplatnění získávaných dat v praxi z pohledu široké veřejnosti. Z hlediska primární nabídky programu Copernicus je žádoucí ovládat základy geoprostorových dat (Apicella et al., 2022). Nejsnazším způsobem, jak může veřejnost data z programu využít, je možnost stažení údajů ve formě aplikace v „chytřím“ telefonu. Díky šesti službám, které program nabízí přímo na webu programu Copernicus se může veřejnost dozvědět jaké jsou aktuální podmínky kvality ovzduší, vodních nádrží, prognózy UV záření, případně v době přírodních katastrof může dohledat důležité informace pro své okolí, např. stav vodních toků při povodních nebo míru poškození při rozsáhlých požárech (CENIA.cz, ©2022). Důležitou oporou rozšíření programu Copernicus je také koncepce založená na uživatelské základně. V roce 2016 si EK nechala vypracovat slabé a silné stránky aktivit zaměřených na využití uživateli programu. Vyhodnocení průzkumu dala v roce 2017 podnět k založení dvou podpůrných programů. Copernicus Relays je řízený program s vybranými vyslanci, kteří rozšiřují povědomí o programu na lokální úrovni po celém světě. Copernicus Academy propojuje všechny možné uživatele s cílem podpořit užívání programu na celosvětové úrovni. Jeho účelem je výměna znalostí hlavně mezi výzkumnými a vzdělávacími institucemi, veřejným sektorem i průmyslem. Účelem je dostat do podvědomí možnost využití programu v rámci univerzit a škol, kdy případná znalost může směřovat studenty na výběr budoucího povolání (Riedler et al., 2020).

4.4 Služby programu

4.4.1 Území

Monitoring Země byl vyvíjen několik let. Na poradním výboru GMES v Itálii roku 2009 byly popsány klíčové priority pozemních služeb programu Copernicus, včetně otázek implementace a podmínek jejich udržitelnosti. Počáteční výzkum a vývoj nejdříve probíhal v letech 2011-2013 jako Globální monitoring životního prostředí a bezpečnosti, aby následně vstoupil do fáze prvotního provozu Copernicus Initial Operation (GIO). Jednalo se o monitoring, jenž probíhal za pomoci kombinace satelitních družic Sentinel a pozemních senzorů. Od roku 2014 plynule přešel do programu Copernicus, kde figuruje pod názvem Copernicus Global Land Service (CGLS). Jde o specifickou složku, která systematicky monitoruje zemský povrch v globálním měřítku (Land | Copernicus, ©2022). Pokrývat by měla oblasti zemědělství, biodiverzity, klimatických změn, lesní i vodní zdroje, degradaci půdy či desertifikaci a zahrnuje i oblast rozvoje venkova. Technická složka celosvětového pokrytí je řízena Generálním ředitelstvím Evropské komise pro Společné výzkumné středisko (JRC). Evropskou část spravuje Evropská agentura pro životní prostředí (Jutz & Milagro-Pérez, 2020).

Zpracovaná data se dělí do dvou částí (obr. 3). Panevropská část, která je spravována EEA, se zabývá mapováním a informováním o změnách krajinného pokryvu a využití daných území. Výsledným produktem jsou data Corine Land Cover a High Resolution Layer, jež zahrnují informace o zalesnění, trvalých vodních útvarech, mokřadech, nepropustném povrchu aj. (Copernicus Global Land Service, ©2022). Data jsou shromažďována na portále INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe). Ten je iniciativou EK a na základě „*Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/2/ES ze dne 14. března 2007 o zřízení Infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství (INSPIRE)*“ vytváří základní koordinační mechanismus pro funkční infrastrukturu. Služby geoportálu by měly umožnit uživatelům vyhledávat, prohlížet, stahovat a transformovat data. Ta mohou být v některých případech zpoplatněna (EUR-Lex - 32007L0002, 2007).



obr.3 - schéma služby území v programu Copernicus (zdroj: vlastní)

Druhá složka zpracování dat je část globální a má pod sebou několik podskupin. Jedna z nich se týká pozemního pozorování (GBOV). Zde jsou data dodávána v rámci in situ pozorování jednotlivými státy a následným spojením se satelitními daty vytvářejí celkový obraz území Evropy. Validní data jsou základem pro navazující produkty podporující aplikace a služby k nim vázané (Copernicus Global Land Service, ©2022).

Další podskupinou jsou tzv. hot spoty pro lokální oblasti, které jsou náchylné k různým konkrétním environmentálním problémům. Jsou použitelné ad hoc na vyžádání a jde většinou o podrobné informace o pozemcích v zájmové oblasti. Zaměřují se především na oblast udržitelného hospodaření s přírodními zdroji nebo na chráněná území. Mezi ně patří například pobřežní oblasti nebo Natura 2000. Činnost hot spotů by měla podporovat terénní projekty a politiky životního prostředí v rámci EU (Copernicus Global Land Service, ©2022). Další území, na které je kladen důraz, je africký kontinent. Toto je zajištěno systémem Land Cover Classification system (LCCS), který spadá pod Organizaci spojených národů a jeho úkolem je definovat osm typů krajinného pokryvu a nakombinovat je s klasifikací na úrovni sezónních změn, přirozeného typu prostředí či vegetace (LCCS, ©2022).

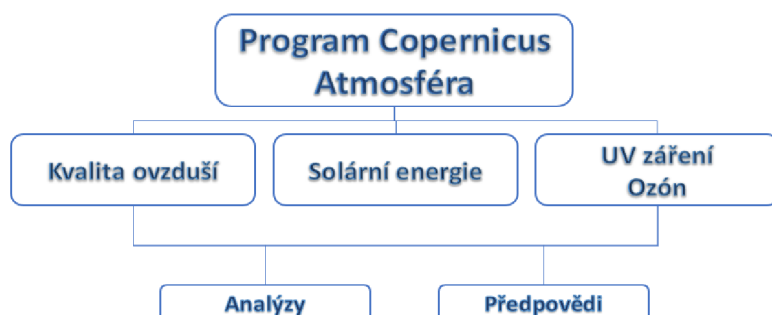
Global Agricultural Monitoring Initiative (GEOGLAM) je třetí podskupinou globální části. Tento monitoring zemědělské produkce byl původně iniciován ministry zemědělství G20 a hlavním cílem bylo vytvoření relevantních, včasných a přesných předpovědí v rámci potravinové bezpečnosti pro okamžitou reakci v oblastech s nedostatkem potravin. A to, jak v národním, regionálním, tak i v globální měřítku (Copernicus Global Land Service, ©2022). Důležitou se v tomto směru ukázala spolupráce ministerstev zemědělství s iniciativou GEOGLAM. Argentina se například

v roce 2018 obrátila na iniciativu s žádostí o vytvoření ukazatelů pro vyhlášení stavu nouze v období sucha, což vedlo k vývoji indexu, který čerpal data z přístroje MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a dokázal indikovat odpařovací stres prostředí (Becker-Reshef et al., 2019). Podstatnou roli v predikcích také hraje monitoring degradace půdy. Je potřeba tedy posilovat využití dat a propojovat je se stávajícími systémy (Giuliani et al., 2020).

Poslední podskupinou jsou globální operace. Ty poskytují informace o stavu zemského povrchu se středním a nízkým prostorovým rozlišením. Rozděleny jsou na další tři části, v nichž je zahrnuto více jak 20 institucí z celé Evropy. Patří sem sekce vegetace a energie, kde je cílem poskytnutí souboru biofyzikálních proměn vegetace či energetický rozpočet na kontinentálním povrchu. Sekce voda a kryosféra mají poskytovat informace o stavu vodního koloběhu a zmrzlého povrchu na celém světě. Poslední částí je distribuce dat a podpora uživatelů. Všechny tyto sekce musí plnit funkce jako je zpracování optických a radarových dat téměř v reálném čase, servis a kontrola kvality, archivace dat, technická podpora a možnost zobrazení a stažení dat přes internet prostřednictvím satelitů v Evropě, Africe i v Latinské Americe (Copernicus Global Land Service, ©2022).

4.4.2 Atmosféra

Služba Copernicus Atmosphere monitoring Service (CAMS) je plně funkční od roku 2015. Ovšem již od roku 2005 proběhlo několik projektů financovaných EU, které byly základem pro vznik současného portfolia. CAMS je založen, jak na zkušenostech a know-how evropských kapacit, tak i na mnohaletém evropském výzkumu a vývoji provozních produktů. Služba poskytuje kvalitní a konzistentní informace týkající se znečištění ovzduší, skleníkových plynů, solárních energií a kontrolu plynů a částic (obr. 4), které mají vliv na změny klimatu (Copernicus CR, © 2022).



obr.4 - schéma služby atmosféry v programu Copernicus (zdroj: vlastní)

CAMS zastřešuje European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) a to jménem Evropské komise. Tento výzkumný ústav je současně i nepřetržitou službou, která vytváří a zajišťuje numerické předpovědi počasí do členských států EU. Spolupracuje zároveň i s mnoha dalšími poskytovateli služeb, například ESA či EUMETSAT a spojuje odborné znalosti a získanou infrastrukturu. Proto může poskytovat řadu služeb jako žádná jiná celosvětová organizace (Atmosphere | Copernicus, ©2022). Všechny údaje jsou dostupné v souladu se zásadou programu Copernicus, tedy jsou bezplatné, snadno přístupné a otevřené všem (Peuch et al., 2022).

CAMS může poskytnout vyhodnocení stavu atmosféry v reálném čase, analyzuje získané údaje zpětně a vytváří předpovědi. Data o kvalitě ovzduší na regionální úrovni poskytuje na 1-denní až 3-denní bázi. Data jsou získávána ze souboru sedmi chemicko-transportních modelů, které patří k nejspolehlivějším v Evropě. Reálná data jsou tak srovnávána zpětně s předpoklady a následná diagnostika je verifikována každé tři měsíce. Analýzy a prognózy vyhodnocuje CAMS pro regionální i globální sféru každé tři měsíce, a to na základě nezávislých souborů pozorovaných dat. Doplnkové služby týkající se slunečního záření (záření a UV záření) poskytuje taktéž jednou za tři měsíce a přidává k nim i odhad ročního toku skleníkových plynů (Atmosphere | Copernicus, ©2022). ECMWF implementovala několik monitorovacích a ověřovacích ukazatelů při automatickém zpracování dat pro dosažení požadované kvality (Peuch et al., 2022).

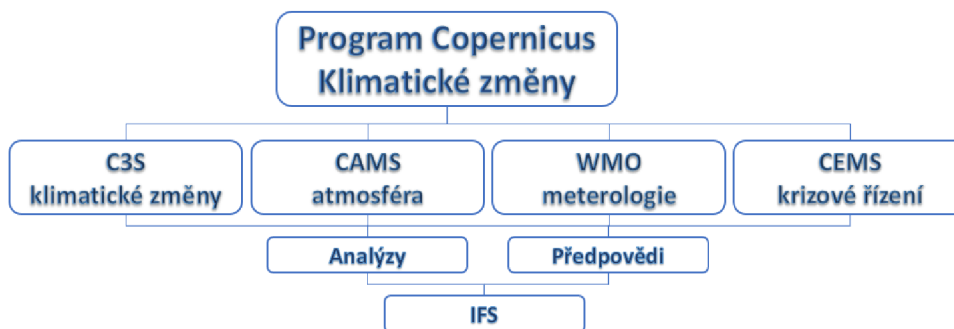
Státní správa či územní samospráva má tak jedinečnou možnost na portálu CAMS získat informace a služby, které napomáhají zlepšení kvality ovzduší. Nasbíraná data jim pomáhají v lepší komunikaci směrem k široké veřejnosti, zejména ve větších městech, případně obydlených územích poblíž rušných silnic či průmyslových zón. Úroveň znečištění se liší nejen dle místa, ale také podle ročního období. Lze tak regulovat činnosti, které mohou zvyšovat emise v sektorech dopravy, průmyslu, zastavěných obytných plochách nebo v zemědělství. Výpočet předpovědí a následná identifikace hlavních přispěvatelů tohoto stavu jsou nákladné a tak jsou aktivovány pouze několikrát během roku, primárně pro hlavní města států EU. Každoročně jsou pro jednotlivé politické sekce podávány zprávy o kvalitě ovzduší v Evropě. Průběžná zpráva popisuje aktuální situaci a validovaná zpráva porovnává současnou situaci se stavem před dvěma roky (Atmosphere | Copernicus, ©2022). Služba nabízí nepřetržitou podporu, uživatele informuje na základě seznamu elektronickou poštou o změnách, inovacích či přístupnosti údajů (Peuch et al., 2022).

CAMS není jen zaměřena na tvůrce politik, vytváří i projekty, kterými podporuje univerzity či další výzkumné vědecké instituce. Za pomoci speciálně upravených letadel měří různé látky znečišťující ovzduší. Lety jsou pečlivě plánovány tak, aby nasbíraly co nejvíce informací v rámci konkrétních situací či událostí. CAMS také vypomáhá sběru dat za pomoci pravidelných linkových letů komerčních společností, kdy předpovědi jsou změřeny nejen na geografickou oblast daného projektu, ale uživatelé si mohou zažádat o data konkrétně sledovaných látek v ovzduší. V minulosti takovýchto projektů proběhlo 31. V současné době se jedná o pouhé dva projekty (Atmosphere | Copernicus, ©2022). Příkladem komerčního využití je aplikace Windy.com, která byly vyvinuta pro vizualizaci předpovědí počasí (Peuch et al., 2022).

4.4.3 Klimatické změny

Další službou programu Copernicus je nezávislá mezivládní organizace Evropské centrum pro střednědobé předpovědi počasí (ECMWF) zabývající se klimatickými změnami. Podporována je 35 státy a založena byla v roce 1975. Patří nejen do služby Copernicus, ale je také součástí Organizace Severoatlantické smlouvy (NATO), Rady Evropy (RE), Evropské kosmické agentury (ESA), Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) a Evropské organizace pro využívání meteorologických družic (EUMETSAT). Jak již bylo zmíněno v části Atmosféra, jde o provozní službu, která vytváří globální numerické předpovědi počasí společně s dalšími daty pro členské státy EU a spolupracující státy. ECMWF má v rámci Evropy jedno z největších superpočítačových zařízení se špičkovou technologií HPC (High performance computing) a s ním související meteorologické archivy. Členské státy a jejich organizace mají k datům přístup bez poplatků, ostatní mimočlenské státy či komerční podniky si služby mohou zakoupit (ECMWF, ©2022).

Další strategickou činností je poskytování školení a pomoc World Meteorological Organization (WMO) při implementaci jejích programů. Služba v rámci programu zastřešuje další dvě oblasti (obr. 5), CAMS a C3S (Copernicus Climate Change Service). Data dodává i do služby Copernicus Emergency Management Service (CEMS). K činnostem, které služba poskytuje, mimo předpovědi počasí, patří analýza kvality ovzduší, sledování atmosféry, monitoring klimatu, analýza cirkulace oceánů, předpovědi hydrologické a predikce rizik vzniku požárů. Analýzy a předpovědi pokryjí různé časové rámce, střednědobé, měsíční, sezónní i roční (ECMWF, ©2022).



obr.5 - schéma služby klimatické změny v programu Copernicus (zdroj: vlastní)

Jednou z důležitých činností WMO je reanalýza klimatu. ECMWF vyvinulo svůj vlastní atmosférický model a systém asimilace dat archivovaných pozorování, který se nazývá Integrated Forecasting System (IFS). Vytváří animace z globálních souborů popisující nedávnou historii oceánů, atmosféry a zemského povrchu. Soubory obsahují odhady atmosférických parametrů, jako jsou teplota vzduchu, tlak a vítr a povrchových parametrů mezi které patří srážky, půdní vlhkost, teplota mořského povrchu či výška vln oceánu. Globální pozorovací systém, který data sbírá, se skládá z mnoha satelitních přístrojů, meteorologických stanic, bójí, lodí a dalších komponentů in situ. Vzhledem k tomu, že získané informace jsou zpracovávány pro všechna místa na Zemi a zahrnují dlouhá časová období, i několik desetiletí, tak reanalýzy zabírají až několik petabajtů (1 PB = 1000 TB), a proto se zpracovávají pomocí cloudových nástrojů (ECMWF, ©2022). Do provozního systému přispívají svými daty i meteorologické družice Číny, Japonska, Indie, Jižní Koreje a Ruska. Jedná se o příspěvky polárních, kruhových a eliptických družic, které pokrývají evropskou i arktickou oblast (Bell et al., 2020). Během uplynulých několika let je zřejmý celosvětový zájem o DPZ. Každý stát se dle svých ekonomických možností snaží do systému zapojit a přispět k ucelenému pohledu na klimatické změny (Guo et al., 2020).

Reanalýzy jsou často používány pro monitoring klimatických změn v rámci výzkumu, vzdělávání i komerční aplikace. Pro využití těchto produktů je potřeba základních znalostí o atmosférických nebo oceánografických vědách a nápomocná je i uživatelská příručka ECMWF Forecast. Datových odkazů pro komerční zákazníky je momentálně přístupno sedm (ECMWF, ©2022). Jednou z nejmodernějších klimatických reanalýz je ERA5 (ECMWF Reanalysis v5), která poskytuje data od roku 1950 po současnost. Data jsou dodávána od reálného času retroaktivně se zpožděním zhruba 5 dnů. ERA5 využívá systém 4D-Var, jehož cílem je najít, za daných podmínek a předpokladů, co neoptimálnější odhad stavu atmosféry.

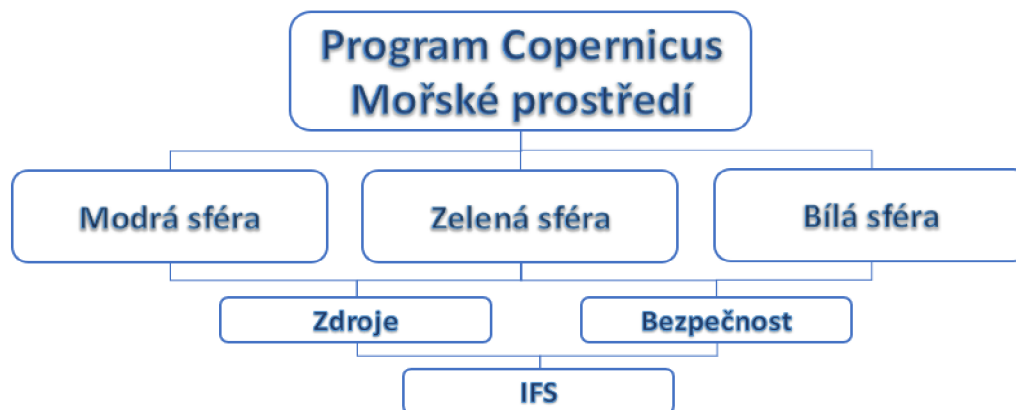
Reanalýza je jednou z nejvytíženějších aplikací s odhadem více než 30 000 aktivních uživatelů (Bell et al., 2020).

ERA5 data jsou i přirozenou součástí C3S. Služba C3S spustila svou činnost v roce 2015. Její služby jsou založeny na pravidelných měsíčních přehledech a řadí se k důležitým pilířům klimatického programu. Oporou služby je katalog CDS (Climate data store), jehož vývoj trval několik let. Cloudová struktura zahrnuje nejen velké množství datových souborů, ale i podpůrných aplikací a služeb. Nabízí různá školení a uživatelskou podporu pro vysoké množství registrací, které činí průměrně za kvartál 25 000 aktivních uživatelů. Řada nástrojů funguje formou open source, tedy s otevřenou licenci, a využívá programovací jazyk Python. Účelem je cíleně využít požadované údaje bez vedlejších nepotřebných dat. Přístup k datům je zajištěn i prostřednictvím API (Bell et al., 2020).

4.4.4 Mořské prostředí

Služba Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) začala fungovat v roce 2018. Je financována EK a samotná služba je realizována společností Mercator Ocean International (MOI), která je v provozu od roku 2015. CMEMS má přispět ke zlepšení námořní bezpečnosti, udržitelnému využití zdrojů oceánu a ochrany moří, např. zobrazováním zdrojů znečištění, monitoringem klimatu, tvorbou prognóz a dalšími. Služba je bezplatná, a proto přístupná široké veřejnosti. Jejím cílem je zlepšit povědomí v otázkách souvisejících s oceány. Poskytuje pravidelné a systematické informace o stavu oceánů a moří, o jejich dynamice a proměnlivosti v rámci ekosystému. Dělí se na tři oblasti: modrá sféra sleduje fyzický stav, zelená sféra pozoruje biogemické parametry a bílá sféra zjišťuje stav mořského ledu (obr. 6). Údaje jsou shromažďovány na základě sběru dat ze satelitů a in situ (CMEMS | Copernicus, ©2022). Terénní pozorování mají důležitou roli, protože mohou dodat informace, která satelit neobstará (Le Traon et al., 2019).

CMEMS navázalo partnerství s neziskovými organizacemi a pro zvýšení povědomí o výzvách, kterým čelí oceán, pořádá akce, kde sdílí vědecké poznatky a propagují udržitelnost. Přibližný odhad je, že tyto akce oslovily 2,2 milionů občanů nejen prostřednictvím iniciativ či informačních akcí, ale i za pomoci muzejních výstav (CMEMS | Copernicus, ©2022). Mezi neziskové organizace patří i Mercator Ocean International, která podporuje výzkum v oblasti mořského prostředí za pomoci vlastních specialistů a externích dodavatelů (BLUE BOOK, 2019).



obr.6 schéma služby mořské prostředí v programu Copernicus (zdroj: vlastní)

Jedna část služby je zaměřena na mořské zdroje. Od roku 2020 je zapojena v rámci plánu o dosažení udržitelného hospodářství EU do projektu Green deal. Copernicus Marine Service poskytuje data téměř v reálném čase a lze je tedy zapojit do každodenních operací, jako jsou mořské obnovitelné zdroje, nejen potravní, ale i energetické, sledování změn klimatu, ochrana biologické rozmanitosti nebo kvalita vody (CMEMS | Copernicus, ©2022). Jedním ze sledovaných faktorů je také výše plastového odpadu, protože v roce 2008 byla přijata „Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/56/ES ze dne 17. června 2008“ o mořské strategii, která ukládá členským státům, že vlastnosti a množství odpadků v moři nesmí poškozovat pobřežní a mořské prostředí. Systém může sledovat například i ropné skvrny a na základě dat organizovat podpůrné akce při odstraňování škod. Důležitým bodem je i tzv. modrý růst. Jeho strategie se zaměřuje na pět odvětví, která mají potenciál v ochraně mořského prostředí: akvakultura, pobřežní cestovní ruch, mořské biotechnologie, energie z oceánů a těžba na mořském dně (EUR-Lex - 32008L0056, 2008). Pro ochranu mořského prostředí je určen i interaktivní prohlížeč Atlas moří, který má podpořit zapojení široké veřejnosti v zájmu o klimatické změny (Larkin et al., 2022).

Druhá část služby sleduje námořní bezpečnost. Ta má vyhrazené webové rozhraní - Integrated Maritime Service (IMS). Tento web integruje širokou škálu námořních dat z různých zdrojů, včetně systémů hlášení lodí a pomocných meteo-oceánografických dat z CMEMS, EMODNET (European Marine Observation and Data Network) a ECMWF. Jeho cílem je monitoring síly a směru větru, jeho rychlosti, sleduje také rychlost a směr mořských i oceánských proudů, teplotu hladiny, výšku vln nebo pohyb ledových ker. Toto napomáhá k organizaci lodní dopravy všeobecně a zjednodušuje

i další operace na moři včetně záchranných či pátracích akcí. Některé části této služby jsou přístupné pouze oprávněným subjektům, protože se vztahují zároveň i k další službě programu Copernicus, Bezpečnost (Copernicus SEA, ©2022).

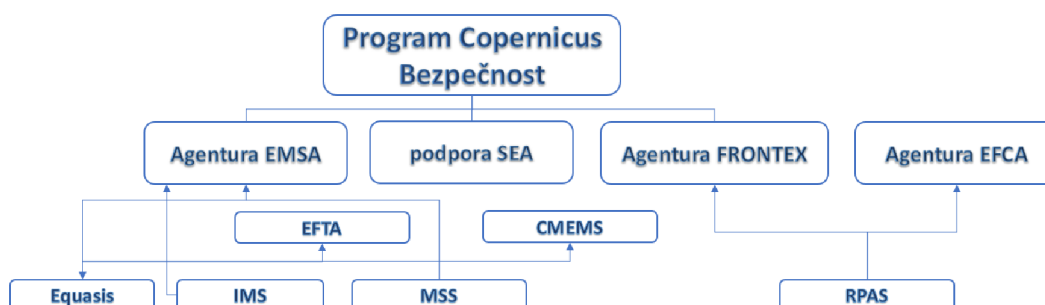
4.4.5 Bezpečnost

Služba Bezpečnost slouží jako podpora v rámci bezpečnostní politiky EU a dělí se na několik částí (obr. 7). Prvně sem spadá námořní dohled, jenž částečně zastřešuje i služba CMEMS a provozně náleží k agentuře EMSA. Tu EK pověřila správou dohledu v roce 2015. Z pohledu bezpečnosti zajišťuje námořní dohled opatření na ochranu před piráctvím, loupežemi, terorismem a jinými druhy násilí. K tomu se vztahuje volný pohyb osob a zboží v bezpečném prostředí v rámci lodní dopravy, je tu snaha eliminovat havárie a environmentální stopu námořní přepravy. Agentura EMSA se podílí aktivně na právních nástrojích v EU, které mají podporovat námořní bezpečnost, například směrnice o útočištích nebo stanovení povinné bezpečnostní výbavy lodí. Ochrana se netýká pouze volného prostoru, ale i přístavů (Copernicus SEA, ©2022).

V roce 2000 byl spuštěn systém Equasis, který byl následně včleněn do služeb CMEMS. Zároveň je i technickou podporou Kontrolního úřadu EFTA (European Free Trade Association). Systém shromažďuje informace o bezpečnosti a kvalitě lodí světové obchodní flotily. Jde o nejspolehlivější bezplatně přístupný zdroj s informacemi o více než 85 000 lodích. Data do systémů dodávají EMSA, IMO (International Maritime Organization), sedm státních přístavních inspekcí, různé společnosti s klasifikací svých lodí, průmyslová sdružení, kluby, pojišťovny, soukromé společnosti a další (Copernicus CR, ©2022).

V oblasti bezpečnosti figurují i další služby IMS, které jsou určeny pro sběr dat. Pro technická řešení v podobě právních úkonů na půdě EU byly vytvořeny THETIS, THETIS-EU, RuleCheck, MaCK. Dále je tu Maritime Support Services (MSS), což je středisko námořních podpůrných služeb v nepřetržitém módu. Jako operativní pomoc EMSA koordinuje pomoc v případě nehod, ať už ekologického nebo bezpečnostního charakteru. Zajišťuje také mj. vydávání digitálních certifikátů pro bezpečnou komunikaci mezi systémy. Monitoring provozu plavidel zastřešuje systém SafeSeaNet. Síť byla zřízena pro výměnu námořních údajů z oblasti celé Evropy. Na základě rezoluce z roku 2006 slouží LRIT (Long Range Identification and Tracking) k identifikaci lodí (EMSA, ©2022). Systém CleanSeaNet má podpůrnou funkci pro

detekci ropných skvrn v případě nehod. Dokáže rozpoznat za pomoci satelitních dat, kde došlo ke vzniku nehody a monitoruje rozsah škod (Papadimitriou et al., 2019).



obr. 7 - schéma služby bezpečnost v programu Copernicus (zdroj: vlastní)

Portál EMSW (European Maritime Single Window) zjednodušuje ohlašovací formality, které ukládá právo mezinárodní, unijní a vnitrostátní. Jde o pomocný portál harmonizující soubory údajů, jenž je zaštiťován EMSA. Agentura Remotely Piloted Aircraft System Services (RPAS) je zapojena do pomoci s operacemi pobřežní stráže. Systémy, které využívá RPAS jsou doplňkovou službou celého systému sledování a řízení námořní bezpečnosti. Služby jsou nabízeny na základě žádosti přes evropské agentury EFCA (European Fisheries Control Agency) a FRONTEX (European Border and Coast Guard Agency). Pro součinnost systémů dohledu byla v roce 2014 vytvořena iniciativa Common Information Sharing Environment (CISE). Jde o dobrovolnou službu, která by měla pouze posílit a podpořit výměnu informací mezi námořními orgány (EMSA, ©2022).

Druhou bezpečnostní službou v programu Copernicus je Copernicus Service in Support to EU External Action (SEA). Ta začala fungovat v roce 2017. Jde o geoinformační službu, která zajišťuje informace o místech ležících mimo EU, v odlehlých a těžko přístupných lokalitách. Přispívá tak k prevenci krizí, případně pomáhá při krizích vznikajících nebo již probíhajících. Má poskytnout rychlé a podrobné informace o stavu kritické infrastruktury a silniční sítě, podporu evakuačních plánů nebo posoudit případné škody v rámci konfliktů. Slouží primárně členským státům EU a využívat ji mohou pouze oprávnění uživatelé. Patří sem například bezpečnostní složky EK, ministerstva obrany či zahraničních věcí států EU a jejich zpravodajská střediska. Za určitých podmínek službu mohou používat i klíčové mezinárodní organizace jako je OSN. Svým způsobem dohlíží na dodržování demokratických principů, lidských práv a základních lidských svobod (Copernicus SEA, ©2022).

Třetí službou v rámci bezpečnosti je Evropská agentura pro pohraniční a pobřežní stráž. Mezi její tři strategické cíle patří snížení zranitelnosti vnějších hranic, jejich zabezpečení a kvalitní fungování, a v neposlední řadě udržení dostatečného počtu pohraniční a pobřežní stráže. V budoucnu se počítá až s kapacitou 10 000 příslušníků, kteří budou pomáhat s kontrolou hranic a řídit případnou migraci. V současné době je služba zodpovědná za integrovanou správu vnějších hranic IMB (Integrated border management), mj. řeší normy a jednotná pravidla. Jednou ročně ve výroční zprávě zhodnocuje zranitelnost hranic a vytváří pravidelné analýzy rizik. Dokumenty jsou přístupné na základě žádosti, které předchází identifikační formulář, pro každého občana či firmu v EU (FRONTEX, ©2022).

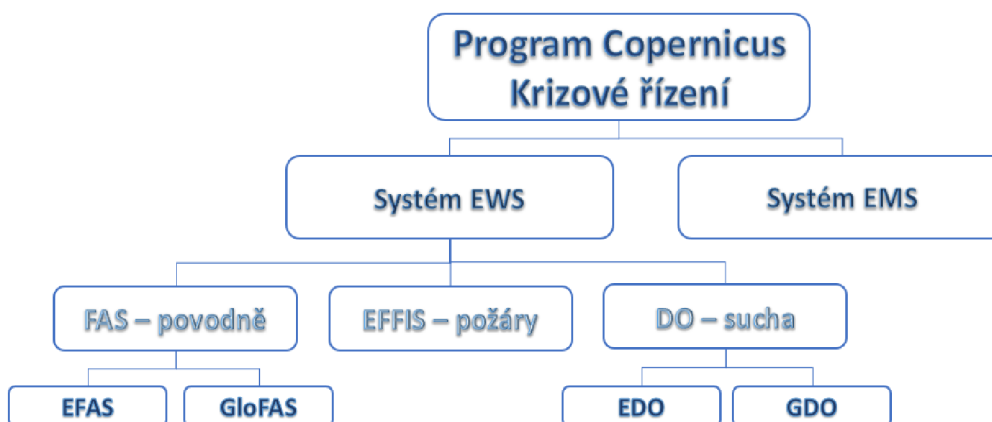
4.4.6 Krizové řízení

Poslední službou programu Copernicus je služba pro krizové řízení EMS (Emergency Management Service). V případě nouzové situace, ať v důsledku přírodní katastrofy nebo té způsobené člověkem, poskytuje operátor EMS podrobné informace i během několika hodin. Služba slouží k ochraně životů, majetku a životního prostředí. Jejím úkolem je prevence, plánování a obnova prostřednictvím dat a jejich následné analýzy. K uživatelům služby patří humanitární organizace, orgány civilní ochrany, hydrometeorologické ústavy případně vodní elektrárny a další klíčové složky (EMS, ©2022).

První částí této služby je systém včasného varování EWS (Early warning system), skládající se ze tří prvků (obr.8). Povodňový prvek má dva elementy. European Flood Awareness Systems (EFAS) je zaměřen na přepověď v Evropě a na globální úrovni funguje Global Flood Awareness Systems (GloFAS). Druhý prvek zaměřený na lesní požáry European Forest Fire Information System (EFFIS) monitoruje situaci v reálném čase a je schopen podat přehled zpětně, jak pro Evropu a Blízký východ, tak i pro severní Afriku. Posledním prvkem je Drought Observatory (DO), který poddává informace o suchu. Pro Evropu je to část European Drought Observatory (EDO) a celosvětovou situaci monitoruje Global Drought Observatory (GDO). Služba vytváří krátké analýzy ohledně očekávaného sucha (EMS, © 2022).

Druhou částí služby EMS je samotné EMS – mapping s celosvětovým pokrytím. Plně funkční je od roku 2012 a to v režimu non-stop a provoz zastrešuje Společné výzkumné středisko Evropské komise JRC (Joint Research Centre). Cílem je zajistit

data v jakékoliv podobě. Digitální i tištěné výstupy pro geoprostorové rozborů podporují řízení v jakékoliv fázi katastrofy (EMS, © 2022).



obr. 8 - schéma služby krizové řízení v programu Copernicus (zdroj: vlastní)

Služba je přístupná pouze oprávněným uživatelům působícím v oblasti krizového řízení. I tak je možné na základě dostupných informací v GIS odhadnout například odhad škod při povodních (Federica, et al., 2022).

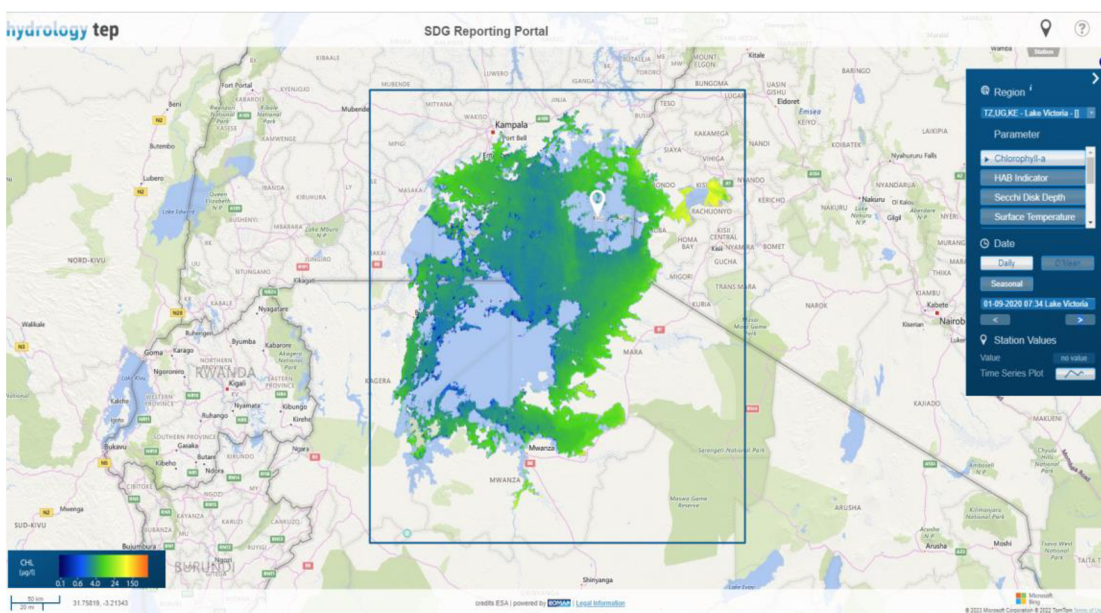
4.5 Oblasti využití

V současné době je jedním z celosvětových témat mj. i klimatická změna. Program Copernicus nabízí možnost ke zmírnění dopadů změn, které ve většině případech mají negativní vliv na životní úroveň.

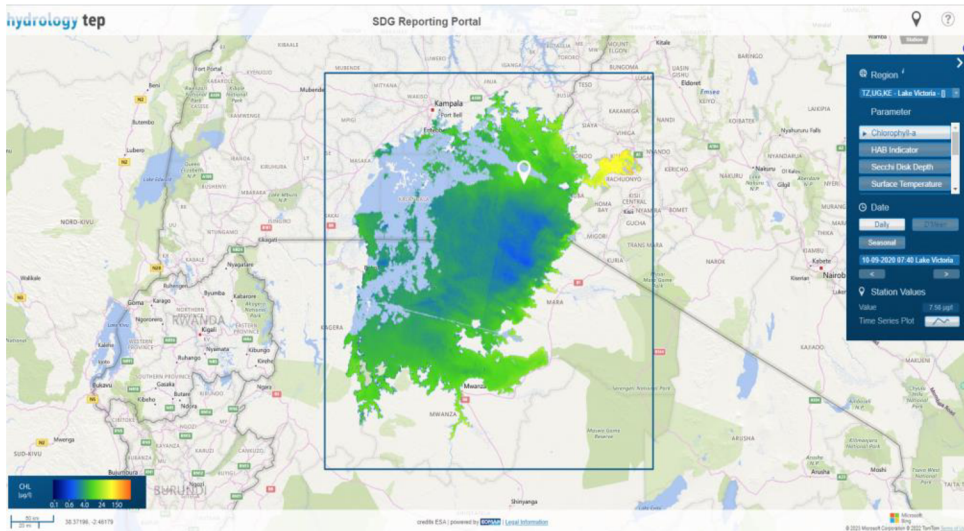
Důležitou a potřebnou složkou pro život je voda. Rostoucí stupeň jejího znečištění je příčinou degradací různých ekosystémů. Za špatnou kvalitou vody stojí např. zemědělská činnost, kdy dochází k její eutrofizaci, toxické znečištění při ekologických haváriích průmyslových objektů a jiné. Náprava je často doprovázena finančními náklady pro úpravu vody. Proto je kvalita a přístupnost vody jednou z výzev tohoto století. Program Copernicus nabízí způsob, jak dodat data potřebná pro monitoring vnitrozemských a pobřežních vod (Copernicus - UNESCO, ©2022).

Organizace UNESCO vyvinula portál SDG6 Hydrology TEP. V jeho testovací verzi je deset vybraných vodních zdrojů, z nichž sedm má rozlišení do 30 m, a v určitých sběrných časových obdobích (od roku 2016 do roku 2021) lze sledovat stav chlorofylu-a, absorpci světla či suspendované hmoty v závislosti na obsahu organických a anorganických částic ve vodním sloupci, míru průhlednosti,

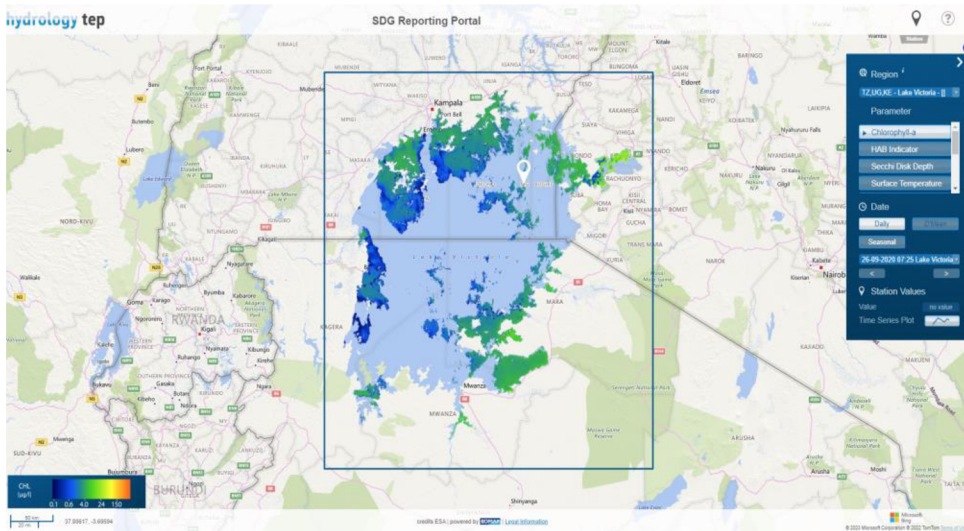
povrchovou teplotu vody, trofický stav, zákal, objem vody v nádrži a HAB indikátor (v oblastech vodních květů). Aplikace v rámci celosvětového přehledu umožňuje náhled na čtyři ukazatele bez možnosti změny data. Na denní bázi u všech vodních ploch je možné zobrazit různá časová údobí s pěti ukazateli. Pouze jediný zdroj, Viktoriino jezero, můžeme sledovat dle průměrných sezónních hodnot nasbíraných během několika měsíců. V nabídce je i denní průměr, který ovšem u žádných z vybraných objektů v testovacím prostředí nefunguje. Aplikace při výběru ukazatele a objektu nabízí v levé spodní části barevnou stupnici, stupeň rozlišení a údaje o zeměpisné poloze při posunu myši. Jako příklad jsem pro porovnání údajů chlorofylu-a vybrala Viktoriino jezero ze dne 01.09.2020 (obr. 9), 10.09.2020 (obr. 10), 26.09.2020 (obr. 11) a průměr hodnot ze září 2020 (obr. 12). Při porovnání údajů je zřejmé, že stav chlorofylu-a je při pravém břehu stálý a v ostatních částech jezera je proměnlivý. Také průměrné hodnoty za měsíc září ukazují, že chlorofyl-a se nejvíce vyskytuje při břehu jezera. Na základě údajů by mohla tamní veřejná správa učinit kroky k nápravě a například obyvatelé žijící v okolí na zvýšenou koncentraci chlorofylu-a upozornit. V nabídce je také možnost vygenerovat report, který se zároveň zobrazí ve webovém prohlížeči (obr. 13 – souhrn roku 2021 a obr. 14 – měsíce září až prosinec 2020) a je možné jej dále uložit ve formátu csv (obr. 15).



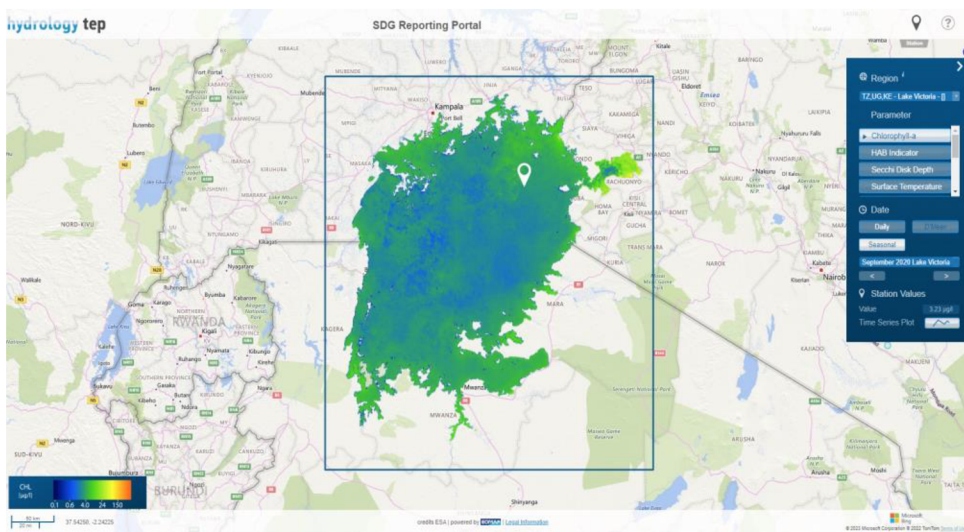
obr. 9 - stav chlorofylu-a 01.09.2020 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)



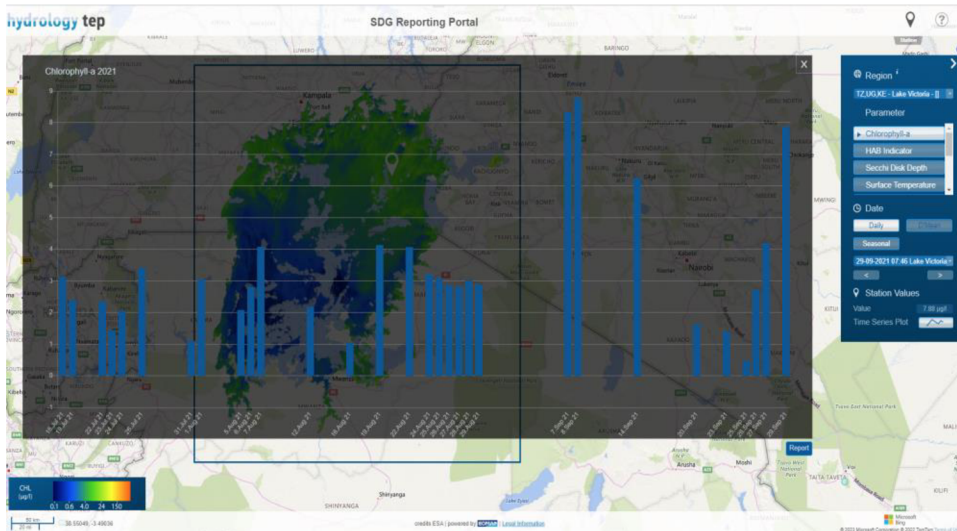
obr. 10 - stav chlorofylu-a 10.09.2020 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)



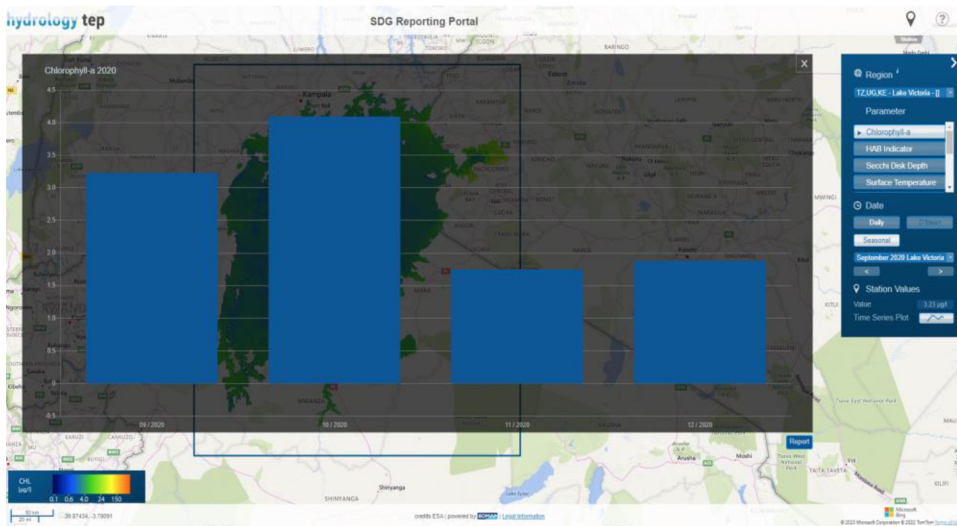
obr. 11 - stav chlorofylu-a 26.09.2020 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)



obr. 12 - stav chlorofylu-a 09/2020 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)



obr. 13 - report chlorofylu-a 2021 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)



obr. 14 - report chlorofylu-a 09-12/2020 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)

```

dataset - Notepad
File Edit Format View Help
WATER QUALITY REPORT
Generated at: 2023-01-28 Time 12:31:25
Parameter: Chlorophyll-a
Unit: µg/l
Product: eoWater (satellite based)

Region: TZ,KE,KE - Lake Victoria - []
Station lat/lon: -0.44000 / 33.57000
Year: 2020
Median: 2.55
Mean: 2.74
Minimum value: 1.75
Bottom quintile: 1.83
Top quintile: 3.58
Maximum value: 4.09

Trophic State Index (according to Carlson 1977): Oligotrophic
Oligotrophic: 50.00%
Mesotrophic: 50.00%
Eutrophic: 0.00%
Hypereutrophic: 0.00%

(c) Hydrology-TEP, http://sdg6-hydrology-tep.eu/ and https://hydrology-tep.eu
Data products, analysis and web application powered by EOmap GmbH & Co.KG, Germany, www.eomap.com (Water Quality and web application) and IsardSAT www.isardsat.cat (Water Storage)
Data sources: products generated from satellite sensors: Sentinel 2A/B, Sentinel 3A/B, Landsat-8, Landsat-7, Jason-2, Jason-3, MODIS Aqua/Terra

Single measures:
Data (YYYY-MM-DD); Value
2020-09-01; 3.23
2020-12-01; 1.88
2020-11-01; 1.75
2020-10-01; 4.09

```

obr. 15 - csv report chlofylu-a za měsíce 10-12/2020 Viktoriino jezero (zdroj: sdg6-hydrology-tep.eu/)

Jedním z dalších příkladů využití programu Copernicus za pomoci satelitu Sentinel 2-A v oblasti zjištění stavu vodních ploch, je Irský národní program monitorování jezer. Tento monitorovací program má dosah pouze na 225 významných jezer, ačkoliv v zemi je odhadem více jak 12 000 vodních ploch. Prostřednictvím družice je možno zaznamenat i menší vodní útvary. Uplatněním jejích údajů pomáhá podporovat implementaci Rámcové směrnice o vodě. Zodpovědnost za tuto implementaci má EPA (Environmental Protection Agency) a její snahou je průzkum využití dat z programu Copernicus. EPA navázala spolupráci s VITO Remote Sensing a získala tak data v rozsahu tří let (2016-2018), která pokrývala více jak 800 jezer (VITO.be - waters, ©2022). Pro atmosférickou korekci dat byl použit software iCOR (Image correction for atmospheric effects). Tento nástroj byl původně vyvinut pro korekci hyperspektrálního zobrazení atmosféry. Za pomoci modulu SIMEC (Similarity Environment Correction) byla odbourána kontaminace světelných pixelů vody a tím byl zprovozněn nástroj, kde není nutný zásah uživatele ke korigování satelitních snímků. Nástroj dokáže sám zjistit, zda se jedná o souš či vodu (VITO.be - iCOR, ©2022).

Společnost VITO je nezávislá výzkumná organizace, jejíž cílem je udržitelnost. Společnost se věnuje výzkumu technologických inovací a je zároveň součástí projektu EnergyVille. Software iCOR byl využit i v dalších projektech společnosti, které se zabývaly vodními zdroji. Jedním z nich byl průzkum potenciálu mikrosatelitu PROBA-V, jež byl navržen pro pozemní mise. Výsledky průzkumu ukázaly, že družici je možné využít pro sledování pobřežních vod. Za pomoci příslušného software bylo možné rozlišit pobřeží od moře a určit úroveň zákalu. Při porovnání s daty in situ, šlo o srovnatelné údaje, družicové však měly viditelnější prostorové obrazy (VITO.be – PROBA-V, ©2022). Software iCOR byl využit i v dalším projektu společnosti k ochraně vod. V roce 2018 pro ochranu lokality Natura 2000 v oblasti zátoky Greifswald proběhla případová studie za pomoci platformy Terrascope. Vzhledem k probíhajícím pracím na Nord Stream 2 bylo pochopitelné, že bagrování může ovlivnit okolí. Pro účely studie tedy bylo potřeba vyvinout soubor různých algoritmů a postupů, které hodnotily kvalitu vody. Patřil mezi ně stupeň zákalu, obsah chlorofylu-a, detekce výskytu sinic či řas a vymezení hranic pobřeží. Software opravoval data stažená z družice Sentinel 2-A a Landsat 8 (VITO.be – Sentinel-2, ©2022). Také studie „*The potential of combining satellite and airborne remote sensing data for habitat classification and monitoring in forest landscapes*“ se zabývá využitím satelitních dat v kombinaci s ALS (Airborne Laser Scanning) daty v oblasti Vídně pro klasifikaci a monitoring travních a lesních porostů v oblasti Natura 2000 (Iglseider et

al., 2023). Kombinace dat ze satelitu, ALS a využití dronů bylo zkoumáno i ve studii „*Remote Sensing of Inland Water Quality*“, ve které závěr poukazuje na pokrok vědy, ale i na příležitost poskytovat informace rozvojovým zemím pro zlepšení strategií v oblasti vodního hospodářství (Tyler et al., 2022).

Družicová data jsou schopna pokrývat celkový pohled na danou oblast, ale pokud je potřeba mít data aktuální a bez mračen, je výhodnější použití in situ. Vlámský institut začal zkoumat možnosti k uplatnění dronů a to nejen při studii v Greifswaldu (VITO.be – Sentinel-2, ©2022). V témže roce byly použity drony při bagrovacích činnostech v nizozemském Texelu při konstrukci hráze „Prins Hendrikzanddijk“. Hlavní cíle výstavby byly dva: vytvořit konzistentní vodní bariéru a zlepšit prostředí Waddenského moře. Základ hráze je tvořen pískem, který byl vybagrován v Severním moři a byl převezen na místo určení. Během bagrování byla sledována koncentrace sedimentu ve vodě, aby nepřekročila maximální povolenou hodnotu. Pro kontrolu kvality vody jsou běžně využívány bodová měření a bóje, kdy sběr dat probíhá ručně. Společnost se rozhodla vyzkoušet, zda by v tomto směru nedokázaly vypomoci drony. Následný průzkum a sběr přesných hodnot zohledňoval fakt, že voda není stabilní, funguje jako zrcadlo a může odrazet sluneční záření, a proto je potřeba použít citlivé kamery. Za použití multispektrální kamery byly snímány obrazy v konkrétních místech v reálném čase a zároveň probíhala i kontrola za pomoci AIS (Automatic identification system). Závěrem zkoumání bylo zjištěno, že je možno sledovat těžko přístupné či nepřístupné oblasti, za jakéhokoliv počasí, systém není omezen dobou a místem sběru, poskytuje značné prostorové podrobnosti a kombinací běžného měření in situ a satelitních údajů se získá přehlednější obraz o probíhajících změnách (VITO.be – Drones, ©2022).

Zapojení dronů bylo zahrnuto i v programu Horizont 2020, který se v roce 2014 rozhodla iniciovat ERA (European Research Area) pro zapojení veřejnosti a zpřesnění dat ze satelitních měření z programu Copernicus. Vznikla tak platforma Monocle H2020, jež využívá VITO Remote Sensing a zapojuje i laiky, kteří mohou za pomoci mobilních telefonů poskytnout užitečná data. Cílem Monocle je podpořit děti, ale i dospělé, k zájmu nejen o vědu obecně, ale i k aktivnímu přispívání ke zlepšení životního prostředí ve svém okolí (VITO.be – Monocle, ©2022). Kolektiv VITO se zde podílel na zpracování dat v software v cloudu MapEO water (VITO.be – MapEO water, ©2022). Pro podporu strategie EU vznikl i projekt Aquacross, který je taktéž součástí Horizontu 2020 a jehož cílem je zajistit fungování vodních ekosystémů. Měl by rozvíjet znalosti v sociální, ekologické i ekonomické oblasti a vše

propojit. Projekt zkoumal několik případových studií, které tvořily základ zdrojových informací a dat (Lago et al., 2019).

Skupina vědců z vlámského institutu byla přizvána i do projektu Irrigation 2.0, který byl reakcí na vysokou spotřebu vody a na nízké množství srážek během čtyř vegetačních sezón v části Belgie. Daná situace je příčinou zvýšeného vodního stresu. Platforma WaterRadar je součástí projektu a jejím účelem je vytvořit alternativu k zákazu používání vody pro zavlažování. Platforma má umožnit propojení poptávky po vodě s její nabídkou. Jednou z možností je využití odpadních vod, ať komunálních nebo průmyslových. Čistírny vod mají možnost se v platformě podívat, zda se v jejich okolí nenachází zemědělsky využívaná půda vhodná pro využití a stejnou možnost mají i farmáři. Systém skýtá informace z čistíren o minimálních denních vypouštěních, koncentracích chloridů pro indikaci soli, dále informace o poloze a kontaktní údaje. Zemědělec má tak příležitost v interaktivní legendě dohledat vhodnost půdy k pěstované plodině. S ohledem na možnou kontaminaci odpadních vod, která je možná i po vyčištění, je potřeba odpadní vodu promíchat s vodou čistou. Projekt Irrigation 2.0 byl zahájen koncem roku 2018 a měl trvat 4 roky. Během zavlažovacích pokusů byly používány různé typy odpadních vod pro zjištění vlivu na stimulaci a kvalitu růstu špenátu, květáku a raných brambor. Na vybraných polích bylo sledováno včasné použití závlah za pomoci kombinace satelitních snímků Sentinel-2 s půdními senzory vlhkosti. V současné době se nasbíraná data vyhodnocují. Platforma samotná je pro Belgii aktivní a využitelná v Betaverzi (VITO.be – Effluent to the rescue, ©2022).

Výzkumná organizace VITO je také součástí projektu EuropaBON, který navazuje na úsilí projektu GlobDiversity. I v tomto projektu se společnost podílela na vizualizaci datového toku DPZ. Projekt byl iniciován ESA v roce 2017 a dokončen v roce 2020. Jeho hlavním účelem byl vývoj a strukturalizace proměnných opírajících se o DPZ. Sdružení vědci navrhli postup tří proměnných pro monitoring biologické rozmanitosti v rámci suchozemských ekosystémů. Šlo o fragmentaci niky, fenologii povrchu Země a obsah chlorofylu v listoví v korunách stromů. Tyto algoritmy se opíraly o data ze satelitu Sentinel-2, Landsat-8 a navíc využily mapy krajinného pokryvu vygenerované VITO Remote Sensing. Institut si pro testování algoritmů vybral Senegal a Finsko. Obě země mají různorodé ekosystémy a pokryv území. Ve Finsku byly sledovány hodnoty chlorofylu v listoví v různých časových osách, kdy byly zjištěny nízké hodnoty v celé zemi, jen na pobřeží Baltského moře byly hodnoty vyšší. Během pozorování v severní části Senegalu byl zjištěn pozdější nástup sezóny a její dřívější konec na rozdíl od jižní části. Tento rozdíl byl dán množstvím srážek. V zemi se souběžně

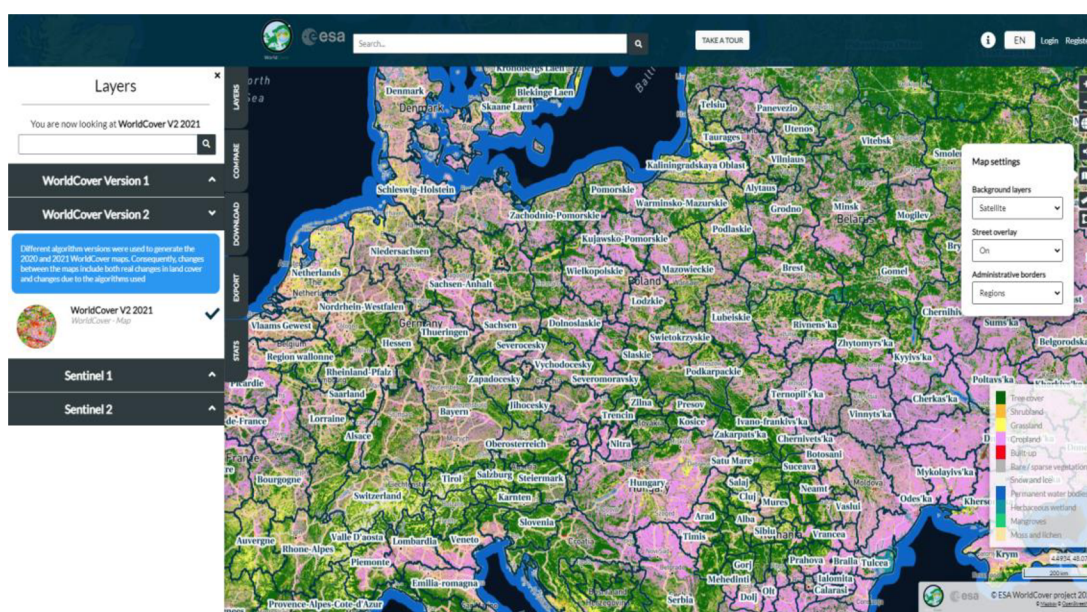
vytvořily i mapy se stanovišti výskytu šimpanzů. Ve Finsku zase byly sledovány polární lišky. Názorná ukázka prototypu algoritmů v národních měřících byla úspěšná a použitelná technicky i pro globální využití (VITO.be – GlobDiversity, ©2022).

Mapování stanovišť je důležitým prostředkem při realizaci cílů „*Směrnice Rady č. 92/43/EHS z 21. května 1992 o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin*“ a připravovaným zákonem o obnově přírody. V aktuálním hodnocení stavu životního prostředí v Evropě, které zveřejnila EEA, je konstatováno, že biologická rozmanitost klesá alarmujícím způsobem, a to i přes postupně zavedené změny. Dle zprávy EEA čelí Evropa ekologickým výzvám v nevídané míře (EEA – SOER 2020, ©2022). Evropská agentura pro životní prostředí si vyžádala tedy studii možnosti využití nových technik umělé inteligence (Artificial Intelligence) a strojového učení s využitím satelitních dat pro distribuční model suchozemských ekosystémů a stanovišť. Dosavadní elektronická databáze Evropského vegetačního archivu (EVA) byla pouze v hrubém rozlišení a neaktuální. Studie v součinnosti s EuropaBON napomohla nalézt řešení pro částečné automatické vytváření plánů za použití údajů ze satelitů a dat z in situ. Výsledkem bylo vytvoření současných map stanovišť ve vysokém prostorovém rozlišení. Mapy tak mohou sloužit i jako podpůrný prostředek pro Ekosystémové účetnictví (VITO.be – Artificial Intelligence, ©2022).

Prvním úkonem bylo vyvinutí automatického pracovního postupu pro generování map stanovišť. Tato část pomohla vytvořit 178 ukazatelů v regionálním měřítku, včetně nadmořské výšky, fenologie vegetace, časové posloupnosti dat sbíraných během roku a v hrubším detailu i informace o půdě a klimatu. Druhým úkonem byl výběr nejhodnotnějších prediktorů za pomoci rozboru jednotlivých zájmových oblastí. Vybrané ukazatele byly použity pro testování modelu AI/ML za pomoci algoritmů CatBoost (softwarová knihovna s otevřeným zdrojovým kódem vyvinutá společností Yandex). Vyhodnocením bylo, že CatBoost je schopen se vypořádat s různými typy ukazatelů i bez parametrů a dokázal vyhodnotit různé vlastnosti prediktorů. Algoritmus poskytl klasifikaci na třídu, což umožnilo následné zpracování a vytvoření změn na mapách stanovišť ani ne za jeden den. Záslouhou této metody byly zhotoveny mapy pro tři regiony. Po srovnání vygenerovaných dat s národními referenčními údaji bylo konstatováno, že vygenerované mapy jsou stejně přesné jako výchozí národní mapy. Studie prokázala proveditelnost a vysoký potenciál při využití technik AI/ML (VITO.be – Artificial Intelligence, 2022). Nad využitím AI se vědci zamysleli ve studii „*Remote sensing and AI for building climate adaptation applications*“ z roku 2022. Z diskuze vyplynulo, že vyhodnocení satelitních

dat nezohledňuje oblačnost a znečištění ovzduší a předpovědi mohou být tedy zkreslené (Sirmacek & Vinuesa, 2022).

Pro zjištění změn krajinného pokryvu je možno využít i webové rozhraní WorldCover2021 (obr.16), které je vylepšenou verzí z roku 2020. Přístup k aplikaci je zdarma a plánuje si i její mobilní varianta. Podnět pro projekt dala ESA v roce 2019. Data, která jsou stahována ze Sentinel-1 a Sentinel-2, vytváří unikátní časově a prostorově stabilní datové podklady. Nová verze produktu zvýšila svou přesnost zobrazení v celosvětovém měřítku na 76,7 % a zlepšení nastalo v také v přehledu změn týkajících se zemědělské půdy, luk a pastvin, mokřadů, trvalé vodní plochy či zastavěných ploch (VITO.be – WorldCover, ©2022).



obr. 16 – mapa Evropy z webového rozhraní WorldCover2021 (zdroj:esa-worldcover.org/en)

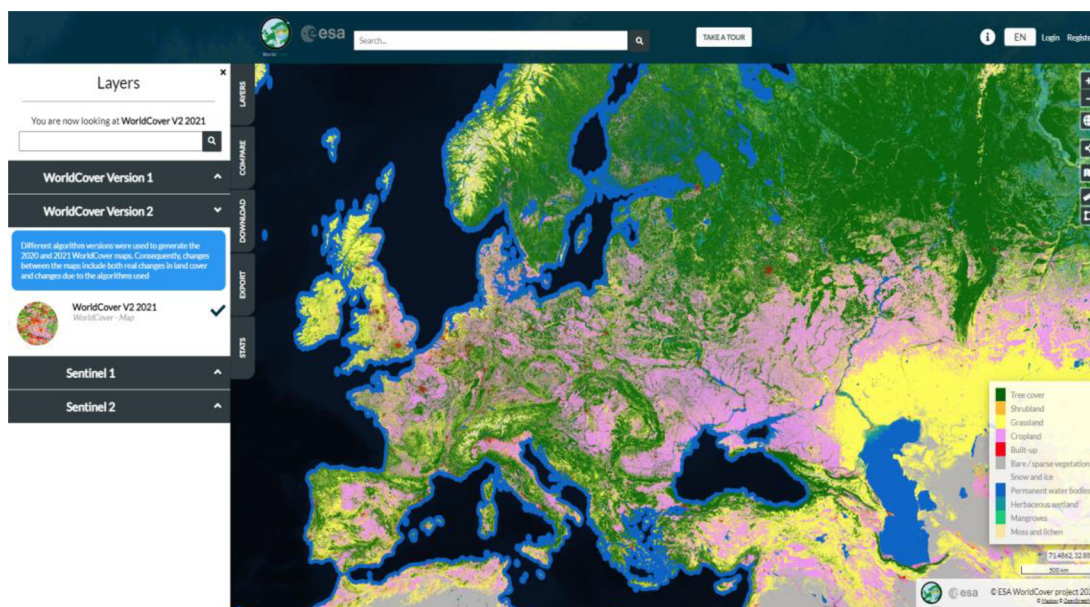
Informace ze satelitů Sentinel-1 a Sentinel-2 jsou poskládány časosběrně během celého roku. Jednotlivá data jsou následně pospojována tak, že aplikace umožňuje porovnat zároveň rok 2020 vůči roku 2021. Celková přesnost je udávána 75 % a v případě potřeby je možné mapu aktualizovat téměř v reálném čase. Mapa disponuje 11 různými třídami (obr. 17) v rozlišení 10 m (VITO.be – WorldCover map, ©2022).

Popis tříd WorldCover Map

Hodnota	Barva	Název třídy
0		žádná data
10		stromový pokryv
20		křoviny
30		louky a pastviny
40		zemědělská půda
50		zastavěné plochy
60		holá/ řídká vegetace
70		sníh a led
80		trvalé vodní plochy
90		bylinný mokřad
95		mangrovy brakických vod
100		mech a lišejník

obr. 17 - diagram inspirovaný daty z webového rozhraní WorldCover2021 – rozdělení stanovišť na třídy (zdroj:<https://esa-worldcover.org/en>)

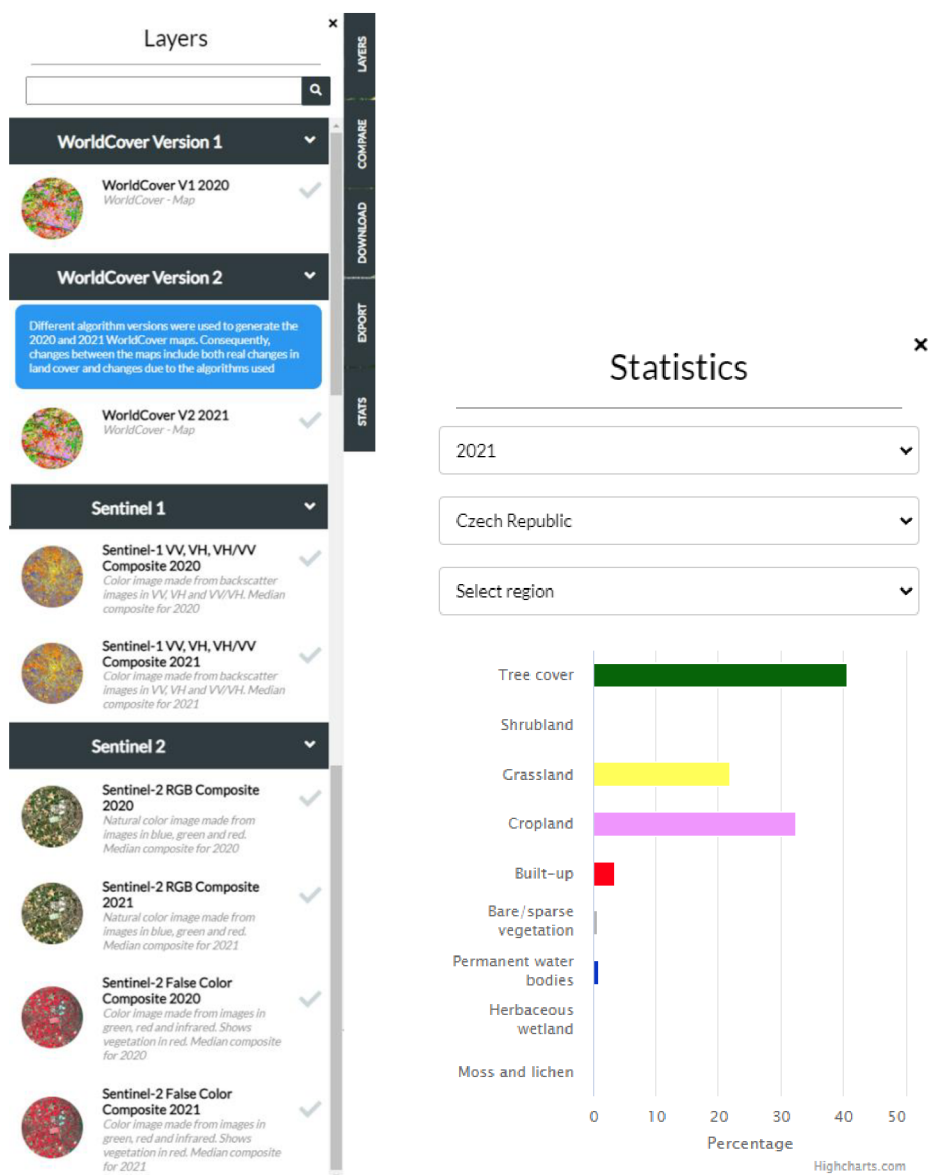
Aplikace World Cover má v pravé části vysvětlivky k barevnému rozlišení a panel pro ovládání vzhledu mapy. Krom možnosti přiblížení či oddálení zkoumané pozice, tu je alternativa zobrazení se silnicemi či bez, vyznačení hranic států, jednotlivých regionů nebo bez ohraničení (obr.18). Také by zde měl být výběr pozadí v satelitní verzi či s mapou ulic (WorldCover2021, ©2022).



obr. 18 – mapa z WorldCover2021 (zdroj:esa-worldcover.org/en)

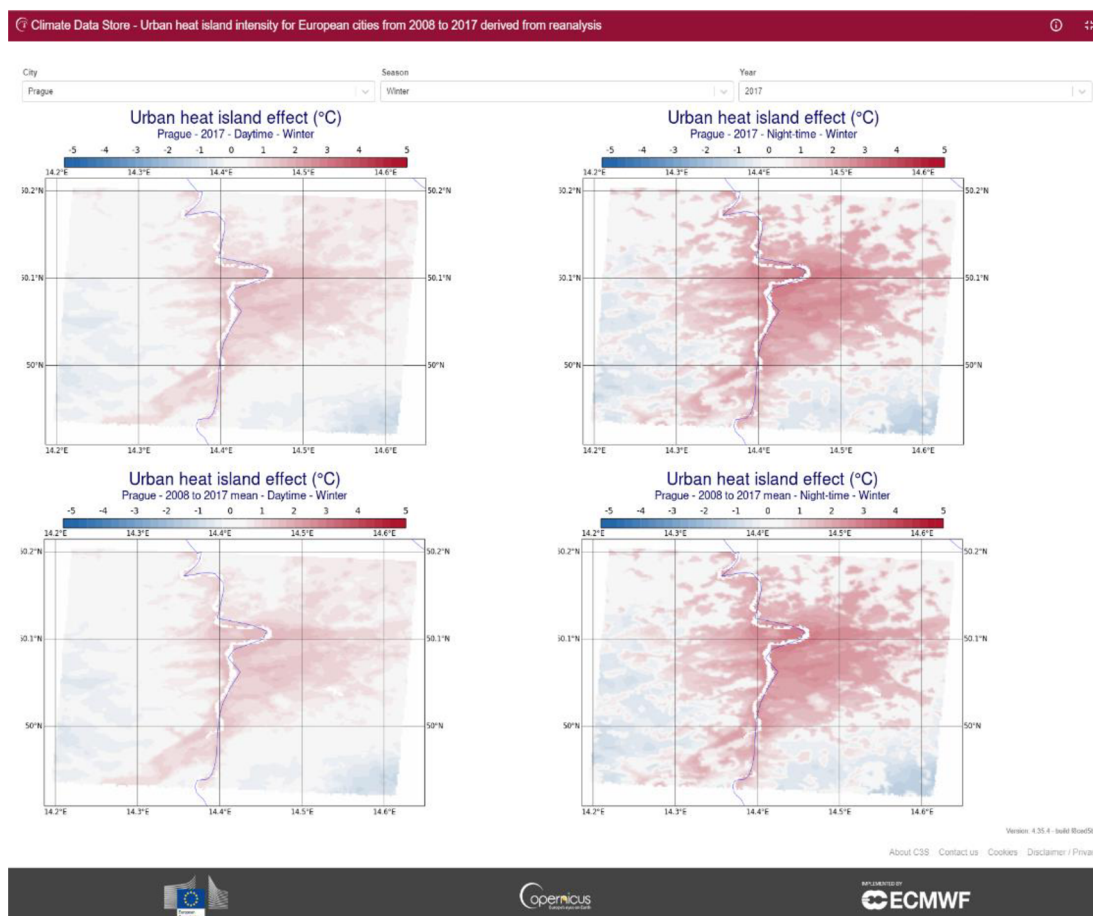
V levé části má aplikace další panelovou nabídku výběru při průzkumu změn krajinného pokryvu (obr. 19). V záložce vrstvy je možné si vybrat mezi roky 2020 a 2021. Také je zde možnost selekce jednotlivých satelitů pro dané roky v různých verzích barevného rozlišení. U Sentinel-1 jde o rozlišení zpětného rozptylu, u Sentinel-2 lze zobrazit mapu v přirozených barvách nebo falešných, kdy je zelená nahrazena červenou. Další záložka nabízí vzájemné porovnání roků 2020 a 2021. Dále lze data stáhnout po jednotlivých rastrech. Náhled je možné exportovat v png formátu a také je tu volba zobrazení statistických údajů v jednotlivých státech i regionech pro vybraný rok (obr. 20).

obr. 19 – panelová nabídka aplikace WorldCover2021 (zdroj:esa-worldcover.org/en)



obr. 20 – statistické údaje z aplikace WorldCover2021 (zdroj:esa-worldcover.org/en)

Další aplikací užitečnou pro zlepšení kvality životního prostředí je *Urban heat island intensity for European cities from 2008 to 2017 derived from reanalysis*, která zprostředkovává náhled tepelných ostrovů zhruba 100 vybraných měst v letním či zimním období pro roky 2008-2017. Mapy jsou zobrazeny definovaným ročním průměrem teplot UHI (Urban Heat Island) a umožňují upozornit na místa, která jsou extrémně přehřívána. Data jsou generována za pomoci modelu UrbClim® vyvinutého společností VITO, kde jsou zpracovány proměnné jako je teplota vzduchu, rychlost větru, specifická či relativní vlhkost. Veřejnost, urbanisté a místní samosprávy tak mají šanci ve městech vytvářet strategie k ochlazení měst, a to nejen při realizaci nových staveb, ale i při opravách stávajících budov. Jako příklad funkčnosti aplikace jsem si vybrala Prahu v roce 2017 (obr.21), kde jsou viditelné teplotní rozdíly (Climate Copernicus UHI, ©2022). Praha, jako město samotné, je od roku 2015 součástí mezinárodní adaptační platformy Paktu starostů a primátorů pro klima a energetiku. V roce 2018 dala mezi obyvatele města ke zpracování dotazník týkající se klimatických změn (Badura et al., 2021).



obr. 21 - stav tepelného ostrova v Praze v roce 2017 (zdroj: Health UHI Prague winter 2017)

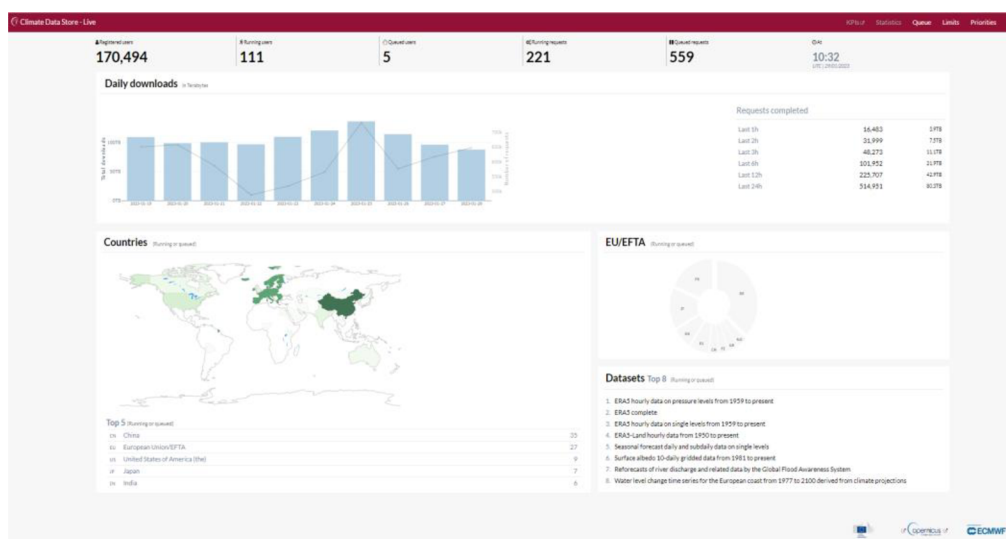
International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) je mezinárodní nevládní organizace podporující vědce a odborníky nejen v oblasti DPZ, ale i fotogrammetrii či práci s prostorovými daty (ISPRS, ©2022). Tým vědců z VITO na téma tepelné městské ostrovy zpracoval i studii a publikoval ji právě na ISPRS. Studie probíhala v belgickém městě Lutych a na základě údajů z oficiálního geoportálu regionu Valonsko, belgického statistického úřadu a využití modelů UHI z projektu SmartPop pod záštitou Earth Observation Belgium. Analýza probíhala za pomoci software ArcGIS Pro 2.6 a webové knihovny Orfeo ToolBox, což je softwarová knihovna pro zpracování snímků z družic pro pozorování Země. Účelem studie bylo zjištění případných míst pro snižování negativních vlivů na životní prostředí ve městě. Mapování probíhalo v oblastech výběru potenciálních míst pro sadbu, stromového pokrytí, včetně čerstvě osázených či k sadbě připravených ploch, travnatých i holých půdních ploch, úseky bez vegetace a tzv. vratné umělé půdy ve veřejném prostoru, k čemuž došlo vyloučením vegetace, vody a zástavby. Použita byla UHI simulace Lutychu v modelu UrbClim pro zjištění městských částí, které jsou nejvíce vystaveny UHI a výsadba by měla nejvyšší efekt pro zmírnění následků klimatických změn (Beaumont et al., 2022).

Výsledkem měření v oblasti možných sadebních míst bylo jejich kartografické zobrazení se všemi omezeními pro výsadbu. Zmapování stromoví ukázalo, že se nejedná o homogenní pokrytí a je důležité vědět, zda se jedná o prostor soukromý či veřejný. Zhodnocení travních a holých půd se potýkalo s geometrickými chybami, kdy bylo potřeba odlišit stíny budov a ztížené bylo i rozlišení krajinného pokryvu (stavěniště oproti orné půdě, písek). Po odstranění chyb bylo rozpoznáno, že těmito plochami je pokryto 25 % území města a z větší části patří soukromníkům. Reverzibilní nebo-li vratná půda činila 8,2 % zkoumané oblasti. Dále bylo zjištěno, že 388 km bezlesého prostoru je bez omezení. Tedy, že 1037 ulic s úsekem delším jak 50 m bylo identifikováno jako vhodné k osazení stromy a s nejvyšším kladným dopadem na prostředí. Hypoteticky by tedy šlo zasadit strom každých 9 metrů, včetně prostoru pro parkování. UHI poukázalo na výraznější rozdíly mezi teplotami na okrajích města vůči centrální části, které by měly být upřednostněny ve výsadbě. Celá studie poukázala na možnost metodického přístupu zpracování dat, které lze za využití přísných kritérií jednoduše automatizovat a ulehčit tak veřejné správě rozhodování v cílené udržitelné osadbě ploch pro zmírnění městských tepelných ostrovů (Beaumont et al., 2022).

Na stránkách [Climate.copernicus.eu](https://climate.copernicus.eu) je možné v části úložiště dat o klimatu, kromě aplikace na městské tepelné ostrovy, dohledat i další užitečné údaje a nástroje. Po

kliknutí na sekci se otevře nové webové okno (Climate Copernicus, ©2023). Z prohlížeče lze případně vkročit přímo na portál podpory ECMWF nebo rovnou vstoupit do části s daty na rozhraní API. Při vstupu do sady nástrojů s úložištěm dat se nabízí stažení grafů, map nebo nezpracovaných údajů pro programování v jazyku Python. Dále se lze přihlásit a zpracovávat data přímo v editoru. I tady je varianta programovat v API, a nebo lze využít jiné, v nabídce volně přístupné, aplikace (CDS Climate Copernicus, ©2023).

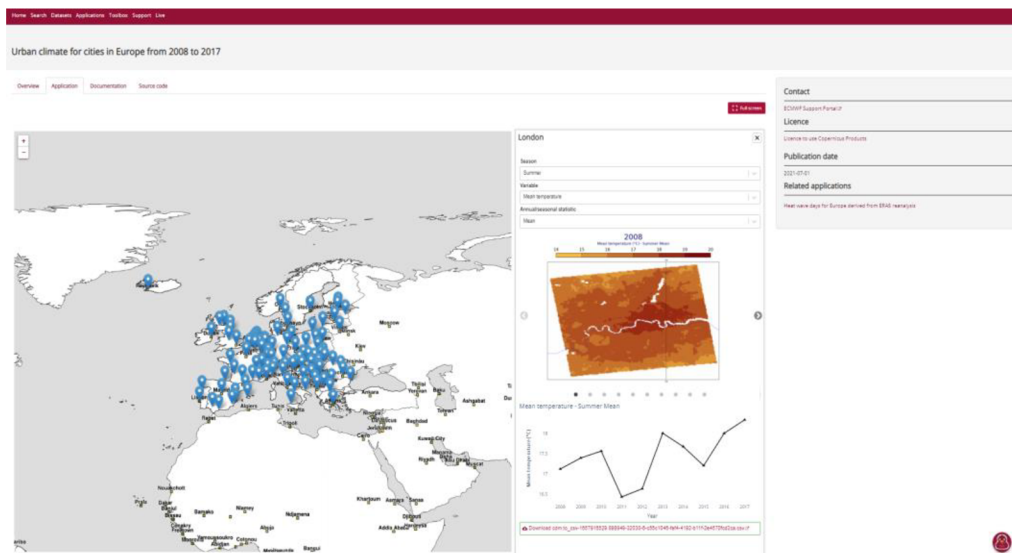
Po prvotní registraci se v horní liště webu zobrazí nabídka vyhledávání, datové sady, již vytvořené aplikace, sada nástrojů pro zpracování, podpora a sekce Live, kde jsou uvedeny statistiky o uživateli, o staženích a počet žádostí o data (obr. 22).



obr.22 - prohlížeč CDS climate copernicus live (zdroj: cds.climate.copernicus.eu/live/)

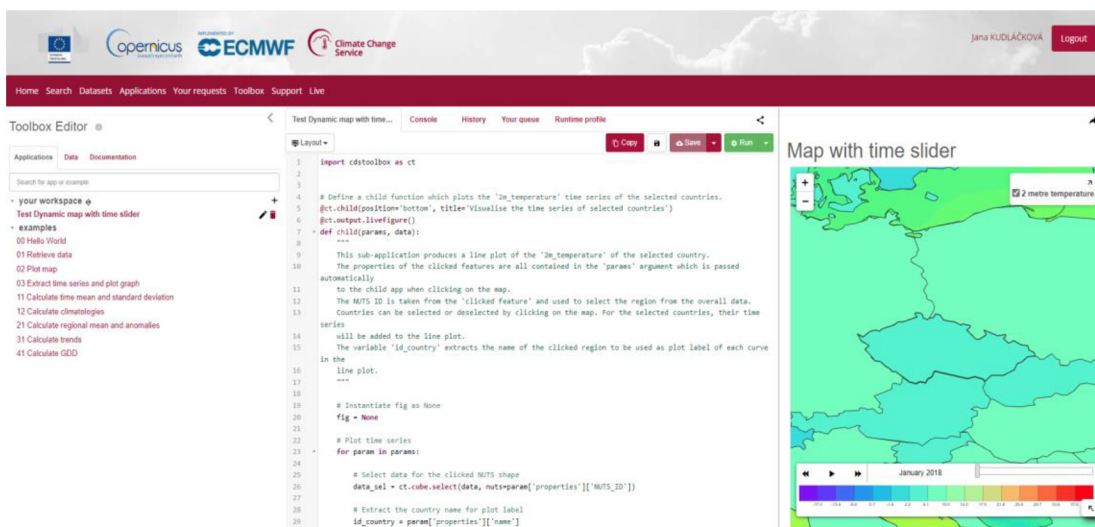
Nejjednodušší cesta k dohledání informací je vyhledávání. Zde se zobrazí kompletní nabídka aplikací, datasetů i poskytovatelů služeb. Volbou produktu, zemské sféry, geografického pokrytí, časového období, sledovaného odvětví či poskytovatele služby jsou dohledatelná bezplatně dostupná data. Data je možné stáhnout či je rovnou zobrazit v záložce aplikace, kde jsou informace ve vizualizované podobě (CDS Climate Copernicus, ©2023).

Jako příklad jsem si pro zobrazení vybrala aplikaci Klimatické změny evropských měst v letech 2008-2017. Prohlížeč umožňuje přiblížit zkoumané území, vybrat si letní či zimní sezónu, určit teplotu či vlhkost, případně rychlost větru a využít alternativu zobrazení statistik. Následně se lze pohybovat mezi jednotlivými roky (obr. 23).



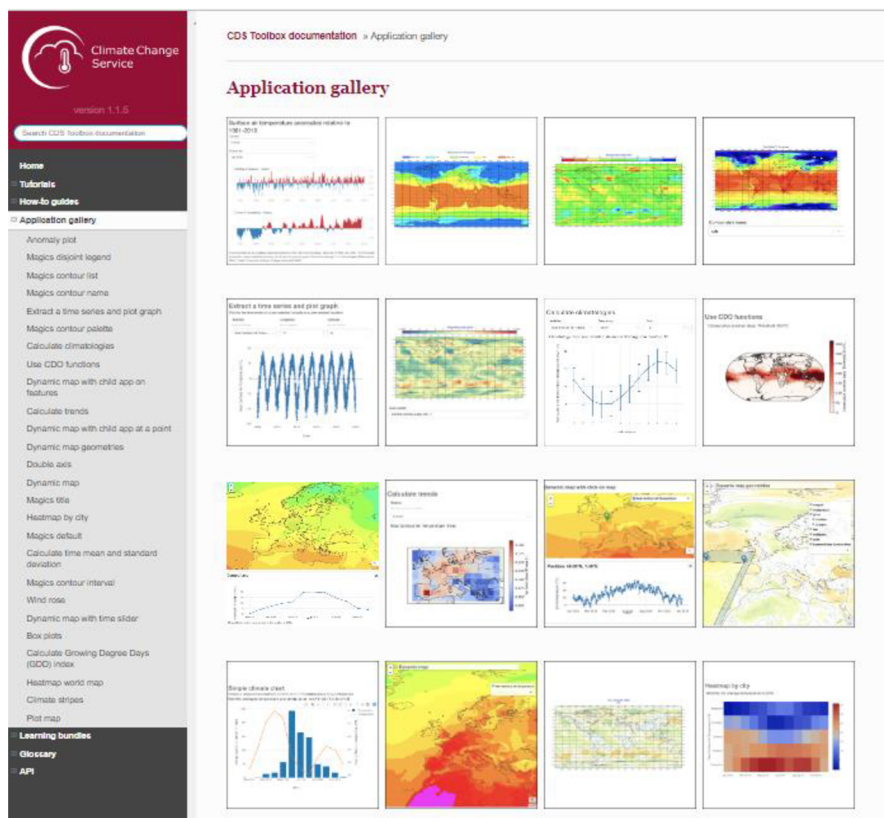
obr.23 - prohlížeč aplikace Urban climate pro evropská města v letech 2008 to 2017 (zdroj: cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-health-urban-climate?tab=app)

Druhou eventualitou pro zobrazení dat je být aktivním uživatelem a tvůrcem. Prvně je potřeba se zaregistrovat. Poté projít tutoriály a následně si v části Toolbox editor vytvořit svůj vlastní soubor a do něj vkládat potřebné údaje (obr. 24).



obr. 24 - prohlížeč Editoru Toolbox (zdroj: cds.climate.copernicus.eu/toolbox-editor/127330/test-dynamic-map-with-time-slider)

Začátečníci mohou použít předpřipravené varianty přímo v editoru nebo kopírovat různá zobrazení dat v galerii aplikací (obr. 25).



obr.25 – galerie aplikací v Toolbox (zdroj: cds.climate.copernicus.eu/toolbox/doc/gallery/index.html)

Editor následně nabízí údaje rovnou znázornit. Pro ověření možnosti úprav jsem zvolila v nabídce galerie aplikaci Dynamic map with time slider. Data jsou předpřipravena pro rok 2018. Ta jsem změnila na rok 2020, poupravila jsem zobrazení roku na výchozí, vložila popisky v českém jazyce a spustila reanalýzu. Aplikace zachycuje v reanalýze průměrnou teplotu ve vybraných dnech a měsících v daném roce. Animace po spuštění přechází plynule v barvy, dle toho, jak teplota stoupá či klesá. Při výběru státu se plocha vizuálně přiblíží a graficky zobrazí hodnoty průměrných teplot ve zvoleném roce (obr. 26).

The screenshot shows the Copernicus Toolbox Editor interface. The left sidebar contains a list of applications, with 'Test Dynamic map with time slider' selected. The main area displays a Python script for creating a dynamic map with a time slider. The script defines a function 'test_dynamic_map_with_time_slider' that uses 'cdo' and 'gdal' to process climate data. It includes logic for selecting data, calculating averages, and plotting a map and a time series plot for a selected country. The right side of the interface shows a preview of the map and a time series plot for Casova postupažnost, with a temperature scale from -10 to 10 degrees Celsius.

obr.26 - prohlížeč Editoru zobrazující hodnoty průměrných teplot v evropských městech v roce 2020 (zdroj: cds.climate.copernicus.eu/toolbox-editor/127330/test-dynamic-map-with-time-slider)

Další možností je i varianta informace vyhledat v datasetu, zkopírovat ve formátu Python, případně API, a vložit přímo do vlastní aplikace, kterou si uživatel vytvoří. Doba zobrazení je závislá na objemu získávaných informací. Tato funkce je však určena zkušeným programátorům a není vhodná pro laickou veřejnost.

5. Výsledky

Veškeré informace o programu Copernicus jsou dostupné a jsou přehledně koncipovány na webových stránkách programu. Služby programu jsou navzájem propojeny a navázány. Data, která program Copernicus nabízí na různých platformách, jsou plně využívána vědeckou komunitou, mezinárodními organizacemi, orgány státní správy, soukromým sektorem i veřejností. Využití dat slouží především v predikci ke zlepšení či zmírnění klimatických změn. Je tedy v zájmu EU, aby portfolio služeb bylo v budoucnu rozšiřováno.

Nevládní organizace jsou schopny vytvářet prostřednictvím dat programu Copernicus pomocné programy a webové aplikace pro udržitelnost vodních zdrojů, identifikaci jejich znečištění a na pomoc státům v jejich boji ve zmírnění dopadů klimatických změn. Mnohé programy byly vyvinuty s cílem monitorovat krajinný pokryv, včetně vodních ploch. Tyto nástroje jsou podporou různých národních programů, které naplňují směrnice a cíle Evropské unie. Satelitní data programu jsou základem algoritmů, které usnadňují práci na projektech neziskových i vládních organizací. Jsou pomocnou silou při vytváření webových rozhraní, která přispívají k pochopení současných změn v klimatu a jsou uživatelsky přívětivá.

Při zjišťování dostupnosti dat v oblasti environmentální politiky jsem vyzkoušela jaké možnosti může mít široká veřejnost při průzkumu informací ohledně klimatických změn. Nejjednodušší formou je přihlášení v cloudu CDS služby C3S, kde si uživatel vystačí i se základní znalostí angličtiny. Pohybovat se v základní nabídce je snadné. Pro laiky je výhodné zpracovat informace vyhledáním v přednastavených aplikacích. Webové rozhraní je uživatelsky přívětivé. Nabízí tutoriály, kde je možnost naučit se základům programovacího jazyku Python. Mírně pokročilý uživatel může v editoru zakládat vlastní soubory, kde kopíruje v jazyku Python údaje z vytvořených programů a v editoru je upravuje ručně. Zkušený programátor si v editoru vytváří aplikace sám za pomoci dat API, které CDS tool nabízí.

Úložiště v této formě napomáhá zpřístupnit informace novým uživatelům z různých odvětví včetně zemědělství, kde je silný potenciál pro sledování specifických proměnných (Buontempo et al., 2020). Důležitá je kvalita dat a aplikací, jejich přístupnost, srozumitelnost a celistvost. Je tedy samozřejmá uživatelská podpora pro registrované klienty (Buontempo et al., 2022).

6. Diskuze

Jak uvádí autoři Jutz a Milargo-Peréz ve svém článku „*Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*“, přístup k datům z družic Sentinel programu Copernicus se řídí politikou, která zajišťuje plný, bezplatný a otevřený přístup, čímž se snaží stimulovat navazující podnikání související s přidanou hodnotou v oblasti pozorování Země. Všechna tato data jsou globálně dostupná prostřednictvím datových uzlů spravovaných ESA, přičemž při současné konfiguraci je zaručeno nepřetržité doručování dat nejméně do roku 2035. Autoři textu se zaměřili i na příští družicové mise programu Copernicus. Mezi ně bylo zahrnuto sledování emisí skleníkových plynů, mikrovlnné zobrazování polárního ledu a oceánů, radiometrii a interferometrický výškopis, tepelné infračervené zobrazování, vlhkost půdy, deformace povrchu a hyperspektrální zobrazování půdy. To bylo důsledkem reakce vývoje programu Copernicus na podporu priorit politik EU, nových společenských výzev a potřeb (Jutz & Milagro-Pérez, 2018).

I kolektiv autorů v článku „*The Copernicus Atmosphere Monitoring Service: From Research to Operations*“ píše, že je nezbytný neustálý vývoj služeb a infrastruktury pro využití nových technologií, udržení nejvyšší kvality produktů a splnění zvyšujících se požadavků uživatelů. Autoři se zde zabývají portfoliem CAMS a předpokládají, že přírůstkem stávajících produktů bude služba založená na pozorování emisních znečišťujících látek a skleníkových plynů. Data budou získána technikami inverzního modelování a budou se tedy opírat o novou kapacitu satelitního pozorování a zvýšené úsilí v oblasti měření in situ a technik asimilace dat. Poskytnou tak komplexní a konzistentní obraz o skutečné úrovni emisí ve všech zemích (Peuch et al., 2022).

Veškeré služby programu Copernicus napomáhají ke zlepšení či zmírnění klimatických změn a podporují politiku EU. I v oblasti kvality vody dochází k využívání misí a zlepšení služeb družic Sentinel programu Copernicus. Sledovanými parametry jsou koncentrace chlorofylu-a, fytycyaninu, celkové suspendované hmoty, barevné rozpuštěné organické hmoty a povrchové teploty vody, přičemž pozornost je věnována analýze nákladů a přínosů. Základy pozorování Země, geografických informací a geomatiky mají zásadní význam pro rozvoj inovativních strategií pro přiměřenost odborných dovedností a budování kapacit, které podporují využívání složky Copernicus uživateli. Touto myšlenkou se zabývají autoři ve svém pojednání „*Copernicus Sentinel missions for water resources*“ o přehledu misí Sentinel programu souvisejících s využíváním dat družic v oblasti vodních zdrojů. Upozorňují

i na to, že hlavním účelem při dostupnosti dat a obrovském datovém archivu by měla být stimulace vědecké komunity a dalších zúčastněných stran v oblasti hospodaření s vodními zdroji a měla by vést k otevření dalších provozních aplikací (Gomasca et al., 2019).

Pole působnosti programu Copernicus při podpoře konceptů v oblasti klimatických změn je široké. Studie týkající se monitoringu městských oblastí „*Monitoring Urban Areas with Sentinel-2A Data: Application to the Update of the Copernicus High Resolution Layer Imperviousness Degree*“ demonstruje v praxi využití podpůrných aplikací. Autoři v úvodu uvádějí, že v souvislosti s globalizací a změnou klimatu se zrychluje proces urbanizace a v důsledku nárůstu nepropustnosti krajiny se zvyšuje možnost vážných problémů souvisejících s indikací rizik (např. sesuvy půdy, bleskové povodně aj.). Kolektiv vědců úspěšně svou metodikou poukázal na možnosti využití snímků Sentinel-2 pro snížení pochybností o stupni znečištění ovzduší při detekci městských oblastí (Lefebvre et al., 2016).

Studie „*A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring*“ z roku 2017 prověřovala relevantnost kombinace dat ze satelitů Landsat-8, Sentinel-2A a Sentinel-2B. Jedním z faktorů, který znehodnocuje data, byla oblačnost. V rámci diskuze vyplynulo, že analýza tento činitel nezohlednila. I přesto byla tímto výzkumem prokázána významná užitečnost kombinace dat pro využití různých vzorců ke zlepšení časové frekvence pozorování (Li & Roy, 2017).

Projekt vědeckého týmu z německého BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) s názvem „*COPERNICUS – PRACTICE OF DAILY LIFE IN A NATIONAL MAPPING AGENCY?*“ zkoumal službu pro monitorování půdy v programu Copernicus. Volně přístupná data v surové podobě jsou k dispozici prostřednictvím webového prohlížeče nebo API. To vyvolává potřebu a možnosti vývoje dalších aplikací. Dostupnost dat umožňuje spolehlivé plánování budoucích postupů. Je však potřeba vyšších požadavků na odborné znalosti, infrastrukturu i praktické aplikace (Wiatr et al., 2016).

7. Závěr

Program Copernicus má vysoký potenciál. V oblasti klimatických změn se jeví jako jeden z klíčových produktů nejen ve sféře reanalýz satelitních dat, ale i v predikci budoucích klimatických změn. Služby zahrnuté do programu veskrze podporují politiku EU a její směřování k vytyčeným cílům, pro něž byl program koncipován. Jde o významný počín Evropské unie, který má využití i mimo hranice EU. Slouží nejen k ochraně obyvatel a životního prostředí, ale směřuje i k udržitelnosti a rozvoji.

První část práce se zabývala programem Copernicus. Popsány byly základní informace o programu od jeho vzniku, po získávání dat, jejich dostupnosti, využití a rozdělení do služeb. Práce se dále zabývala jednotlivými organizacemi a popsala jejich zaměření, uplatnění a systémy, které jsou na ně napojeny. Informace byly čerpány převážně z webových stránek programu. Pro lepší orientaci v programu byly shlednuty on-line kurzy Copernicus MOOC (MOOC, © 2012–2019). Program Copernicus disponuje značným množstvím dat i vzhledem k tomu, že pod něj spadá několik portfolií na něž navazují další platformy a portály.

Praktická část práce se zaměřila na oblasti využití programu v orientaci na změny klimatu. Informace byly čerpány z vědeckých studií, blogových příspěvků, platforem mezinárodních organizací, i z webových aplikací a rozhraní samotných služeb programu. Služby jsou využívány vědeckou komunitou, státní správou a politikami jednotlivých členských států i celé Evropské unie. Různé organizace prostřednictvím služeb programu zpracovávají data prostřednictvím testovacího software a napomáhají tak zvyšovat celosvětově životní úroveň obyvatel.

Pro zjištění funkcí a rozsahu možností programu Copernicus bylo v práci otestováno několik aplikací a webových rozhraní. Uživatelsky přívětivé prostředí má značný potenciál v iniciativě zapojit širokou veřejnost skrze mobilní aplikace, které jsou už nyní funkční v rámci některých projektů EU. Vše jde za snahou rozšíření povědomí o programu samotném.

Mnohé aplikace a webová rozhraní programu Copernicus napomáhají v běžném životě, kdy společnosti využívají data např. k predikci počasí aj. Program by tedy jistě zasloužil větší osvětu nejen mezi laickou veřejností.

8. Seznam literatury

8.1 Odborné zdroje

ALDANA-MARTÍN, José F., et al. (2022). Semantic modelling of earth observation remote sensing. *Expert Systems with Applications*, 187: 115838. doi: 10.1016/j.eswa.2021.115838

APICELLA, Lorenza, et al. (2022). *Copernicus users uptake: an overview of downstream applications. In: Geomatics and Geospatial Technologies: 24th Italian Conference, ASITA 2021, Genoa, Italy, July 1-2, 9, 16, 23, 2021, Proceedings.* Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 3-14. doi:10.3390/ijgi11020121

BADURA, Tomas, et al. (2021). Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 215: 104215. doi: 10.1016/j.landurbplan.2021.104215

BEAUMONT, Benjamin, et al. (2022). *GREEN INFRASTRUCTURE PLANNING THROUGH EO AND GIS ANALYSIS: THE CANOPY PLAN OF LIÈGE, BELGIUM, TO MITIGATE ITS URBAN HEAT ISLAND.* ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 4. doi:10.5194/isprs-annals-V-4-2022-243-2022

BECKER-RESHEF, Inbal, et al. (2019). *The GEOGLAM crop monitor for AMIS: Assessing crop conditions in the context of global markets.* *Global Food Security*, 23: 173-181. doi: 10.1016/j.gfs.2019.04.010

BELL, Bill, et al. (2020). *Satellite observations in support of the Copernicus Climate Change Service. In: Space, Satellites, and Sustainability.* SPIE,. p. 23-32. doi:10.1117/12.2576497

BERETA, Konstantina, et al. (2019). The Copernicus App Lab project: Easy access to Copernicus data. In: EDBT. p. 501-511. doi: 10.1145/3184558.3186204

BLUE BOOK (2019). Legal deposit Mercator Ocean International, BLUE BOOK - Copernicus for a sustainable ocean, November 2019 ISBN: 978-2-9570294-0-2, dostupné z:
<https://e.issuu.com/embed.html?d=the_blue_book_web_v2&hideIssuuLogo=true&u=copernicusmarine_service>

BUONTEMPO, Carlo, et al. (2020). *Fostering the development of climate services through Copernicus Climate Change Service (C3S) for agriculture applications.* *Weather and Climate Extremes*, 27: 100226. doi:10.1016/j.wace.2019.100226

- BUONTEMPO, Carlo, et al. (2022). *The Copernicus Climate Change Service: Climate Science in Action*. Bulletin of the American Meteorological Society, 103.12: E2669-E2687. doi:10.1175/BAMS-D-21-0315.1
- Copernicus.eu, (2015). Copernicus Europe Eyes on Earth © European Union, 2015 ISBN 978-92-79-45666-4 doi:10.2873/93104
- FEDERICA, Ghilardi, et al. (2022). A simplified method for water depth mapping over crops during flood based on Copernicus and DTM open data. *Agricultural Water Management*, 2022, 269: 107642. doi: 10.1016/j.agwat.2022.107642
- GIULIANI, Gregory, et al. (2020). Knowledge generation using satellite earth observations to support sustainable development goals (SDG): A use case on Land degradation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, , 88: 102068. doi:10.1016/j.jag.2020.102068
- GOMARASCA, Mario Angelo, et al. (2019). *Copernicus Sentinel missions for water resources*. In: Proceedings of 6th International Conference on Space Science and Communication. Johor: Malaysia, 2019 (online) [cit. 28.02.2023], dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/338449489_Copernicus_Sentinel_missions_for_Water_Resources>
- GUO, Huadong, et al. (2020). *Manual of digital Earth* (p. 852). Springer Nature. doi: 10.1007/978-981-32-9915-3
- IGLSEDER, Anna, et al. (2023). *The potential of combining satellite and airborne remote sensing data for habitat classification and monitoring in forest landscapes*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117: 103131. doi:10.1016/j.jag.2022.103131
- JUTZ, Simon, MILAGRO-PÉREZ, Maria Pilar (2018). *Copernicus program*. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.10317-3
- JUTZ, Simon, MILAGRO-PÉREZ, Maria Pilar (2020). *Copernicus: the European Earth Observation programme*. *Revista de Teledetección*, 56: V-XI. doi:10.4995/raet.2020.14346
- LAGO, Manuel, et al. (2019). *Introducing the H2020 AQUACROSS project: knowledge, assessment, and management for AQUatic Biodiversity and Ecosystem Services aCROSS EU policies*. *Science of the Total Environment*, 2019, 652: 320-329. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.076
- LARKIN, Kate E., et al. (2022). *Connecting marine data to society*. In: *Ocean Science Data*. Elsevier, p. 283-317. doi: 10.1016/B978-0-12-823427-3.00003-7

- LE TRAON, Pierre Yves, et al. (2019). *From observation to information and users: The Copernicus marine service perspective*. *Frontiers in Marine Science*, 6. Doi: 10.3389/fmars.2019.00234
- LEFEBVRE, Antoine, et al. (2016). *Monitoring urban areas with Sentinel-2A data: Application to the update of the Copernicus high resolution layer imperviousness degree*. *Remote Sensing*, 8.7: 606. doi:10.3390/rs8070606
- LI, Jian, ROY, David P. (2017). *A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring*. *Remote Sensing*, 9.9: 902. doi:10.3390/rs9090902
- PAPADIMITRIOU, Angeliki, et al. (2019). *Space as an enabler in the maritime sector*. *Acta Astronautica*, 162: 197-206. doi:10.1016/j.actaastro.2019.06.017
- PEUCH, Vincent-Henri, et al. (2022). *The Copernicus Atmosphere Monitoring Service: From Research to Operations*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103.12: E2650-E2668. doi:10.1175/BAMS-D-21-0314.1
- RIEDLER, Barbara, et al. (2020). *Copernicus knowledge and innovation hubs*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43: 35-42. doi:10.5194/isprs-archives-XLIII-B5-2020-35-2020
- SIRMACEK, Beril, VINUESA, Ricardo (2022). *Remote sensing and AI for building climate adaptation applications*. *Results in Engineering*, 2022, 15: 100524. doi: 10.1016/j.rineng.2022.100524
- TROJANOVÁ, Kateřina (2019). *Využití satelitního programu Copernicus v prostředí městské samosprávy*. Diplomová práce. Masarykova universita, Brno, 95 s.
- TYLER, Andrew, et al. (2022). *Remote Sensing of Inland Water Quality*. doi: 10.1016/B978-0-12-819166-8.00213-9
- WIATR, Thomas, et al. (2016). *COPERNICUS – PRACTICE OF DAILY LIFE IN A NATIONAL MAPPING AGENCY?*, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B1, 1195–1199. doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B1-1195-2016

8.2 Legislativní zdroje

- EUR-Lex - 32007L0002. (2007). *Směrnice Evropského parlamentu a rady 2007/2/ES*, (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32007L0002>>

EUR-Lex - 32008L0056. (2008). *Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/56/ES*, (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32008L0056>>

EUR-Lex - 32014R0377. (2014). *Nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) č. 377/2014*, (online) [cit. 05.03.2023], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/377/oj>>

EUR-Lex. (2017). *Diskusní dokument o budoucnosti financí EU*, (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:52017DC0358&from=FI>>

EUR-Lex - 32021R0696. (2021). *Nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) 2021/696*, (online) [cit. 05.03.2023], dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/696/oj>>

8.3 Ostatní zdroje

Atmosphere | Copernicus, ©2022: *Homepage | Copernicus* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z <<https://atmosphere.copernicus.eu/>>

CDS Climate Copernicus, ©2023: *Copernicus Climate Data Store | Copernicus Climate Data Store* (online) [cit. 27.01.2023], dostupné z: <<https://cds.climate.copernicus.eu/%23!/home>>

CENIA.cz, ©2022: *Národní sekretariát GEO/Copernicus* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://www.cenia.cz/mezinarodni-spoluprace/narodni-sekretariat-copernicus/>>

Climate Copernicus UHI, ©2022: *Demonstrating heat stress in European cities | Copernicus. Homepage | Copernicus* (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://climate.copernicus.eu/demonstrating-heat-stress-european-cities>>

Climate Copernicus, ©2023: *Homepage | Copernicus. Homepage | Copernicus* (online) [cit. 27.01.2023], dostupné z: <<https://climate.copernicus.eu/>>

CMEMS | Copernicus, ©2022: *Home | CMEMS* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z <<https://marine.copernicus.eu/>>

Copernicus - UNESCO, ©2022: *Redirecting to https://www.copernicus.eu/en* (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2021-03/UNESCO.pdf>>

Copernicus CR, ©2022: *Front Page - Copernicus CR* [online]. Copyright © 2022 Copernicus CR (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://copernicus.gov.cz/>>

Copernicus Global Land Service, ©2022: *Copernicus Land Monitoring Service* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://land.copernicus.eu/global/>>

Copernicus In Situ Component, ©2022: *State of Play: Understanding In Situ Data*. (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://insitu.copernicus.eu/state-of-play/understanding-in-situ-data>>

Copernicus SEA, ©2022: *Copernicus SEA – Copernicus in Support to EU External Action service* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://sea.security.copernicus.eu/>>

Copernicus.eu, ©2022: *Copernicus.eu/en* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Interim_Evaluation_of_the_GMES_Preparatory_Action.pdf>

Copernicus-masters, ©2022: Copyright © AZO *Anwendungszentrum Oberpfaffenhofen GmbH* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://copernicus-masters.com/data-access/>>

COSMO-SkyMed - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://earth.esa.int/eogateway/missions/cosmo-skymed?text=COSMO-SkyMed>>

CryoSat - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://earth.esa.int/eogateway/missions/cryosat>>

CSCDA, ©2022: *Home - CSCDA (Copernicus Space Component Data Access)* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://spacedata.copernicus.eu/>>

DMC First Generation - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://earth.esa.int/eogateway/missions/dmc?text=%28DMC%29>>

Earth Observations, ©2022: *Climate. Access forbidden!* (online), [cit. 13.06.2022]. Dostupné z: <<https://www.earthobservations.org/climate.php>>

ECMWF, ©2022: *ECMWF | Advancing global NWP through international* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z <<https://www.ecmwf.int/>>

EEA – GISC, (2016). *European Environment Agency - GISC* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://www.eea.europa.eu/about-us/what/seis-initiatives/gisc>>

EEA – SOER 2020, ©2022: State of the environment report 2020 (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://www.eea.europa.eu/soer/2020>>

EMS, © 2022: *Copernicus Emergency Management Service - EU Civil Protection and Humanitarian Aid* (online) [cit. 13.06 2022], dostupné z: <<https://emergency.copernicus.eu/>>

EMSA, ©2022: *Home - EMSA - European Maritime Safety Agency* (online) [cit. 13.06 2022], dostupné z: <<https://www.emsa.europa.eu/we-do/digitalisation/ship-inspection-support.html>>

ESA - Copernicus 2021, (2014). *European Space Agency - Copernicus operations secured until 2021* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_operations_secured_until_2021>

ESA – Envisat, (2012). *European Space Agency - Envisat services interrupted* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Envisat/Envisat_services_interrupted>

ESA - Sentinels, ©2022: *European Space Agency* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinels>

EUMETCast, ©2022: *EUMETCast - Confluence* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://eumetsatspace.atlassian.net/wiki/spaces/DSEC/overview>>

FRONTEX, ©2022: FRONTEX (online) [cit. 13.06 2022], dostupné z: <<https://frontex.europa.eu/>>

GOSAT Series - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://earth.esa.int/eogateway/missions/gos-1?text=GOSAT>>

ISPRS, ©2022: *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (online) [cit. 19.11.2022]. Dostupné z: <<https://www.isprs.org/>>

Land | Copernicus, ©2022: *Redirecting to https://www.copernicus.eu/en* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/land>>

Landsat Series - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <<https://earth.esa.int/eogateway/missions/landsat?text=Landsat>>

LCCS, ©2022: *Land Cover Classification System - Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations. 301 Moved Permanently* (online),

[cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1036361/>

Meteosat Second Generation - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/meteosat-second-generation?text=MSG>

MetOp - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/metop?text=MetOP>

Missions - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions>

MOOC, © 2012–2019: *Courses*, <http://mooc.org/> (12. 3. 2019 Copernicus mooc | Copernicus. Redirecting to <https://www.copernicus.eu/en> [online], dostupné z: <https://www.copernicus.eu/en/opportunities/education/copernicus-mooc>

MŽP, (2008). *Ministerstvo životního prostředí - Program Copernicus (dříve GMES)* (online) [cit. 05.03.2023]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/program_copernicus

Pleiades – Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/pleiades?text=pleiades>.

RADARSAT - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat?text=Radarsat-2>

Research and User Support, ©2022: *Research and User Support* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://rus-copernicus.eu/portal/>

Sentinel Online - ESA, ©2022: Sentinel Online (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>

SMOS - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/smos>

SPOT - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/spot?text=SPOT>

TerraSAR-X and TanDEM-X - Earth Online, ©2022: EARTH ESA INT (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/terrasar-x-and-tandem-x?text=TerraSAR-X>

UN-SPIDER OSN, (2018). *UN-SPIDER Knowledge Portal - Copernicus launches DIAS services during 20th anniversary celebrations.* (online) [cit. 13.06.2022], dostupné z: <https://www.un-spider.org/news-and-events/news/copernicus-launches-dias-services-during-20th-anniversary-celebrations>

VITO.be – Artificial Intelligence, ©2022: *Habitat mapping with AI to preserve Europe's natural capital*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/habitat-mapping-ai>>

VITO.be – Drones, ©2022: *Drones and dredging! Is there a match?* (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/drones-and-dredging>>

VITO.be – Effluent to the rescue, ©2022: *Effluent to the rescue?* (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/effluent-to-the-rescue>>

VITO.be – GlobDiversity, ©2022: *Large scale mapping for biodiversity monitoring*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/globdiversity>>

VITO.be - iCOR, ©2022: *iCOR, atmospheric image correction made accessible*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <https://blog.vito.be/remotesensing/icor_available>

VITO.be – MapEO water, ©2022: *mapEO water | VITO Remote Sensing*. Homepage | VITO Remote Sensing [online], dostupné z: <<https://remotesensing.vito.be/case/mapeo-water>>

VITO.be – Monocle, ©2022: *Monitoring water quality in your backyard*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/monitoring-water-quality-in-your-backyard?hsLang=en-gb>>

VITO.be – PROBA-V, ©2022: *A vegetation satellite for coastal turbidity monitoring?* (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/global-vegetation-data-for-coastal-turbidity-monitoring>>

VITO.be – Sentinel-2, ©2022: *Sentinel-2 to support dredging activities*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/sentinel-2-for-dredging>>

VITO.be - waters, ©2022: *Keeping an 'eye' on our European waters*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/an-eye-on-european-waters>>

VITO.be – WorldCover map, ©2022: *Release of the 10 m WorldCover map*. (online) [cit. 27.01.2023], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/release-of-the-10-m-worldcover-map>>

VITO.be – WorldCover, ©2022: *Release of the 10 m WorldCover map*. (online) [cit. 27.10.2022], dostupné z: <<https://blog.vito.be/remotesensing/worldcover2021>>

WorldCover2021, ©2022: *Viewer esa worldcover.org* (online) [cit. 27.01.2023],
dostupné z: <https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/?language=en&bbox=-39.90071998421799,32.63557211159056,71.54570196098715,67.38070595866947&overlay=false&bgLayer=MapBox_Satellite&date=2022-11-18&layer=WORLDCOVER_2021_MAP>