

LESNÍ VEGETACE

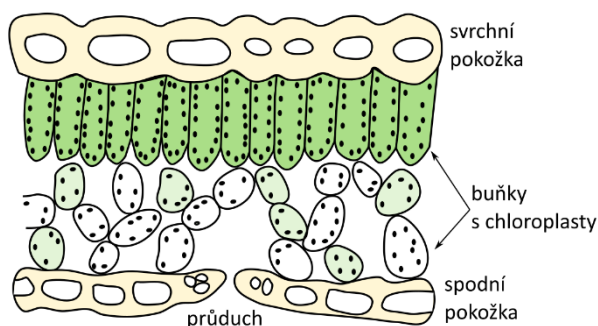
- ☐ Víte, proč jsou listy stromů zelené a proč na podzim mění svou barvu?
- ☐ Jak rozeznáváme vegetaci na satelitních snímcích?
- ☐ Jak můžeme z vesmíru poznat zdravotní stav vegetace?

Jednou ze základních oblastí využití dálkového průzkumu Země (DPZ) je mapování vegetace – její rozšíření a prostorové uspořádání na zemském povrchu, odhad a hodnocení jejích změn v čase. Mapování vegetace pomocí metod DPZ umožňuje nejen kvalitativní hodnocení, ale i kvantitativní hodnocení stavu vegetace, a tím podává více reálné informace.

Proč je vegetace zelená?

V průběhu jara a léta kořeny rostlin absorbují vodu a živiny z půdy a transportují je do jiných částí rostliny včetně pupenů, výhonků nebo listů. Pokud má strom dostatečný přísun vody a slunečního světla, listy vytváří zelený pigment – chlorofyl, který zachycuje světelnou energii a fotosyntetizuje.

Fotosyntéza je složitý biochemický proces, při kterém se mění přijatá energie světelného záření na energii chemických vazeb. Jednoduché anorganické látky se díky této chemické reakci přemění na sloučeniny sacharidy. Fotosyntéza probíhá v zelených částech rostlin – převážně v listech – v chloroplastech (viz obr. 1). Fotosyntézu vyjadřujeme rovnicí



Obr. 1: řez listem, upraveno dle:
Encyclopedia Britannica.



K zahájení fotosyntézy je potřeba světelná energie, oxid uhličitý a voda. Voda a minerální látky jsou získávány z podzemní vody pomocí kořenů rostliny. Oxid uhličitý listy získávají pomocí miniaturních průduchů umístěných nejčastěji na spodní straně (viz obr. 1). Fotosyntéza probíhá ve dvou fázích. Ve světelné fázi barevné pigmenty pohlcují světlo, ze kterého získávají energii pro další děje. Dochází k rozkladu vody a uvolnění kyslíku. V temnostní fázi využívají energii k zabudování oxidu uhličitého do molekul cukrů, které pak mohou sloužit jako stavební složky pro tvorbu složitějších molekul.

Zelená barva jarních a letních listů je způsobena chlorofylem. Díky chlorofylu je nejvíce slunečního záření ve viditelné části spektra odráženo v zelené části spektra. V červené a modré části dochází k absorpci záření chlorofylem.

Jak se mění barvy listů na podzim?

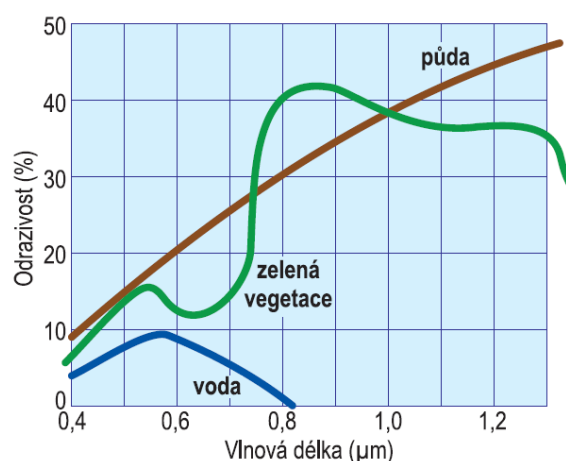
S postupujícím podzimem se zkracuje počet hodin slunečního svitu a snižuje se teplota. Stromy cítí ztrátu světla díky chemickým světelným receptorům. Na změnu reagují tím, že se začnou chystat na dormanci (stav pozastaveného růstu a metabolismu). U listnatých stromů je nejviditelnějším projevem

této změny zbarvení listů a jejich opad. S poklesem denního světla stromy zpomalují produkci chlorofylu, až ji úplně zastaví. S tím, jak zelený pigment odchází z listu se začnou objevovat další barvy, které byly dosud chlorofylem maskovány.

Jak na snímku identifikovat vegetaci?

Pro zdravou vegetaci je charakteristická vysoká odrazivost ve vlnových délkách infračerveného pásma. Této vlastnosti se v obecné rovině hojně využívá, jelikož jakákoliv změna v této části elektromagnetického spektra ukazuje na změnu fyziologického stavu vegetace. Vysoký informační potenciál družicových dat lze doložit barevnou syntézou jejich jednotlivých spektrálních pásem. Pokud za některou složku RGB kompozitu dosadíme snímek pořízený mimo viditelnou část spektra, dostaneme snímek v tzv. nepravých barvách, který nám pomůže odhalit jevy, které nejsou běžně vidět lidským okem, které vidí pouze ve viditelné části spektra (tedy tzv. v pravých barvách).

Pokud se podíváme na spektrální křivku odrazivosti vegetace (obr. 2), jistě si všimneme rozdílu v odrazivosti v červené a infračervené části spektra (NIR). Zdravá a hustá vegetace má vysokou odrazivost v blízké infračervené oblasti, ale relativně malou odrazivost v červeném pásmu (viz obr. 3).

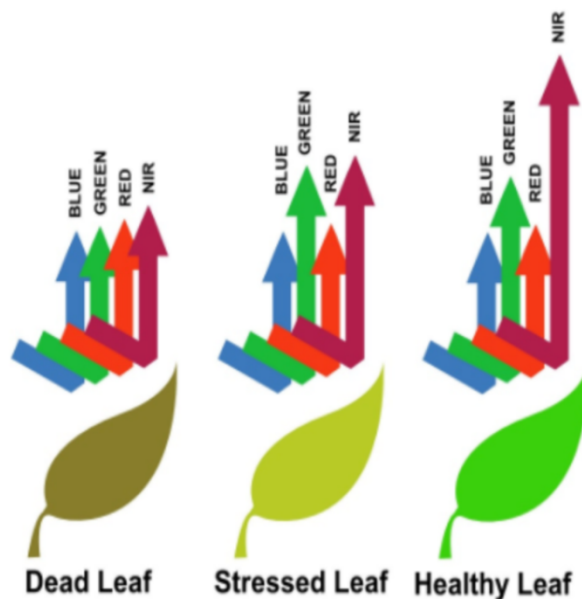


Obr. X: Spektrální chování vody, půdy a vegetace. Zdroj: Natural Resources Canada: Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing.

Vegetační indexy, co to je a k čemu jsou dobré?

Poměru odrazivosti záření ve viditelné části spektra a infračervené části spektra využívají tzv. vegetační indexy. Pomocí vegetačních indexů lze z informací, které jsou obsaženy v multispektrálním obrazu, získat jedinou hodnotu vypovídající o přítomnosti či stavu vegetace. Jedním z vegetačních indexů je *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*, také normovaný rozdílový vegetační index). NDVI vypočteme pomocí následujícího vzorce

$$NDVI = \frac{\text{hodnota odrazivosti v pásmu NIR} - \text{hodnota odrazivosti v červeném pásmu}}{\text{hodnota odrazivost v pásmu NIR} + \text{hodnota odrazivosti v červeném pásmu}}$$



Obr. 3: Změna v odrazivosti v jednotlivých pásmech na základě zdravotního stavu vegetace. Zdroj: <https://www.voxcafe.cz/mindblog/clanky/drony/vyuziti-ndvi.html>.

Výpočtem získáme pro každý pixel obrazu hodnotu, která se pohybuje v intervalu od -1 do 1. Výsledná hodnota indexu nám může odhalit jaký druh povrchu se na daném místě nachází. Uvádí se určité typické hodnoty NDVI pro jednotlivé povrchy:

hodnota NDVI	typ povrchu
0,500 a vyšší	velmi hustá vegetace
0,140	středně hustá vegetace
0,090	řidká vegetace
0,025	holá půda
0,002	oblačnost
0 a nižší	sníh, led, voda

Vysoké hodnoty představují plochy s velmi hustou vegetací, nižší hodnoty detekují vegetaci řídkou. Hodnoty blízké nule či záporné hodnoty určují oblasti bez vegetace či se sněhem a vodou. Pro zdravé lesní porosty jsou typické vyšší kladné hodnoty, pokud se zdravotní stav horší či se objem biomasy v území snižuje, hodnoty indexu klesají.

Vegetačních i jiných indexů existuje hned několik a jejich výpočty jsou méně (rozdíl dvou pásem) či více složité (vzniklé kombinací vícera spektrálních pásem). Společně se zmíněným NDVI se často používá například *NDMI* (*Normalized difference moisture index*) neboli normalizovaný diferenční vlhkostní index. Tento index je citlivý k obsahu vody uvnitř listů vegetace. Na jeho základě můžeme získat informaci o vodním stresu dané vegetace. Index využívá dvou pásem infračervené části spektra (krátkovlnné – kde voda pohlcuje záření; blízké – kde je vysoká odrazivost buněčné struktury). *NDMI* nabývá pozitivních hodnot pro zdravou zelenou vegetaci a negativních hodnot pro suchou vegetaci.

Příklady dalších vegetačních indexů:

EVI, NDMI, SAVI, TVI, ...

Co tyto zkratky znamenají a mnohé další indexy si můžete dohledat například na:

<https://www.indexdatabase.de/>

Kůrovcová kalamita v Česku

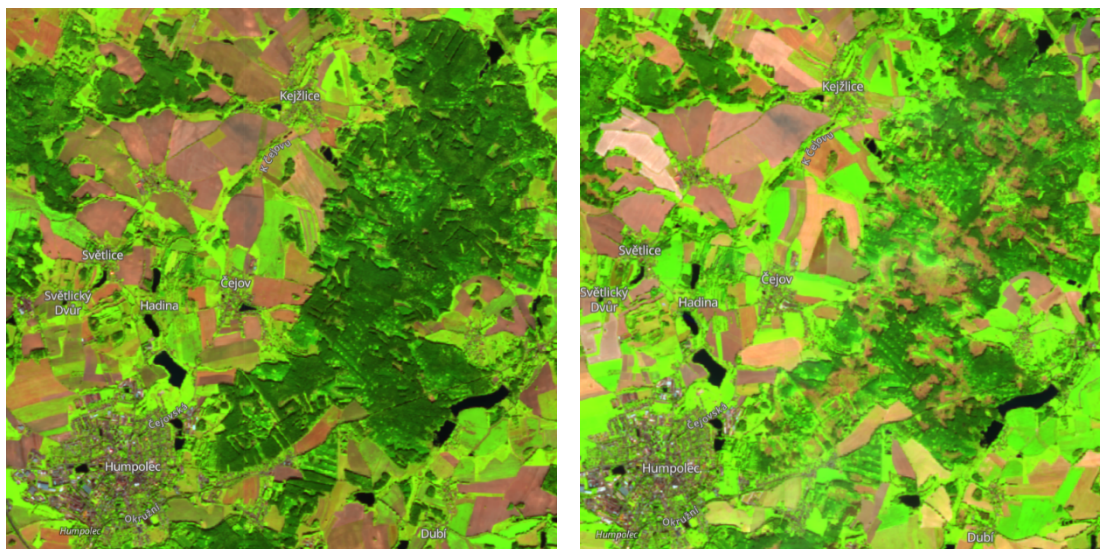
České lesy v posledních letech zasáhla kůrovcová kalamita. Smrkové monokultury oslabené obdobím sucha se staly snadnou kořistí pro brouka, který proměnil rozsáhlé porosty na Vysočině nebo v Jeseníkách v holiny. Kůrovec je brouk, který se vyvíjí v lýku pod kůrou napadených stromů. Žírem kůrovců v lýku vzniká typický požerek (viz obr. 4). V případě napadení stromů kůrovci je potřeba zasažené stromy ihned vytěžit. Na smrku jsou nejnebezpečnější lýkožrout smrkový (viz obr. 4), lýkožrout severský a lýkožrout lesklý. Jarní rojení lýkožrouta probíhá v dubnu a květnu, letní rojení pak od začátku července až do srpna. Pokud nastane příhodné počasí může dojít ke třetímu rojení na konci srpna či v září. Na stojících stromech je prvním symptomem přítomnost drtinek na patě kmene. Na kmeni se objevují závrtky s výrony pryskyřice, dále dochází k barevným změnám jehličí, které postupně rezne a opadává. Také dochází k opadávání kůry, k tomu nejčastěji dochází v momentě, kdy brouci kmen stromu opouštějí.



Obr. 4: Lýkožrout smrkový a požerek v lýku způsobený žírem kůrovců, zdroj: http://www.silvarium.cz/images/letaky-los/2018/2018_kurovci_symptomy_napadeni_ku

V letech 2016–2020 přišla Vysočina o pětinu plochy svých jehličnanů. Naprostá většina těžby souvisela s kůrovcovou kalamitou. Šíření kůrovce zintenzivňují časté a dlouhotrvající epizody sucha. Vliv má také změna klimatu, především nárůst teploty. Abnormálně teplé a suché léto umožňuje kůrovci četnější rojení, někdy až třikrát za sezonu. Velkým problémem je také druhové složení lesa.

Vlastnosti multispektrálních dat lze velmi dobře využít v mapování vegetačního pokryvu na příkladu kůrovcové kalamity. Družicové snímky umožňují nejen detekovat zvyšující se rozsah odlesnění, ale i určit zdravotní stav vegetace v jednotlivých fázích kalamity (intenzitu napadení a míru obnovy vegetace). Vysoký informační potenciál družicových dat lze doložit barevnou syntézou v nepravých barvách na obr. 5, zobrazující okolí Humpolce. Na snímcích je vidět razantní zvýšení rozsahu poškozených lesů vlivem kůrovcové kalamity v období 2017–2021. V tomto obrázku bylo místo červené složky kompozitu vloženo spektrální pásmo z krátkovlnné infračervené části elektromagnetického spektra pořízené družicí Sentinel-2 a místo zelené složky pásmo blízké infračervené a dále místo modré části spektra pásmo z červené části spektra. Výsledkem je, že na snímku z roku 2017 vidíme hustou lesní vegetaci jako tmavě zelené plochy. Naopak na snímku z roku 2021 je jasně viditelná změna, kdy výrazná část lesů byla vytěžena (žluto-hnědá barva). Tmavě zelených ploch na novějším snímku nalezneme mnohem méně a namísto nich můžeme vidět hnědé plochy, které značí místa bez lesní vegetace.



Obr. 5: Okolí Humpolce na Vysočině na satelitním snímku Sentinel-2 ze září roku 2017 (vlevo) a roku 2021 (vpravo). Snímek je zobrazen v nepravých barvách s využitím spektrálních pásem ve střední infračervené, blízké infračervené a červené části spektra, zdroj: Sentinel Hub EO Browser.

Pracovní list – kůrovcová kalamita v Jeseníkách

1. Vyhledejte satelitní snímek dat Sentinel-2 obce Zlaté Hory v Jeseníkách a jejího okolí z roku 2017 (snímek by měl zahrnovat i obce Horní Údolí, Dolní Údolí a Petrovice). Snímek volte z vegetačního období (červen až září). Dejte pozor na pokrytí snímků (zájmové oblasti) oblačností, pokuste se vybrat co nejméně oblačné období.
2. Vytvořte vlastní RGB kompozit (funkcí *Custom*) v nepravých barvách pomocí barevné syntézy s využitím krátkovlnného infračerveného (složka R), blízkého infračerveného (složka G) a červeného pásma (složka B). Jakou barvou jsou znázorněné na snímku lesy a jakou holá půda? Snímek v nepravých barvách přidejte k porovnání do záložky *Compare*.
3. Zobrazte si index NDVI pro zájmové území. Popište, jakých hodnot dosahuje index NDVI v okolí obce Zlaté Hory (pro interpretaci využijte legendy v kartě výběru vrstvy indexu). Jakých hodnot dosahují zalesněné plochy? Index NDVI vypočtený pro daný snímek si opět přidejte k porovnání.
4. Nyní nalezněte snímek stejného území, ale z roku 2021. Snímek by měl být ze stejného období v roce, abychom jej mohli porovnávat s předchozím snímkem.
Nejprve si snímek zobrazte nepravých barvách stejně jako ten z roku 2017 a přidejte jej k porovnání. Následně si zobrazte index NDVI pro snímek z roku 2021 a opět jej přidejte k porovnání.
5. V záložce *Compare* si zobrazte porovnávané snímky a pomocí možností *split* a *opacity* zhodnoťte k jakým změnám v průběhu let došlo. Co znamená pokles hodnot NDVI v určitých místech zájmového území?
6. Na snímku z roku 2021 si vyberte místo s lesním povrchem, kde proběhla kalamita. Nyní si zobrazte křivku vývoje hodnoty NDVI v čase. Nyní stejný proces proveďte pro místo lesního povrchu bez kalamitního stavu. Napište, jak se vývoj kalamit v obou lokalitách lišil (pro uložení grafů lze využít ve Windows aplikace výstřižky či printscreen obrazovky nebo lze uložit data tlačítkem *Export CSV* do formátu .csv a následně tato data nainportovat do programu Excel).

LESNÍ VEGETACE – METODICKÝ MATERIÁL PRO UČITELE

Mapování a monitoring lesní vegetace je neodmyslitelně spjata s DPZ, které umožňuje analyzovat změny krajiny, množství vegetace, druhového složení vegetace nebo jejího zdraví. Analýzy lze provádět pro rozsáhlá území i delší časová období desítek let. Na příkladu kůrovcové kalamity, která v posledních letech postihla významnou část českých lesů jsou demonstrovány způsoby mapování vegetace s využitím satelitních snímků. V DPZ se ovšem můžeme zabývat nejenom lesy, ale například i městskou vegetací a její proměnou či zemědělsky obdělávanými plochami.

tematický celek	DPZ, krajinná sféra, biomy
Cíle	Žák vyjmenuje možnosti monitorování vegetace pomocí dat DPZ. Žák rozpozná změny krajinného pokryvu na základě leteckých a satelitních snímků. Žák dokáže interpretovat satelitní snímky, rozpoznat využití krajiny na satelitním snímku pomocí barevných syntéz a porovnat dva snímky. Žák ovládá aplikaci Sentinel Hub EO Browser, dokáže vyhledat, analyzovat a interpretovat změny lesních povrchů ze satelitních snímků.
Vstupní požadavky na žáky	Základní povědomí o fyzikálních principech DPZ.
Časová dotace	2–3 vyučovací hodiny

Očekávané výstupy úkolů a klíč správných odpovědí:

1)

Cílem tohoto úkolu je nalézt vhodné snímky, se kterými budou studenti dále pracovat. Jak vyhledat, vybrat a vizualizovat snímek je popsáno v úvodním návodu na Sentinel Hub EO Browser.

2)

Cílem tohoto úkolu je vhodně vizualizovat vybraný snímek tak, abychom byli schopni rozlišit jednotlivé pokryvy zemského povrchu, v tomto případě především lesní vegetace a ostatní povrchy. Je potřeba aby si studenti uvědomili, jak je lesní vegetace na snímku znázorněna.

3)

V tomto úkolu si studenti zobrazí index NDVI. Je potřeba aby si také zobrazili legendu a na jejím základě na snímku identifikovali lesní a nelesní vegetaci.

4)

Stejně jako u prvního úkolu si studenti vyhledají vhodný snímek. Je důležité, aby byl snímek ze stejného období v roce (ideálně například ze stejného měsíce), tak aby se dali oba snímky porovnávat. Studenti si vybraný snímek nejprve vizualizují v podobě barevné syntézy jako u druhého úkolu a následně si zobrazí i index NDVI jako u třetího úkolu.

5)

V tomto kroku je výsledkem získat v záložce Compare celkem 4 obrázky: RGB kompozit v nepravých barvách z roku 2017, NDVI z roku 2017, RGB kompozit v nepravých barvách z roku 2021, NDVI z roku 2021.

Úkolem je tyto dva roky porovnat z hlediska rozlohy lesního porostu na zájmovém území.

6)

Cílem tohoto úkolu je zhodnotit vývoj NDVI v průběhu delšího časového období. Student by měl být schopen zobrazit graf NDVI pro dané místo a určit trend vývoje tohoto indexu ať už v průběhu krátkého (např. jeden rok) i delšího časového období.

Student by měl být schopen interpretovat změny v NDVI a odlišit sezónní změny od dlouhodobých.

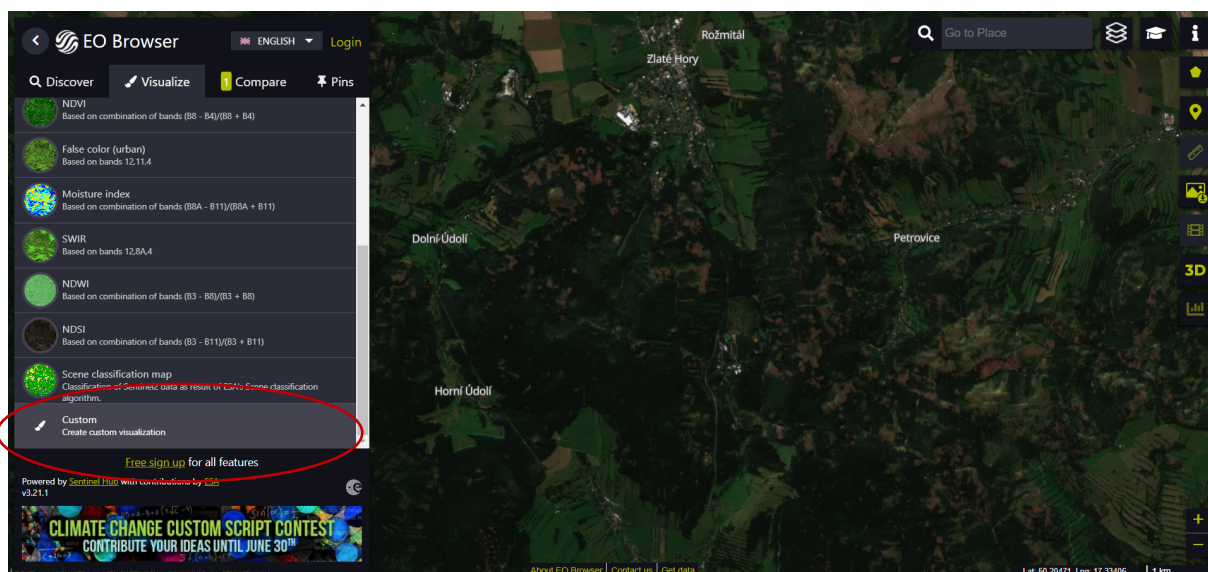
V tomto úkolu velmi záleží, jaké konkrétní místo si student zvolí a odpovědi studentů mohou být velmi odlišné.

Úkol můžete modifikovat a zvolit jedno místo a zadat jej například podle zeměpisných souřadnic.

Návod

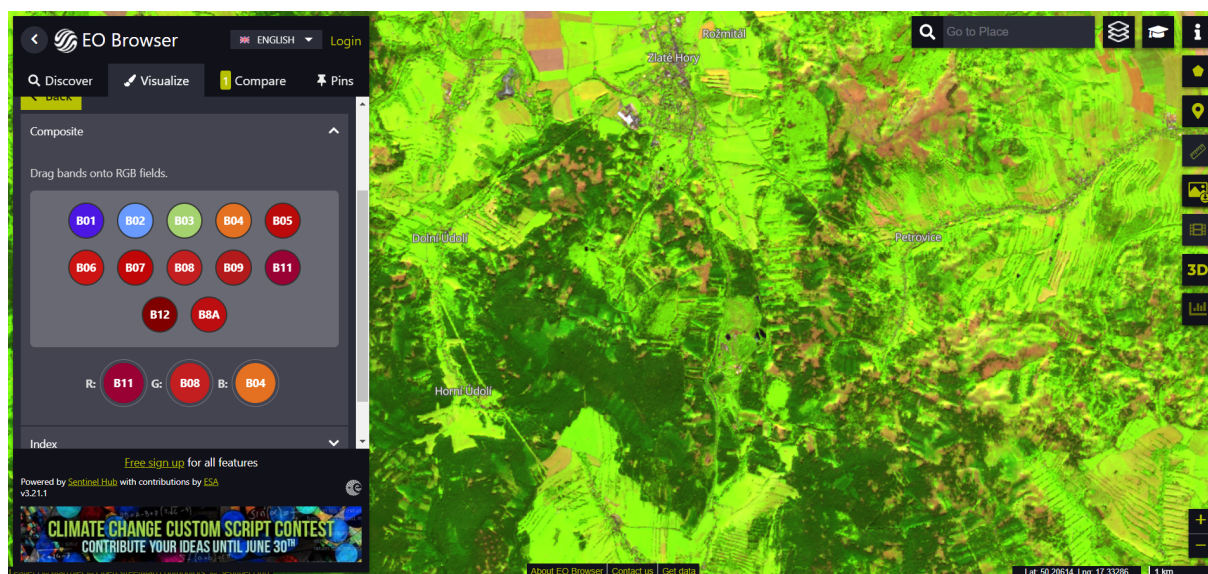
Jako první si vyhledáme snímek Sentinel-2 pro území okolí obce Zlaté Hory v Jeseníkách z roku 2017. Hledáme snímek z období od června do září a ideálně s co nejméně oblačností pokrývající zájmové území.

Snímek si zobrazíme pomocí barevného kompozitu RGB, který si sami nastavíme pomocí poslední možnosti: *Custom* (viz obr. 6).



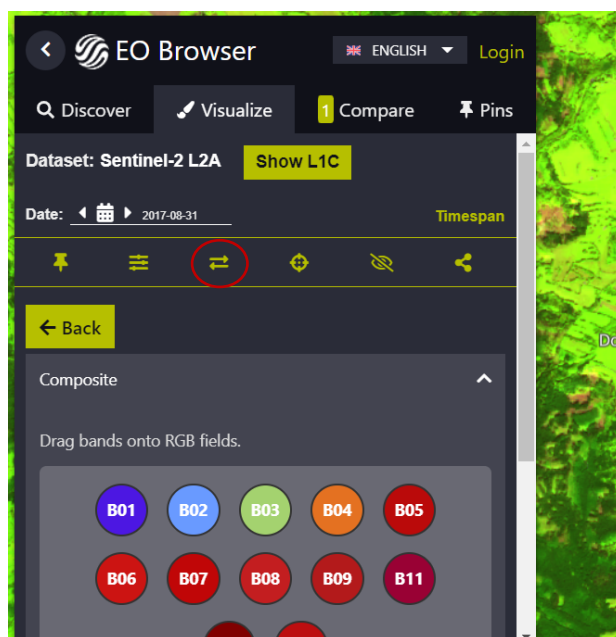
Obr. 6: Okolí obce Zlaté Hory na snímku Sentinel-2 a výběr možnosti Custom.

V nabídce *Composite* si sami vkládáme jednotlivá spektrální pásma dat Sentinel-2 do kompozitu RGB. Popis dat Sentinel-2 a jednotlivých pásem najdete například na webu Sentinel Hub v záložce *Explore > Data > Public Collections Catalogue*.



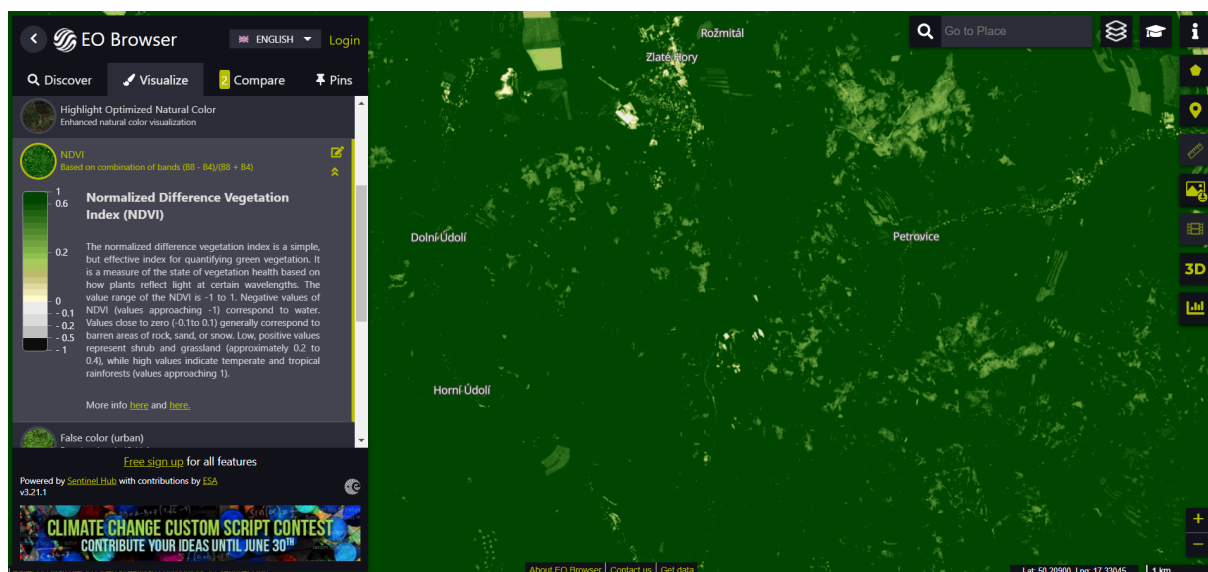
Obr. 7: Okolí obce Zlaté Hory na snímku Sentinel-2 – nastavení kompozitu RGB pomocí vlastního výběru spektrálních pásem.

Poté co vhodně nastavíte pásma v RGB kompozitu – dle zadání: krátkovlnné infračervené pásmo, blízké infračervené pásmo a červené pásmo (tedy B11, B08 a B04) (viz obr. 7), si výsledný snímek přidáme do záložky *Compare*, abychom jej mohli porovnávat s dalšími snímky. To uděláme kliknutím na ikonku dvou proti sobě jdoucích šipek (viz obr. 8).



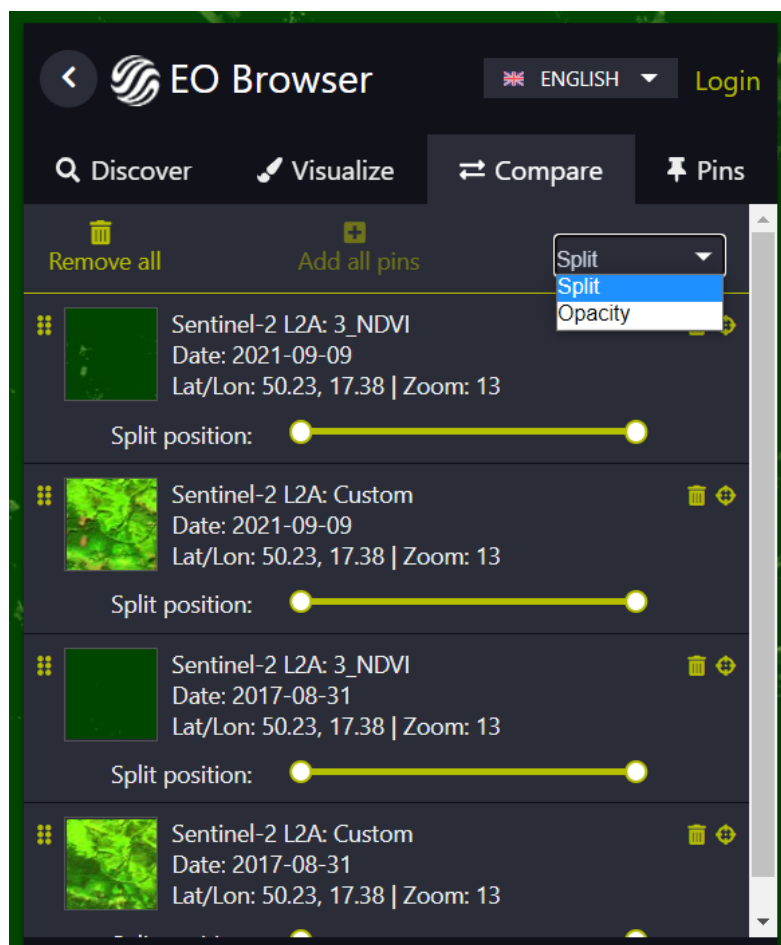
Obr. 8: Uložení snímku mezi porovnávané – do záložky Compare.

Dále se podíváme na vegetační index NDVI. Tento index najdeme v hlavní nabídce (viz obr. 9), nebo si jej můžeme sami vypočítat v nabídce *Custom*. Následně tento snímek s vypočteným indexem NDVI přidáme k porovnávaným snímkům.



Obr. 9: Zobrazení indexu NDVI v hlavní nabídce a zobrazení legendy.

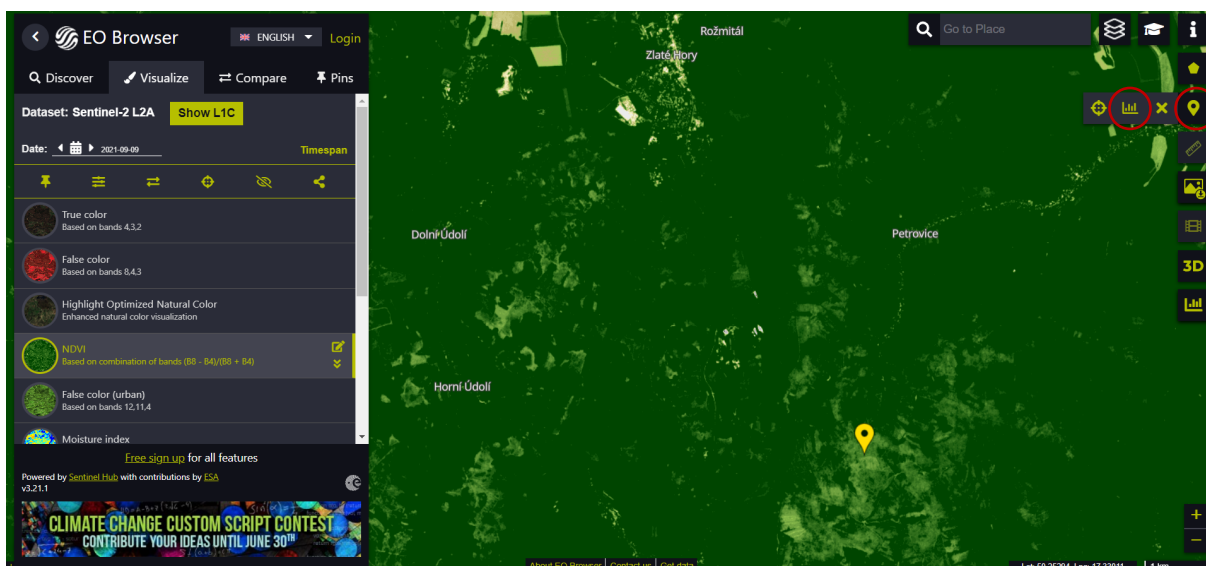
Následně celý postup zopakujeme pro snímek z roku 2021. Ideálně vyberte snímek z podobné části měsíce jako u prvního snímku. Opět dejte pozor na oblačnost.



Obr. 10: Zálůžka Compare s porovnávanými snímky.

V zálůžce *Compare* máme nyní hodnoty NDVI a RGB kompozity pro oba roky. Oba roky můžeme vzájemně porovnat (viz obr. 10).

Nakonec se podíváme na vývoj hodnot NDVI pro dvě vybrané lesní lokality – s kalamitou a bez kalamity. Na snímku z roku 2021 si vyberte dané místo (nejprve s kalamitou a poté bez kalamity) a umístěte na něj bod (viz obr. 11, též lze vytvořit i polygon). Následně zvolte ikonku statistiky a zobrazí se vám graf s hodnotou NDVI pro vybraný pixel (v případě plochy vážený průměr pixelů) v průběhu vybraného časového období (viz obr. 12). Ideální je vybrat pětiletou časovou řadu a také minimalizovat vliv oblačnosti. Postup opakujeme i pro druhé místo. Pro porovnání lze využít softwaru Excel, kde se nám po stisknutí tlačítka Export CSV vygeneruje .csv soubor, který si nainportujeme do Excel. Využít lze též vytvoření printscreenu obrazovky (kombinace tlačítek Alt + Printscreen ve Windows) nebo aplikace na výstřižky. Následně detailně porovnáme průběh křivek. Kalamitní stav se projevuje narušením stabilního průběhu hodnot, konkrétně pak razantním poklesem hodnot NDVI.



Obr. 11: Výběr konkrétního místa na snímku z roku 2021 se zobrazeným NDVI.



Obr. 12: Zobrazení grafu vývoje hodnoty NDVI na konkrétním vybraném místě.