

Cvičení v prostředí Google Earth Engine

# Znečištění ovzduší v Kyjevské oblasti

Dálkový průzkum Země

# OBSAH

<b>1</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>3</b>
1.1	RUSKÁ INVAZE NA UKRAJINU.....	3
	Vliv války na ovzduší.....	3
<b>2</b>	<b>DATA .....</b>	<b>4</b>
2.1	SENTINEL-5P.....	4
<b>3</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>5</b>
	Cíl cvičení.....	5
	1. Import dat.....	5
	2. Výběr zájmové oblasti.....	7
	3. Příprava družicových dat .....	7
	4. Vytvoření porovnávacího panelu .....	8
	5. Vytvoření popisného panelu.....	9
	6. Zobrazení hlavních panelů .....	9
	7. Vizualizace vrstev s průměrnou koncentrací NO <sub>2</sub> .....	10
	8. Přidání titulku a popisu aplikace.....	12
	9. Tvorba legendy.....	13
	10. Time-series graf.....	15
	11. Tvorba webové aplikace.....	17

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Ruská invaze na Ukrajinu

21. února vstoupila ruská armáda do oblasti Doněcké lidové republiky a Luhanské lidové republiky. Následně, o tři dny později, tedy 24. února začala ruská vojska postupovat i na další území Ukrajiny. Od samotného počátku ruské invaze čelila ukrajinská území a města vydatným útokům, které vedly k přesunu obyvatel do západní části Ukrajiny nebo k emigraci obyvatel za hranice Ukrajiny.

Hlavní město Kyjev a přilehlá území byla jedním z hlavních cílů ruských vojsk již v prvních měsících války. V důsledku bojů došlo k pozastavení průmyslové výroby a odsunu obyvatel, což značně ovlivnilo také kvalitu ovzduší nejen v Kyjevské oblasti, ale na celém území Ukrajiny.

### **Vliv války na ovzduší**

Válka s sebou přináší řadu environmentálních problémů. Při válce se do ovzduší dostávají nežádoucí částice, které negativně ovlivňují nejen lidské životy, ale také půdu, biodiverzitu či vodní zdroje. Do ovzduší se dostává např.  $\text{NO}_2$  (oxid dusičitý), který vzniká ve spalovacích motorech.  $\text{NO}_2$  je součástí kyselých dešťů a spolu s dalšími látkami vede ke vzniku přízemního ozonu. Do atmosféry se také dostávají skleníkové plyny jako CO (oxid uhelnatý),  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý) nebo  $\text{CH}_4$  (metan).

## **2 DATA**

Pro dnešní cvičení využijeme data z družice Sentinel-5P.

### **2.1 Sentinel-5P**

Sentinel-5 Precursor neboli Sentinel-5P je součástí programu Copernicus. Jedná se o první misi Copernicus, která je věnována monitorování atmosféry. Byla vypuštěna na oběžnou dráhu v říjnu 2017.

Sentinel-5P nese multispektrální přístroj TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument). Jsou získávána data týkající se škodlivých plynů jako je oxid dusičitý, oxid uhelnatý, oxid siřičitý, metan, formaldehyd či ozón. Sentinel-5P nejčastěji poskytuje data v prostorovém rozlišení  $7 \times 7$  km<sup>2</sup>. V rámci jednoho přeletu dokáže družice Sentinel-5P pokrýt pás široký 2600 km a díky tomu lze za jeden den získat údaje o celé planetě.

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Postup celého cvičení je dostupný na sdíleném repositáři: [https://code.earthengine.google.com/?accept\\_repo=users/michaelasvehlikova/cviceni4](https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/michaelasvehlikova/cviceni4). Pro lepší přehlednost a orientaci si repositář importujte do svého pracovního prostředí.

#### Cíl cvičení

Cílem tohoto cvičení bude porovnat průměrnou koncentraci NO<sub>2</sub> rok před počátkem války a na počátku války. Společně se zaměříme na vývoj průměrných hodnot NO<sub>2</sub> v období od 24.2.-24.4. v roce 2021, tedy rok před počátkem války, ale také v roce 2022 a tedy během prvních dvou měsíců války. Znečištění ovzduší souvisí s meteorologickými vlivy. Stejně časové období ve sledovaných letech je zvoleno tedy v důsledku toho, že můžeme očekávat podobné meteorologické podmínky, a tedy jejich obdobný vliv na ovzduší.

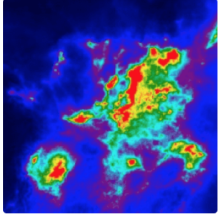
Pro účely cvičení byla vybrána oblast Kyjeva, která už na samotném počátku války čelila četným útokům a v důsledku toho taky odlivu obyvatelstva. Výstupem cvičení bude jednoduchá mapová aplikace, která bude prezentovat výsledky naší práce.

Zajímavým úkolem by mohlo být, kdyby se část studentů zaměřila na oblasti na východě Ukrajiny, které čelily útokům od počátku invaze, a část studentů na oblasti na západě Ukrajiny, které nebyly tak silně zasaženy útoky a zažívaly příliv obyvatel z východních částí Ukrajiny. Na závěr by jednotlivé skupiny porovnaly výsledky svých prací. Došlo ve studované oblasti k poklesu nebo růstu průměrné hodnoty NO<sub>2</sub>?

#### 1. Import dat

Jako první si samozřejmě importujeme potřebná data do našeho prostředí. Jedná se o data týkající se oxidu dusičitého z družice Sentinel-5P s kódem COPERNICUS/S5P/OFFL/L3\_NO2 v datovém katalogu GEE.

Sentinel-5P OFFL NO2: Offline Nitrogen Dioxide



**DESCRIPTION** BANDS IMAGE PROPERTIES TERMS OF USE

## OFFL/L3\_NO2

This dataset provides offline high-resolution imagery of NO<sub>2</sub> concentrations.

Nitrogen oxides (NO<sub>2</sub> and NO) are important trace gases in the Earth's atmosphere, present in both the troposphere and the stratosphere. They enter the atmosphere as a result of anthropogenic activities (notably fossil fuel combustion and biomass burning) and natural processes (wildfires, lightning, and microbiological processes in soils). Here, NO<sub>2</sub> is used to represent concentrations of collective nitrogen oxides because during daytime, i.e. in the presence of sunlight, a photochemical cycle involving ozone (O<sub>3</sub>) converts NO into NO<sub>2</sub> and vice versa on a timescale of minutes. The TROPOMI NO<sub>2</sub> processing system is based on the algorithm developments for the DOMINO-2 product and for the EU QA4ECV NO<sub>2</sub> reprocessed dataset for OMI, and has been adapted for TROPOMI. This retrieval-assimilation-modelling system uses the 3-dimensional global TM5-MP chemistry transport model at a resolution of 1x1 degree as an essential element. [More information.](#)

**Dataset Availability**  
2018-06-28T10:24:07 -

**Dataset Provider**  
[European Union/ESA/Copernicus](#)

**Collection Snippet**

```
ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2")
```

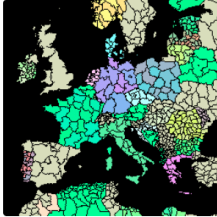
[See example](#)

**Tags**  
air-quality copernicus esa

CLOSE IMPORT

Nahrajeme si také datovou sadu s označením `FAO/GAUL_SIMPLIFIED_500m/2015/level1`, která obsahuje administrativní jednotky všech zemí.

FAO GAUL 500m: Global Administrative Unit Layers 20...



**DESCRIPTION** TABLE SCHEMA **TERMS OF USE** FEATURE VIEW

This version of GAUL dataset is simplified at 500m.

The Global Administrative Unit Layers (GAUL) compiles and disseminates the best available information on administrative units for all the countries in the world, providing a contribution to the standardization of the spatial dataset representing administrative units. The GAUL always maintains global layers with a unified coding system at country, first (e.g. departments), and second administrative levels (e.g. districts). Where data is available, it provides layers on a country by country basis down to third, fourth, and lower levels. The overall methodology consists in a) collecting the best available data from most reliable sources, b) establishing validation periods of the geographic features (when possible), c) adding selected data to the global layer based on the last country boundaries map provided by the UN Cartographic Unit (UNCS), d) generating codes using GAUL Coding System, and e) distribute data to the users (see [Technical Aspects of the GAUL Distribution Set](#)). Note that some administrative units are multipolygon features.

**Dataset Availability**  
2014-12-19T16:45:00 - 2014-12-19T16:45:00

**Dataset Provider**  
[FAO UN](#)

**Collection Snippet**

```
ee.FeatureCollection("FAO/GAUL_SIMPLIFIED_500m/2015/level1")
```

[See example](#)

[FeatureView Snippet](#)

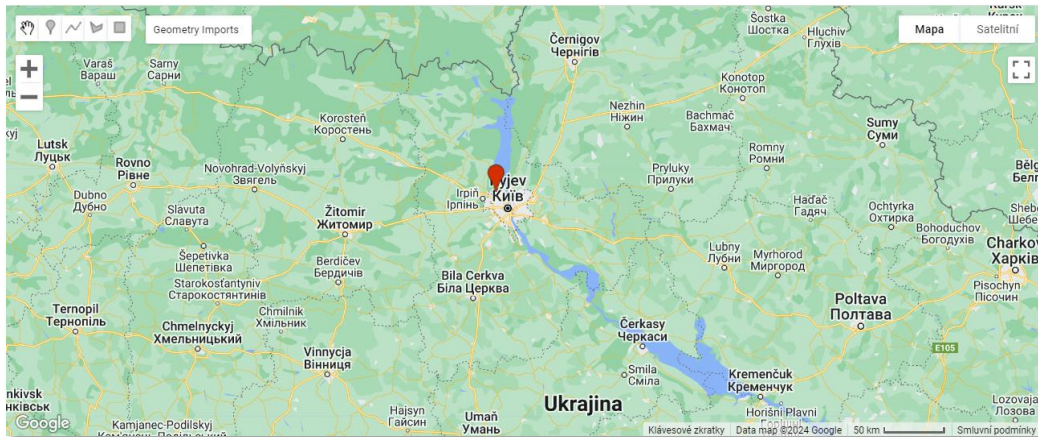
CLOSE

Datové sady přejmenujeme dle uvážení. V ukázkovém skriptu jsou využity názvy `NO2` a `administrativniJednotky`.

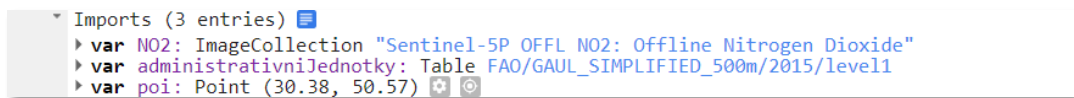
```
Imports (2 entries)
var NO2: ImageCollection "Sentinel-5P OFFL NO2: Offline Nitrogen Dioxide"
var administrativniJednotky: Table FAO/GAUL_SIMPLIFIED_500m/2015/level1
```

## 2. Výběr zájmové oblasti

Ze sady administrativních jednotek potřebujeme vybrat Kyjev a jeho okolí. V mapovém okně nalezneme Kyjev a do nalezeného místa umístíme bod/špendlík pomocí geometrických nástrojů.



Do sekce *Imports* v horní části textového editoru přibyla nová proměnná **geometry**, kterou můžeme přejmenovat. Název **geometry** je v ukázkovém skriptu nahrazen názvem **poi** (point of interest)



Pomocí **filterBounds()** vybereme administrativní jednotku, která obsahuje vyznačený bod a reprezentuje oblast Kyjeva.

```
1. // Vybrání Kyjevské oblasti a její přiblížení
2. var kyjev = administrativniJednotky.filterBounds(poi);
```

## 3. Příprava družicových dat

Definujeme funkci na ořez kolekce na rozsah zájmové oblasti. Funkci na ořez už bychom měli dobře znát z předchozích cvičení v Google Earth Engine.

```
1. // Funkce na ořez
2. function orez(snimek) {
3.   return snimek.clip(kyjev);
4. }
```

Také definujeme funkci na maskování oblak. Pro maskování oblak využijeme pásmo **cloud\_fraction**. Vytvoříme masku, která odstraní pixely s hodnotou pásma **cloud\_fraction** větší než 0.3. Výstupem níže definované funkce bude maskovaný snímek.

```
1. // Funkce na maskování oblak
2. function maskovaniOblak(snimek){
3.   var cf = snimek.select("cloud_fraction");
4.   var maska = cf.lte(0.3);
5.   return snimek.updateMask(maska).copyProperties(snimek);
6. }
```

Kolekci s daty o koncentraci NO<sub>2</sub> vyfiltrujeme na rozsah zájmové oblasti pomocí **filterBounds()**. Na kolekci aplikujeme funkce na ořez a maskování oblak. Na závěr ještě ze snímků vybereme pásmo s názvem **tropospheric\_NO2\_column\_number\_density**, které obsahuje hodnoty koncentrace NO<sub>2</sub> v troposféře v mol/m<sup>2</sup>.

```
1. // Filtrace kolekce s daty ohledně NO2
2. var NO2 = NO2
3.   .filterBounds(kyjev)
4.   .map(orez)
5.   .map(maskovaniOblak)
6.   .select("tropospheric_NO2_column_number_density");
```

Vytvoříme dvě nové proměnné, kdy jedna bude obsahovat data pro období od 24. února do 24. dubna 2021, a druhá bude obsahovat data od 24. února do 24. dubna, ale v roce 2022. Pro výběr dle časové rozmezí využijeme funkci **filterDate()**.

```
1. // Výběr dat pro rok 2021 a 2022
2. var NO2rok2021 = NO2.filterDate("2021-02-24", "2021-04-24");
3. var NO2rok2022 = NO2.filterDate("2022-02-24", "2022-04-24");
```

#### 4. Vytvoření porovnávacího panelu

Naše výsledná mapová aplikace bude obsahovat dva hlavní panely. Jeden panel bude obsahovat porovnání vrstev pro jednotlivé roky. Druhý panel bude poskytovat titulek a bližší popis mapových vrstev. Pro tvorbu těchto panelů, interaktivních prvků a celkového vzhledu webové aplikace se využívají tzv. UI (user interface) elementy. Tyto elementy nám umožňují vytvářet grafické uživatelské rozhraní.

Jako první vytvoříme dvě instance mapy, které mezi sebou budeme následně porovnávat. Pro tvorbu mapy existuje funkce **ui.Map()**, která vytvoří instanci Google mapy. Díky **centerObject()** zajistíme, že v mapových oknech dojde vždy k přiblížení zájmové oblasti. Pomocí **setOptions()** stanovíme typ podkladové mapy. Existují čtyři typy podkladové mapy, ze kterých můžeme vybírat:

- "ROADMAP" – defaultní nastavení, mapa silniční sítě a ulic
- "SATELLITE" – satelitní mapa
- "HYBRID" – satelitní mapa se silniční sítí, názvy ulic
- "TERRAIN" – mapa terénu

V ukázkovém skriptu je použita satelitní mapa.



```
1. // Vytvoření mapových oken pro porovnání a stanovení podkladové mapy
2. var mapaVlevo = ui.Map().centerObject(kyjev, 8).setOptions(
3.   "SATELLITE");
4. var mapaVpravo = ui.Map().centerObject(kyjev, 8).setOptions("SATELLITE");
```

Vytvořené mapy přidáme do porovnávacího panelu. Pro tvorbu porovnávacího panelu máme funkci **ui.SplitPanel()**. **Ui.SplitPanel()** specifikujeme obsah prvního a druhého panelu. První panel obsahuje mapu, která bude zobrazena vlevo, a druhý panel mapu, která bude zobrazena vpravo. Mezi jednotlivými panely se budeme horizontálně přesouvat. Popsaný porovnávací panel tedy vytvoříme následovně:

```
1. // Tvorba rozdělovacího panelu pro porovnání jednotlivých let
2. var porovnavaciPanel = ui.SplitPanel({
3.   firstPanel: mapaVlevo,
4.   secondPanel: mapaVpravo,
5.   orientation: "horizontal",
6.   wipe: true,
7.   style: {
8.     stretch: "both"
9.   }
10. });
```

Jednotlivá mapová okna mezi sebou propojíme, tak aby byla synchronizovaná. Tedy např. pokud budeme přibližovat místo v jednom mapovém okně, tak proběhne přiblížení i v druhém mapovém okně. K propojení mapových oken slouží **ui.Map.Linker()**, kterému zadáváme seznam instancí map.

```
1. // Spojení jednotlivých mapových oken
2. var spojeni = ui.Map.Linker([mapaVlevo, mapaVpravo]);
```

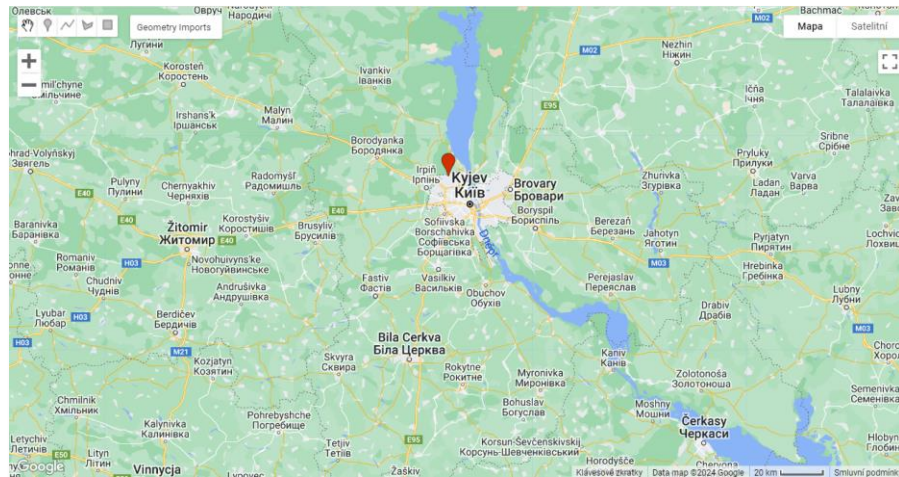
## 5. Vytvoření popisného panelu

Druhým hlavním panelem je popisný panel, který na rozdíl od porovnávacího panelu vytvoříme s využitím metody **ui.Panel()**. Šířku tvořeného panelu stanovíme na 25%, což znamená, že náš popisný panel bude zabírat 25% plochy výsledné aplikace.

```
1. // Definice panelu, který ponese titulek, popis a další informace
2. var panelPopis = ui.Panel({style: {width: '25%'}});
```

## 6. Zobrazení hlavních panelů

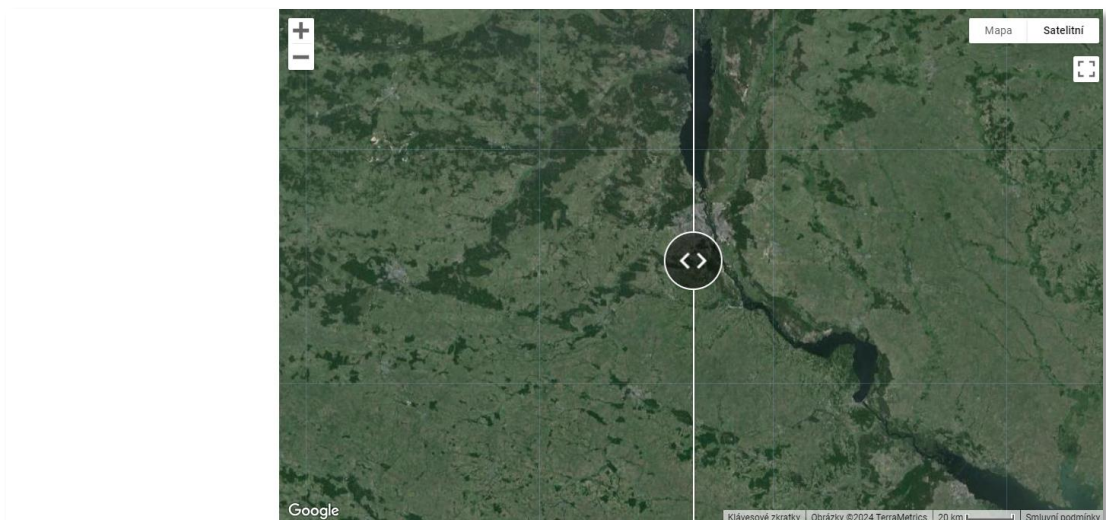
Pokud nyní spustíme náš skript, tak se nám nezobrazí vytvořené panely, ale pouze mapové okno se zájmovým bodem.



Je nutné provést vymazání všech prvků v tzv. root (základní kořenový prvek uživatelského rozhraní) a přidat do něj nové prvky. Tuto úpravu provedeme pomocí `ui.root.widgets().reset()`. `Reset()` zadáme seznam nových prvků. Provedeme tedy aktualizaci uživatelské rozhraní a to následovně:

1. // Vymazání prvků -> přidání požadovaných panelů
2. `ui.root.widgets().reset([panelPopis, porovnavaciPanel]);`

Po spuštění skriptu už bychom měli vidět dva nově vzniklé panely, do kterých můžeme začít přidávat požadovaný obsah.



## 7. Vizualizace vrstev s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub>

Specifikujeme vizualizační parametry pro vrstvy s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub>. Vizualizační parametry vychází z dokumentace datové sady v katalogu Google Earth

Engine, kterou lze nalézt na odkazu [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S5P\\_OFFL\\_L3\\_NO2](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_NO2).

```
1. // Definice vizualizačních parametrů pro zobrazované vrstvy
2. var vizualizacniParametry = {min: 0, max: 0.0002, palette: ["black", "blue", "purple", "cyan", "green", "yellow", "red"]};
```

Vytvoříme vrstvu s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub> pro rok 2021 pomocí **ui.Map.Layer()**. Díky metodě **mean()** zajistíme, že bude zobrazena vrstva s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub> za zvolené období. Pro zobrazení vrstvy s průměrnou koncentrací využijeme definované vizualizační parametry.

```
1. // Vytvoření vrstvy s průměrnou koncentrací NO2 za rok 2021
2. var podkladovaMapa2021 = ui.Map.Layer(NO2rok2021.mean(), vizualizacniParametry);
```

Nyní nahradíme vrstvy v levé části porovnávacího panelu vrstvou s průměrnými hodnotami NO<sub>2</sub> pro období v roce 2021. K aktualizaci vrstev v levé části panelu nám opět poslouží funkce **reset()** se zadaným seznamem nových prvků.

```
1. // Přidání vrstvy s průměrnou koncentrací NO2 za rok 2021 do levé části porovnávacího panelu
2. mapaVlevo.layers().reset([podkladovaMapa2021]);
```

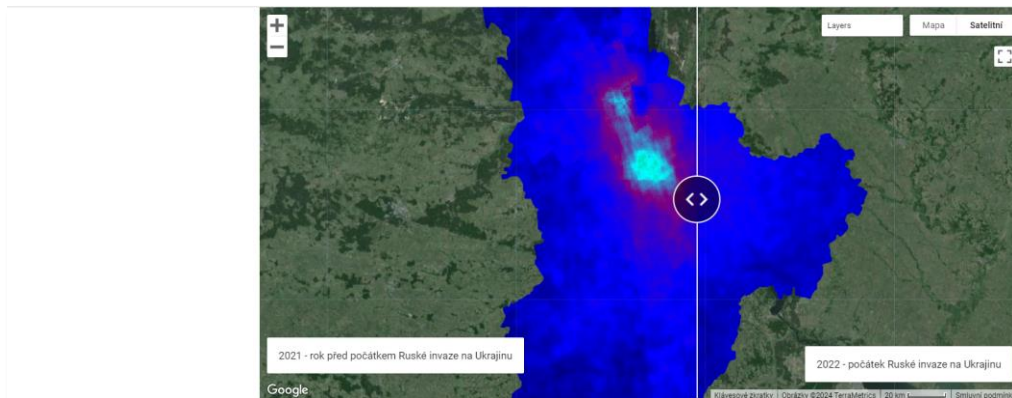
K nově přidané mapové vrstvě připojíme ještě titulek pro lepší pochopení. Pomocí **add()** přidáme do levé části porovnávací panelu nový panel **ui.Panel()**, který obsahuje označení vrstvy **ui.Label()**. Při definici panelu upřesníme i jeho umístění. V ukázkovém skriptu bude panel umístěn v levé spodní části mapového okna viz. následující kód.

```
1. // Přidání titulku k výstupu v levé části porovnávacího panelu - rok před počátkem Ruské invaze
2. mapaVlevo.add(ui.Panel({
3.   widgets:[ui.Label("2021 - rok před počátkem Ruské invaze na Ukrajinu")],
4.   style: {position: "bottom-left"}
5. }));
```

Následně do pravé části porovnávací panelu přidáme vrstvu s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub> pro vybrané období v roce 2022. Postupujeme tak jako v případě vrstvy pro rok 2021, avšak pracujeme s instancí mapy v pravé části porovnávací panelu.

Nezapomene na závěr přidat i panel s názvem vrstvy.

```
1. // Přidání vrstvy s průměrnými hodnotami NO2 pro rok 2022 do pravé části porovnávacího panelu(mapaVpravo)
2. var podkladovaMapa2022 = ui.Map.Layer(NO2rok2022.mean(), vizualizacniParametry);
3. mapaVpravo.layers().reset([podkladovaMapa2022]);
4.
5. // Přidání titulku k výstupu v pravé části porovnávacího panelu - počátek Ruské invaze
6. mapaVpravo.add(ui.Panel({
7.   widgets:[ui.Label("2022 - počátek Ruské invaze na Ukrajinu")],
8.   style: {position: "bottom-right"}
9. }));
```



## 8. Přidání titulku a popisu aplikace

Teď už postupně začneme tvořit obsah popisného panelu, který se zatím jeví jako prázdný bílý pruh vedle porovnávacího panelu.

Jako první do našeho popisného panelu přidáme titulek naší webové aplikace. Jak bylo již zmíněno, tak titulek nebo jakýkoliv popis se tvoří pomocí funkce **ui.Label()**. Kromě samotného titulku můžeme funkci **ui.Label()** upřesnit i styl písma.

```
1. // Definice titulku aplikace a jeho vizualizační parametry
2. var titulek = ui.Label("Průměrná koncentrace NO2 v Kyjevské oblasti ve vybraném období roku
2021 a 2022",
3.   {fontWeight: 'bold', fontSize: '24px', margin: '10px 5px'}
4. );
```

Aby byl titulek přidán do popisného panelu tak využijeme funkci **add()**.

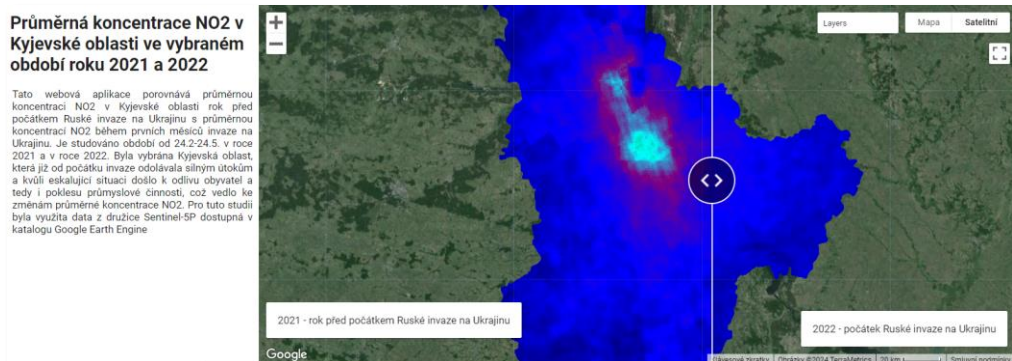
```
1. // Přidání titulku do popisného panelu
2. panelPopis.add(titulek);
```

Vytvoříme i detailnější popis naší aplikace, abychom vysvětlili její účel. Jednotlivé řádky popisu uvádíme do uvozovek, protože se jedná o textové řetězce. Textové řetězce spojujeme pomocí znaménka **+**. Výsledný popis zarovnáme do bloku.

```
1. // Definice bližšího popisu webové aplikace
2. var popis = ui.Label("Tato webová aplikace porovnává průměrnou koncentraci NO2 v Kyjevské
oblasti rok před počátkem"+
3.   " Ruské invaze na Ukrajinu s průměrnou koncentrací NO2 během prvních
měsíců invaze na Ukrajinu."+
4.   " Je tedy studováno období od 24.2-24.5. jak v roce 2021 tak v roce
2022. Byla vybrána Kyjevská"+
5.   " oblast, která již od počátku invaze odolávala silným útokům a kvůli
eskalující situaci došlo"+
6.   " k odlivu obyvatel, a tedy i poklesu průmyslové činnosti, což vedlo
ke změnám průměrné koncentrace"+
7.   " NO2. Pro tuto studii byla využita data z družice Sentinel-5P dostupná
v katalogu Google Earth Engine",
8.   {textAlign: "justify"});
```

Popis přidáme do popisného panelu opět s využitím metody **add()**.

1. // Přidání popisu do popisného panelu
2. panelPopis.add(popis);



## 9. Tvorba legendy

Sice jsme zobrazili vrstvy s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub> ve vybraných obdobích, ale bez legendy by výsledek naší práce málo kdo pochopil. Naším dalším úkolem bude vytvořit a přidat legendu do popisného panelu.

Definujeme barvy, které mají být obsaženy v legendě. Samozřejmě barvy v legendě musí odpovídat barvám, které jsme využily pro vizualizaci vrstev s průměrnou koncentrací NO<sub>2</sub>. Do nové proměnné si tedy uložíme barvy legendy. Díky tečkové notaci se odkážeme na paletu barev specifikovanou v rámci dříve definovaných vizualizačních parametrů.

1. // Definice barev pro legendu
2. var barvy = vizualizacniParametry.palette;

Z barev vytvoříme obrázek, který bude představovat spojitou horizontální legendu. Pro tvorbu takového obrázku definujeme následující funkci, která jako vstupní parametr bude brát barevnou paletu, ze které má být vytvořen obrázek pro legendu.

```

1. // Funkce na tvorbu spojitě horizontální barevné palety pro legendu -> obrázek s přechodem
   barev
2. function legendaBarvy(paleta){
3.   return ui.Thumbnail({
4.     image: ee.Image.pixelLonLat().select(0),
5.     params:{
6.       bbox: [0, 0, 1, 0.1],
7.       dimensions: '250x15',
8.       format: 'png',
9.       min: 0,
10.      max: 1,
11.      palette: paleta,
12.    },
13.    style:{
14.      stretch: 'horizontal',
15.      margin: '0px 22px'
16.    },
17.  });
18. }

```

Další funkcí, kterou vytvoříme je funkce na tvorbu samotné legendy. Funkce na tvorbu legendy bude mít jako vstupní parametry minimální, střední a maximální hodnotu koncentrace NO<sub>2</sub> a barevnou paletu, která byla využita pro vizualizaci vrstev. Uvnitř funkce na tvorbu legendy upřesňujeme vzhled výsledné legendy a její titulek. Výstupem funkce bude panel legendy, který se skládá z názvu legendy, obrázku s přechodem barev a hodnot, které popisují dílčí části legendy.

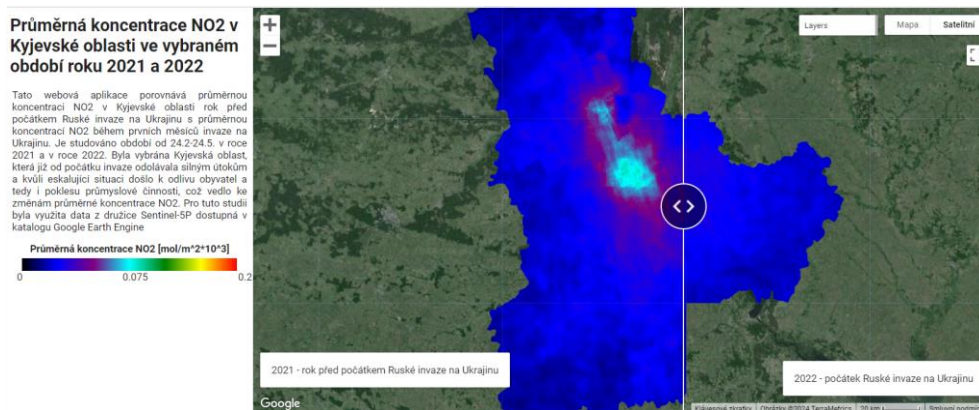
```
1. // Funkce na tvorbu legendy
2. function vytvoritLegendu(minText, midText, maxText, paleta){
3.   // Definice názvu legendy
4.   var nazev = ui.Label(
5.     "Průměrná koncentrace NO2 [mol/m^2*10^3]",{
6.       margin: '5px 17px',
7.       textAlign: 'center',
8.       stretch: 'horizontal',
9.       fontWeight: 'bold'
10.    });
11.   // Definice umístění popisů pro legendu
12.   var panelPopisky = ui.Panel(
13.     [
14.       ui.Label(minText,{
15.         margin: '0px 14.5px'
16.       }),
17.       ui.Label(midText,{
18.         margin: '0px 0px',
19.         textAlign: 'center',
20.         stretch: 'horizontal'
21.       }),
22.       ui.Label(maxText,{
23.         margin: '0px 1px'
24.       })
25.     ],
26.     ui.Panel.Layout.flow('horizontal'));
27.   return ui.Panel({
28.     widgets: [nazev, legendaBarvy(paleta), panelPopisky],
29.     style:{
30.       position: 'bottom-left'
31.     }
32.   });
33. }
```

Teď už vytvoříme legendu pro naše mapové vrstvy. V titulku legendy je uvedeno, že hodnoty budou mít jednotku mol/m<sup>2</sup>\*10<sup>3</sup>, proto nesmíme zapomenout jako parametry funkce uvést hodnoty koncentrace NO<sub>2</sub> vynásobené 1000. Zadávané hodnoty tedy nebudou 0; 0,000075 a 0,0002. Funkci na tvorbu legendy zadáváme i paletu barev, kterou jsme si specifikovali dříve.

```
1. // Vytvoření legendy
2. var hotovaLegenda = vytvoritLegendu("0", "0.075", "0.2", barvy);
```

Legendu přidáme do popisného panelu.

```
1. // Přidání legendy do popisného panelu
2. panelPopis.add(hotovaLegenda);
```



## 10. Time-series graf

Kromě vizuálního porovnání průměrné koncentrace  $\text{NO}_2$  vytvoříme i graf, který bude znázorňovat vývoj průměrných hodnot  $\text{NO}_2$  v zájmovém území v roce 2021 a 2022.

Definujeme funkci, která pro každý snímek v kolekci provede výpočet průměrné hodnoty pásma **tropospheric\_NO2\_column\_number\_density**. Funkce bude brát jako vstupní parametry rok, ve kterém byly snímky získány, a snímek kolekce. Tato funkce kromě výpočtu průměrných hodnot  $\text{NO}_2$  získá informace o dni v roce, ve kterém byl snímek pořízen. Den bude mít v tomto případě označení dle jeho pořadí v roce. Výstupem bude nový prvek pro každý snímek, který bude obsahovat hodnotu koncentrace  $\text{NO}_2$ , den, ve kterém byla tato hodnota zjištěna a typ. Typ určuje, jestli se jedná o data pro rok 2021 nebo 2022.

```

1. // Funkce na výpočet průměrné koncentrace NO2 pro jednotlivé dny (den uveden dle pořadí v roce)
2. function koncentraceNO2(rokKolekce, snimek) {
3.   return function(snimek) {
4.     var prumer = snimek.reduceRegion({
5.       reducer: ee.Reducer.mean(),
6.       geometry: kyjev.geometry(),
7.       scale: 7000
8.     }).get("tropospheric_NO2_column_number_density");
9.     var den = snimek.date().getRelative("day", "year");
10.    return ee.Feature(null, {
11.      "Koncentrace [mol/m^2]": prumer,
12.      "Den v roce": den,
13.      "typ": rokKolekce
14.    });
15.  };
16. }

```

Provedeme výpočet průměrných hodnot  $\text{NO}_2$  pro snímky v jednotlivých kolekcích a kolekce spojíme do jedné pomocí **merge()**. Získáme kolekci prvků s daty pro rok 2021 a 2022.

```

1. // Aplikace funkce na výpočet koncentrace NO2 na kolekce pro rok 2021 a 2022 a jejich spojení
2. var spojeneKolekceNO2 = NO2rok2021

```

```

3.     .map(koncentraceNO2("2021"))
4.     .merge(NO2rok2022
5.     .map(koncentraceNO2("2022")));

```

Některé prvky mohou mít prázdnou hodnotu koncentrace, protože se ji nepovedlo změřit, a proto vyfiltrujeme ze spojené kolekce prvků pouze nenulové hodnoty koncentrace.

```

1. // Vyfiltrování neprázdných hodnot koncentrace
2. spojeneKolekceNO2 = spojeneKolekceNO2
3.     .filter(ee.Filter.notNull(["Koncentrace [mol/m^2]"]));

```

Z kolekce prvků lze vytvořit graf, který bude zobrazovat vývoj hodnot v čase. Pro vytvoření požadovaného grafu využíváme funkci **ui.Chart.feature.groups()**. **Ui.Chart.feature.groups()** udáváme kolekci s prvky pro jednotlivé roky, hodnoty kolekce, který mají být zobrazeny na ose X (dny v roce), hodnoty, které mají být zobrazeny na ose Y (koncentrace NO<sub>2</sub>) a atribut, který obsahuje rozlišení jednotlivých prvků (2021 nebo 2022). Chceme, aby byl výsledný graf liniový, a proto aplikujeme funkci **setChartType()** a této funkci zadáme jako parametr výraz **LineChart**. Nakonec už jen s pomocí metody **setOptions()** přidáme titulek našeho grafu.

```

1. // Tvorba grafu, který porovnává vývoj průměrných hodnot NO2 v roce 2021 a 2022
2. var grafNO2= ui.Chart.feature.groups(
3.     spojeneKolekceNO2, "Den v roce", "Koncentrace [mol/m^2]", "typ")
4.     .setChartType("LineChart")
5.     .setOptions({
6.         title: "Průměrná koncentrace NO2"
7.     });

```

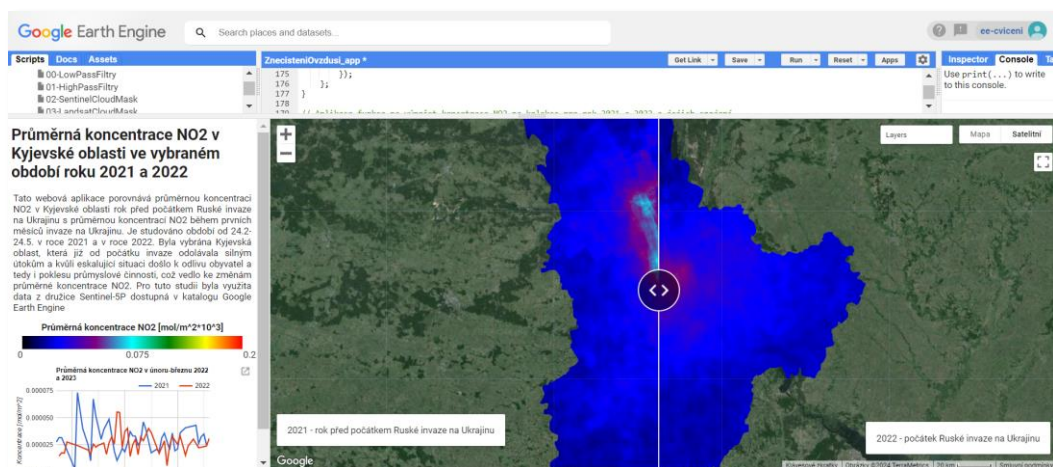
Graf přidáme do popisného panelu.

```

1. // Přidání grafu do popisného panelu
2. panelPopis.add(grafNO2);

```

Výsledek celého skriptu by měl vypadat takto:

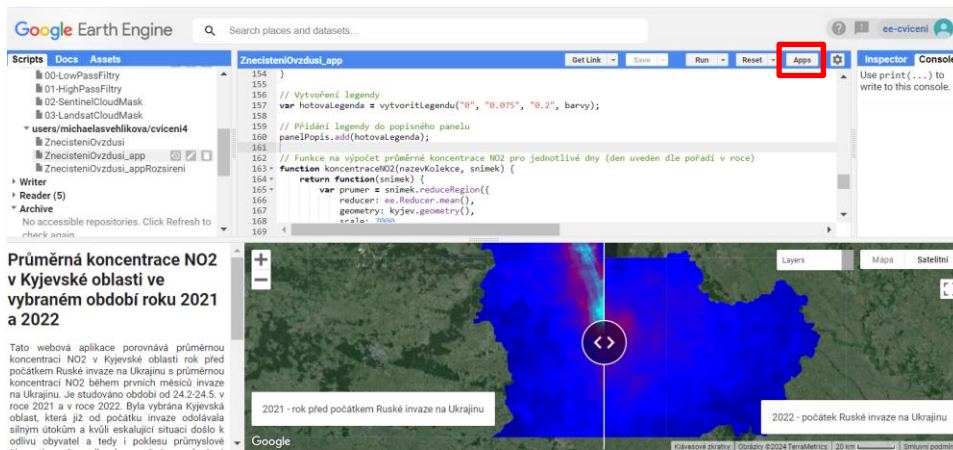




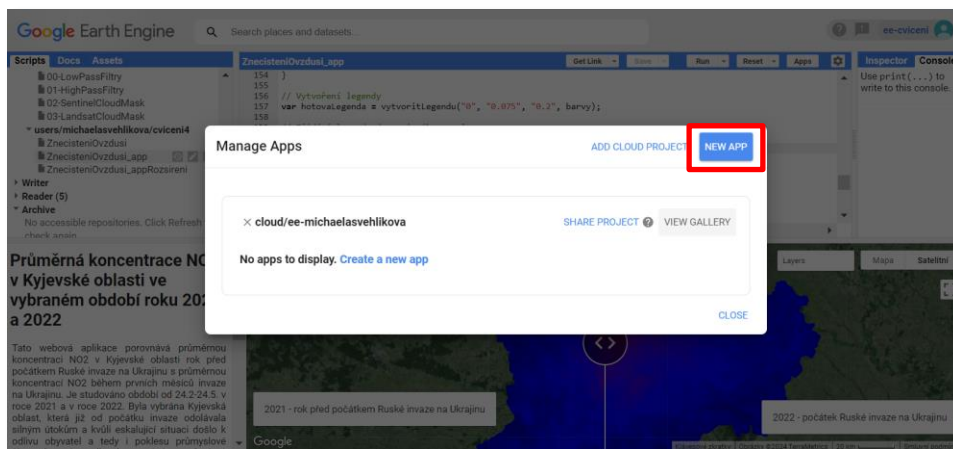
## 11. Tvorba webové aplikace

Na závěr náš skript převedeme do formy webové aplikace, tak abychom mohli efektivně sdílet výsledky naší práce s ostatními bez nutnosti přístupu k editoru kódu.

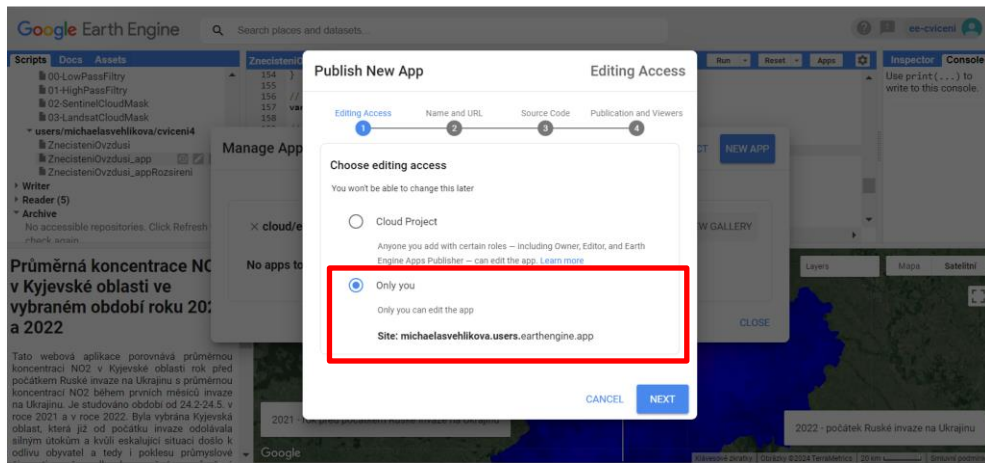
Najdeme ikonu *Apps* v pravé horní části editoru kódu a klikneme na ni.



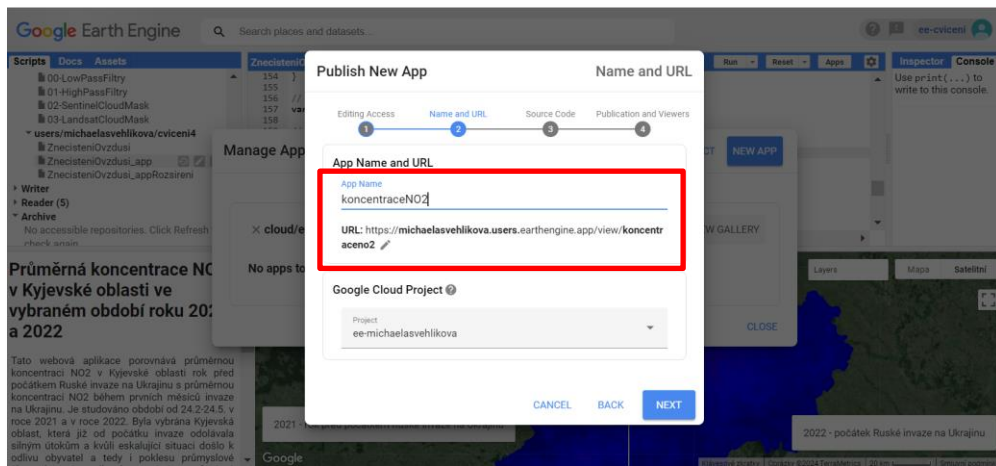
Po otevření správce aplikací klikneme na tlačítko *NEW APP*.



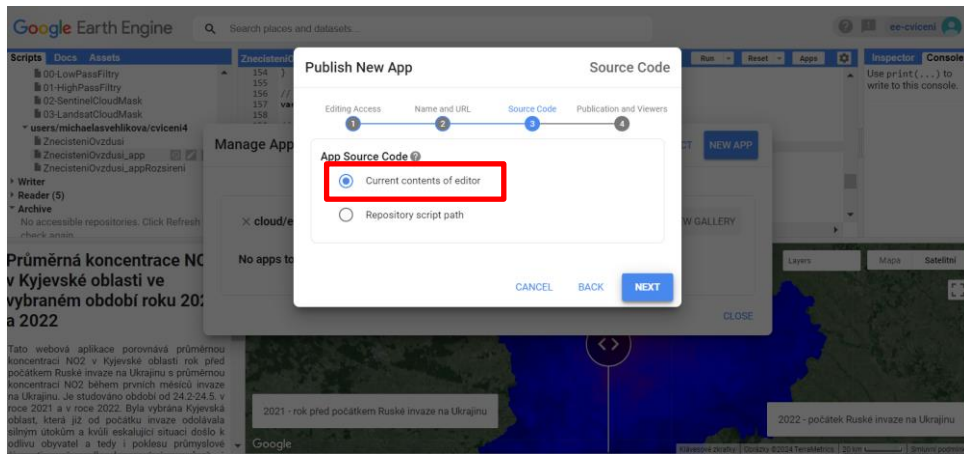
Začneme specifikovat nastavení nové aplikace. Jako první vybereme, kdo může editovat aplikaci. V případě, že se jedná o nějaký skupinový projekt a je zapotřebí, aby aplikaci mohlo spravovat více lidí, tak volíme možnost *Cloud Project*. Pokud však budeme jediní, kdo bude mít právo zasahovat do aplikace, tak stačí možnost *Only you*.



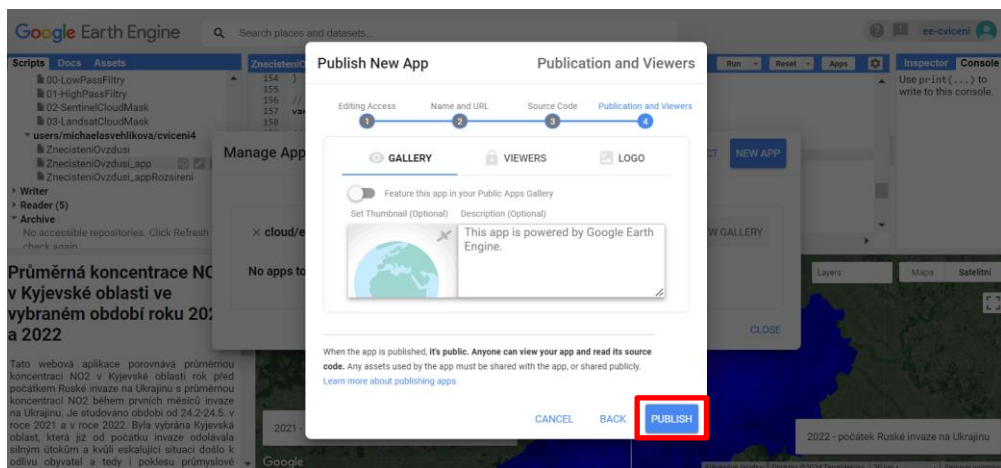
V dalším kroku aplikaci pojmenujeme.



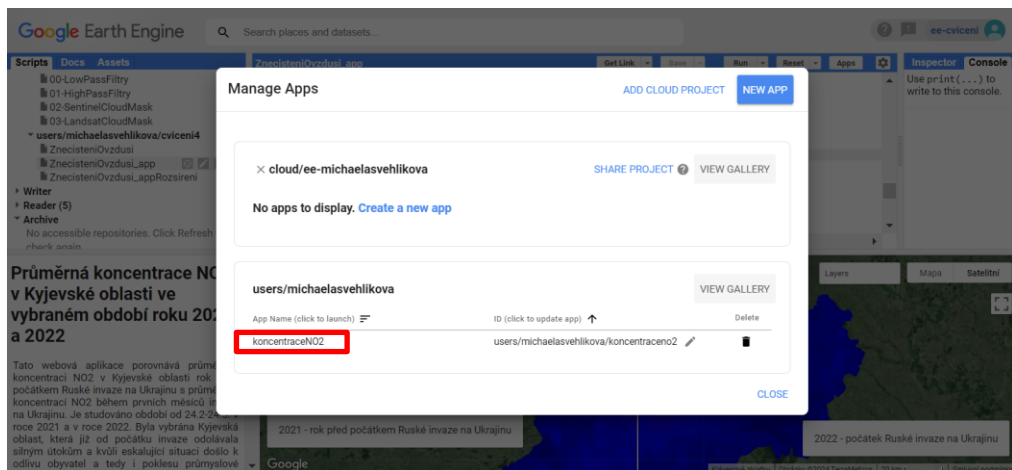
V předposledním kroku volíme zdrojový kód stránky. Vzhledem k tomu, že máme kód pro naši aplikaci otevřený v editoru kódu, tak volíme možnost *Current contents of editor*. V případě *Repository script path*, bychom museli vybrat skript pro aplikaci z veškerých skriptů, které máme uložené v Google Earth Engine.



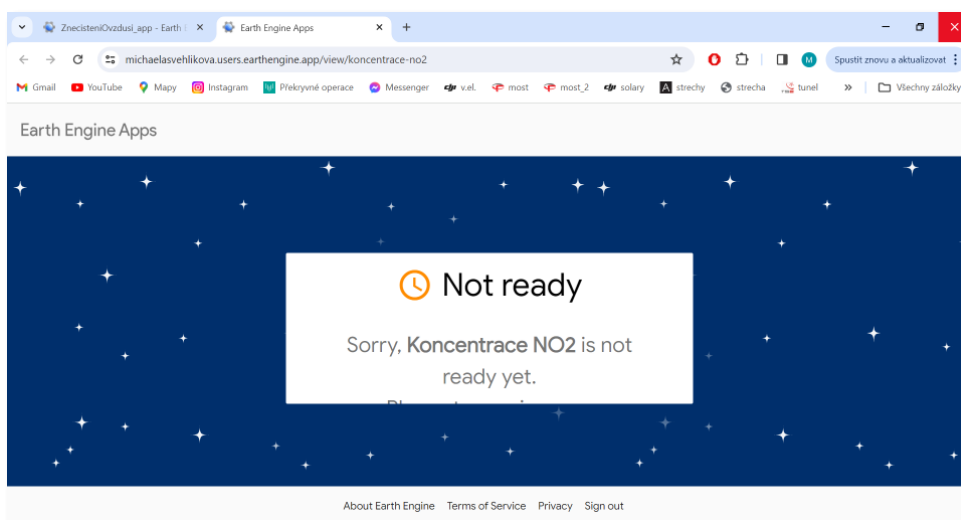
V posledním kroku máme možnost nastavit viditelnost aplikace či přidat logo. To však není pro účely tohoto cvičení důležité, a proto to nebudeme dělat. Provedeme jen potvrzení publikace naší webové aplikace pomocí ikony *PUBLISH*.



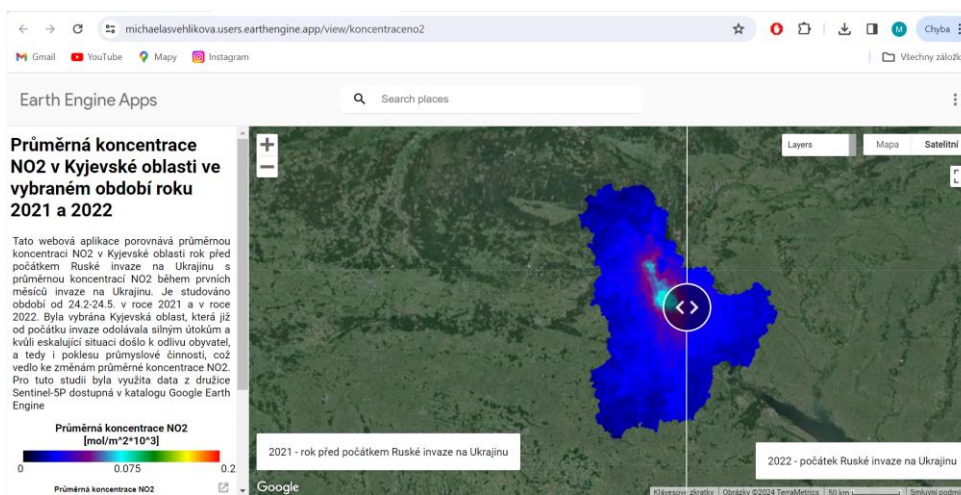
Vznikla nová webová aplikace, ke které se dostaneme kliknutím na její název.



Chvilku trvá, než se aplikace vytvoří, proto se vám ihned po publikování může stát, že aplikace ještě není připravená.



Stačí stránku po chvilce načíst znovu a vše by mělo fungovat.



Aplikaci, která byla vytvořena pomocí ukázkového skriptu lze nalézt na adrese <https://michaelasvehlikova.users.earthengine.app/view/koncentraceno2>.