

# Souřadnice & operace

**Kde jsme / kam jdeme?**

# Agenda

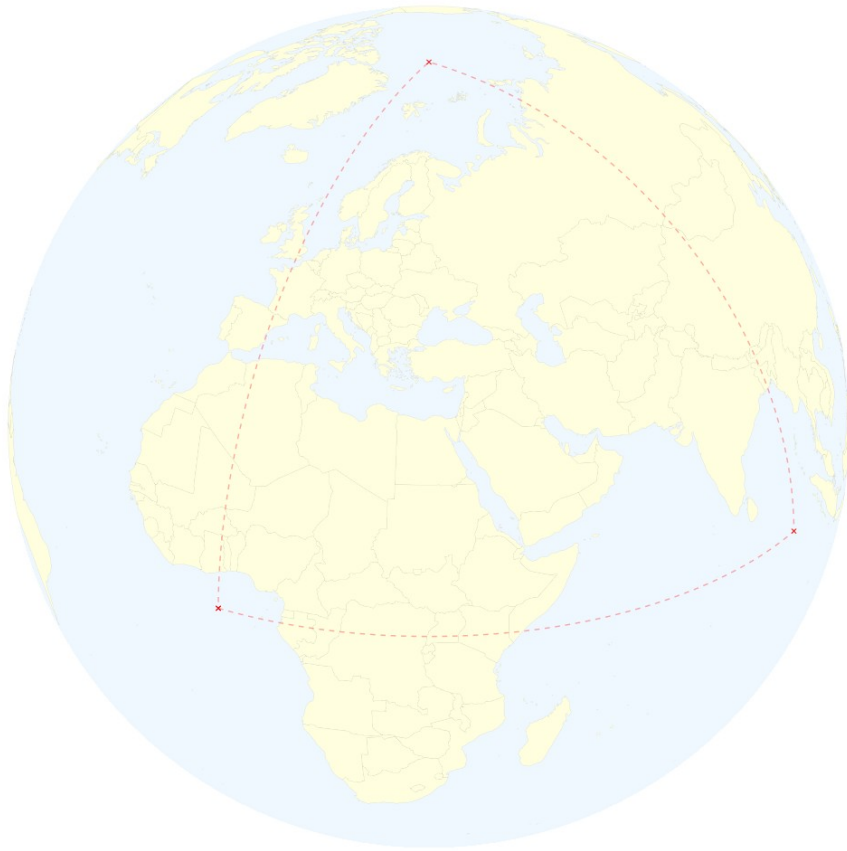
- 1) Základní problém zeměpisu
- 2) Zeměpisné × rovinné systémy
- 3) Operace s geometriemi
- 4) Prostorové propojení

# Základní problém



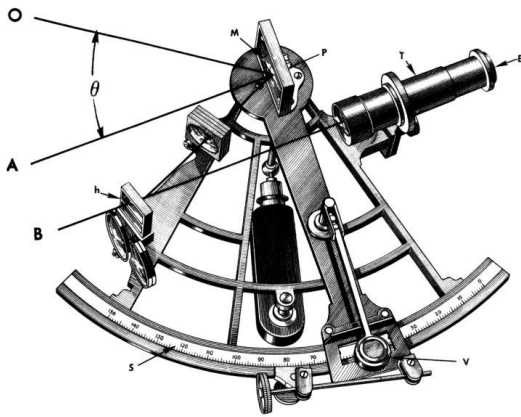
- Země je kulatá
- Mapa je placatá
- Rozvinout kouli do plochy nejde (bez zkreslení)

# Divné stavy na kouli



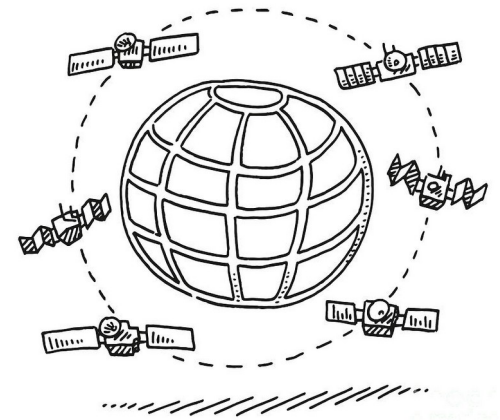
- Trojúhelník:
  - $0^\circ$  poledník + rovník
  - $90^\circ$  poledník + rovník
  - **severní točna**
- Všechny tři úhly jsou pravé
- Součet úhlů =  $270^\circ$
- Maximální vzdálenost dvou bodů = 20 015 Km  
( $6\,371\text{ km} \times \pi$ )

# Měření: dříve a dnes

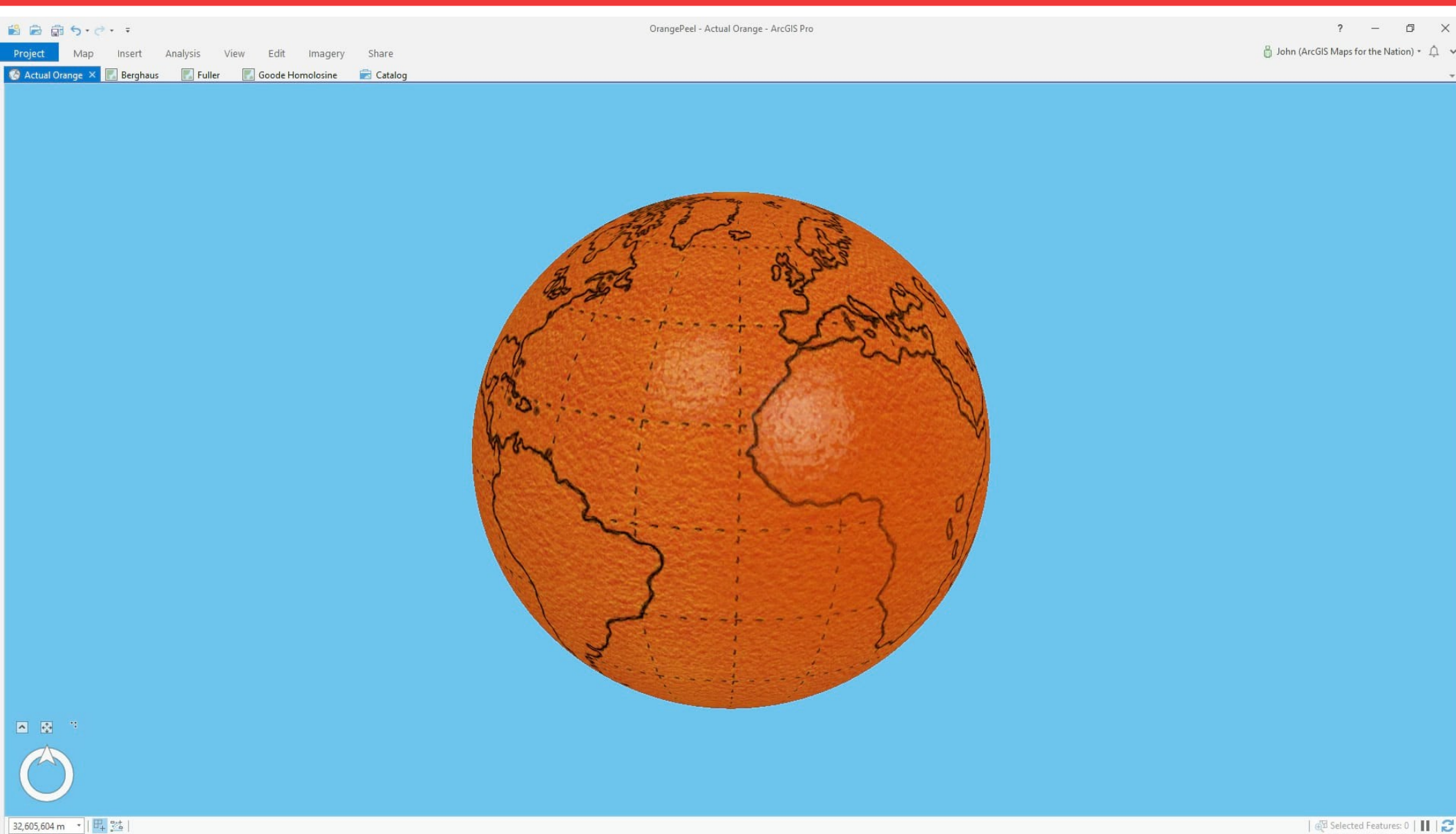


- Dříve problém:
  - Krátké vzdálenosti: přímo
  - Velké vzdálenosti: úhly

- Dnes měříme čas:
  - Krátké vzdálenosti: laser
  - Dlouhé vzdálenosti: GPS

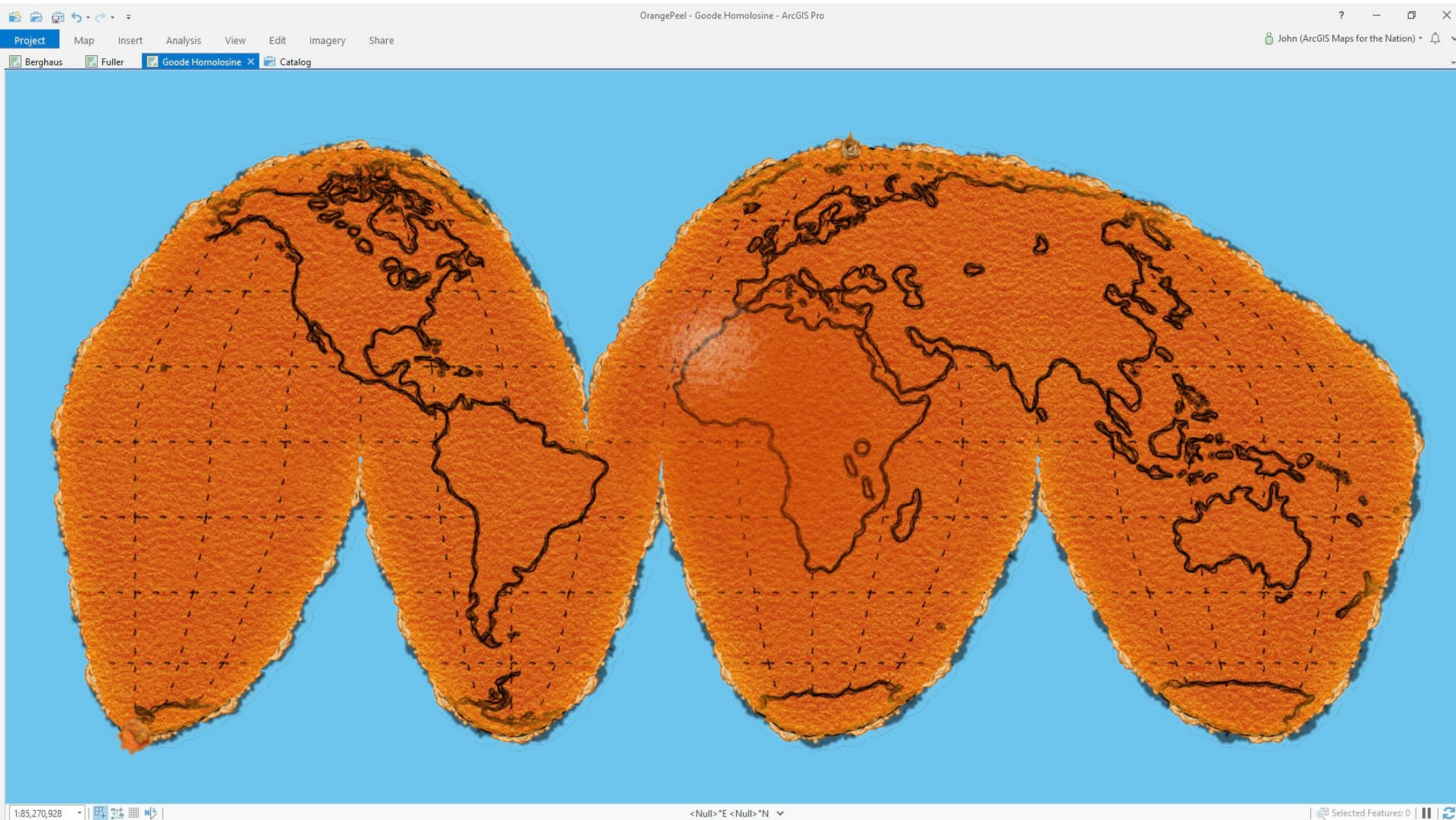


# Pomeranč



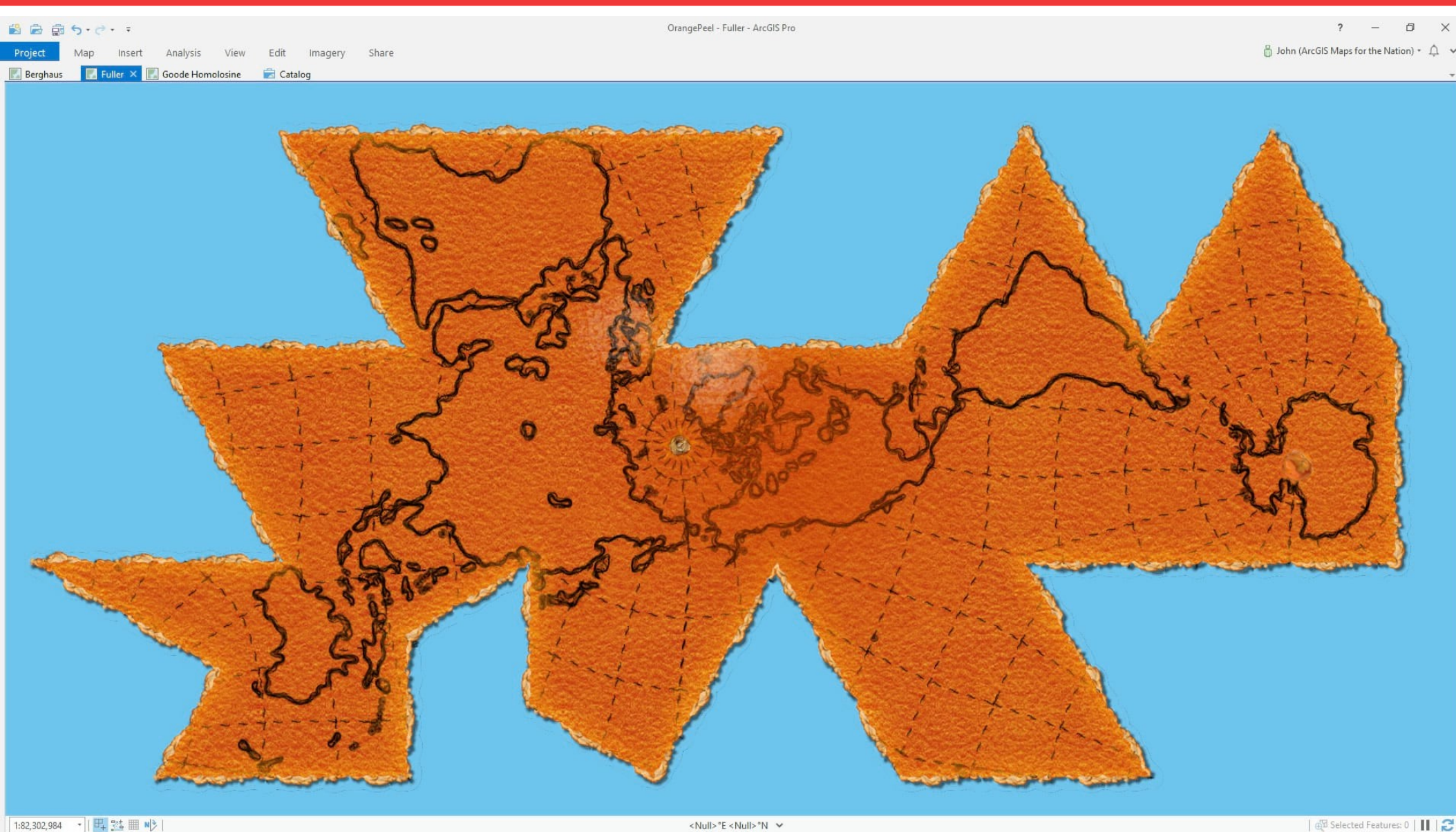


# Slupka z pomeranče...





# Slupka z pomeranče...



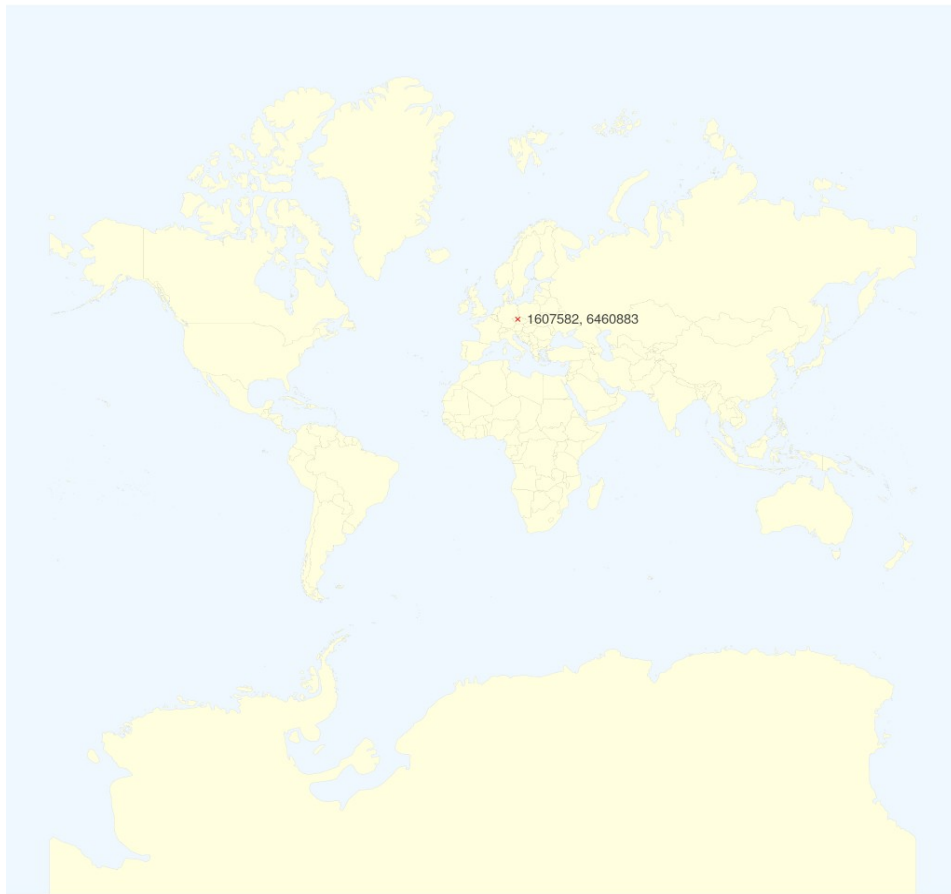


# Zeměpisné souřadnice



- Body na kouli \*
- Souřadnice v *úhlových* mírách (stupně)
- Výpočty
  - Jsou přesné
  - Jsou složité

# Rovinné souřadnice



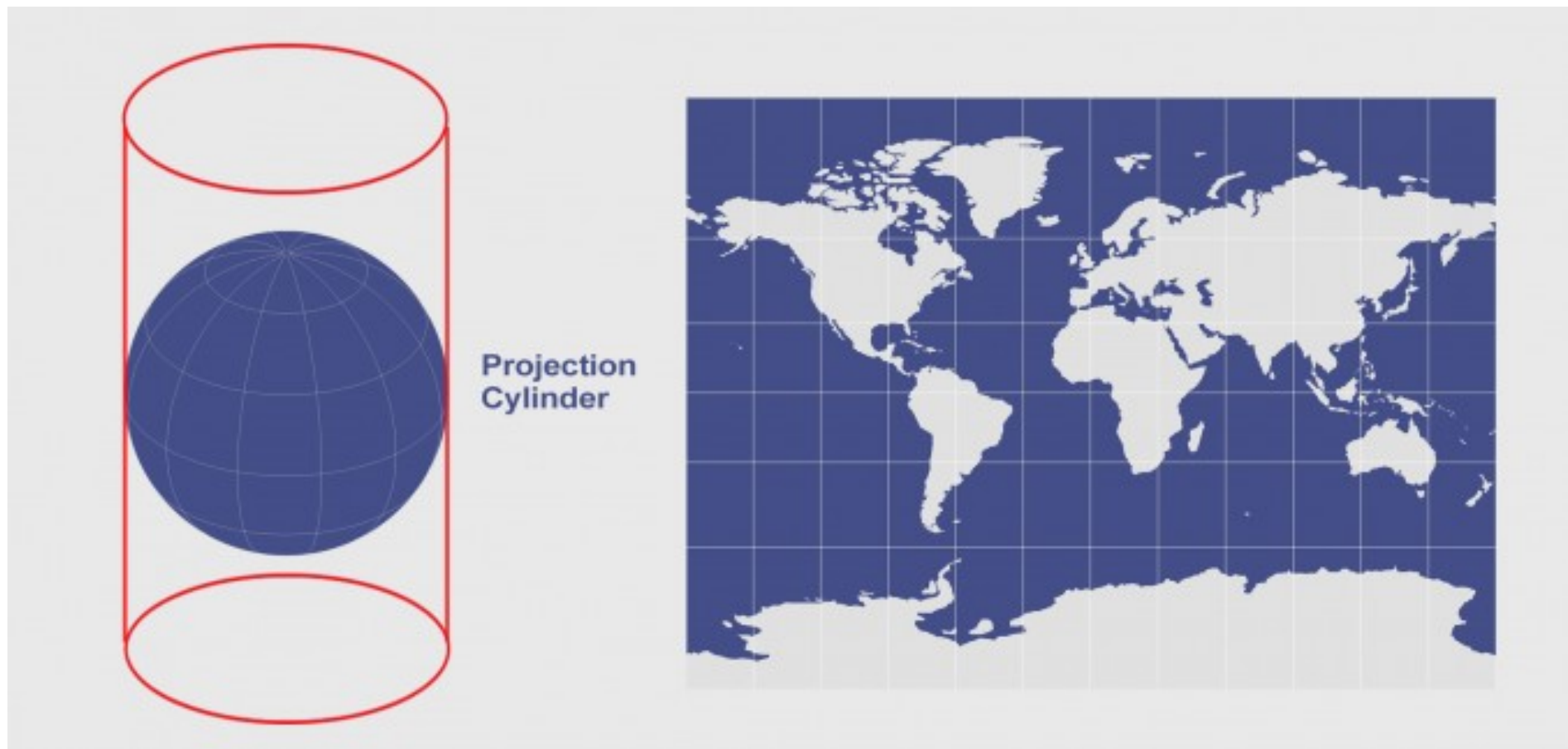
- Body v ploše
- Souřadnice v *délkových* mírách (metry, stopy...)
- Výpočty
  - Jsou zkreslené
  - Jsou snadné

# Základní projekce

- Azimutální – přímo na tečnou plochu
  - Polární oblasti
- Kuželová – na kužel, rozvinutý do plochy
  - Albers, střední šířky (Amerika, Evropa, Rusko + inž. Křovák)
- Válcová – válec rozvinutý do plochy
  - Mercator, IT svět
- Čistá matematika
  - Mollweide, Winkel tripel, Gall – Peters



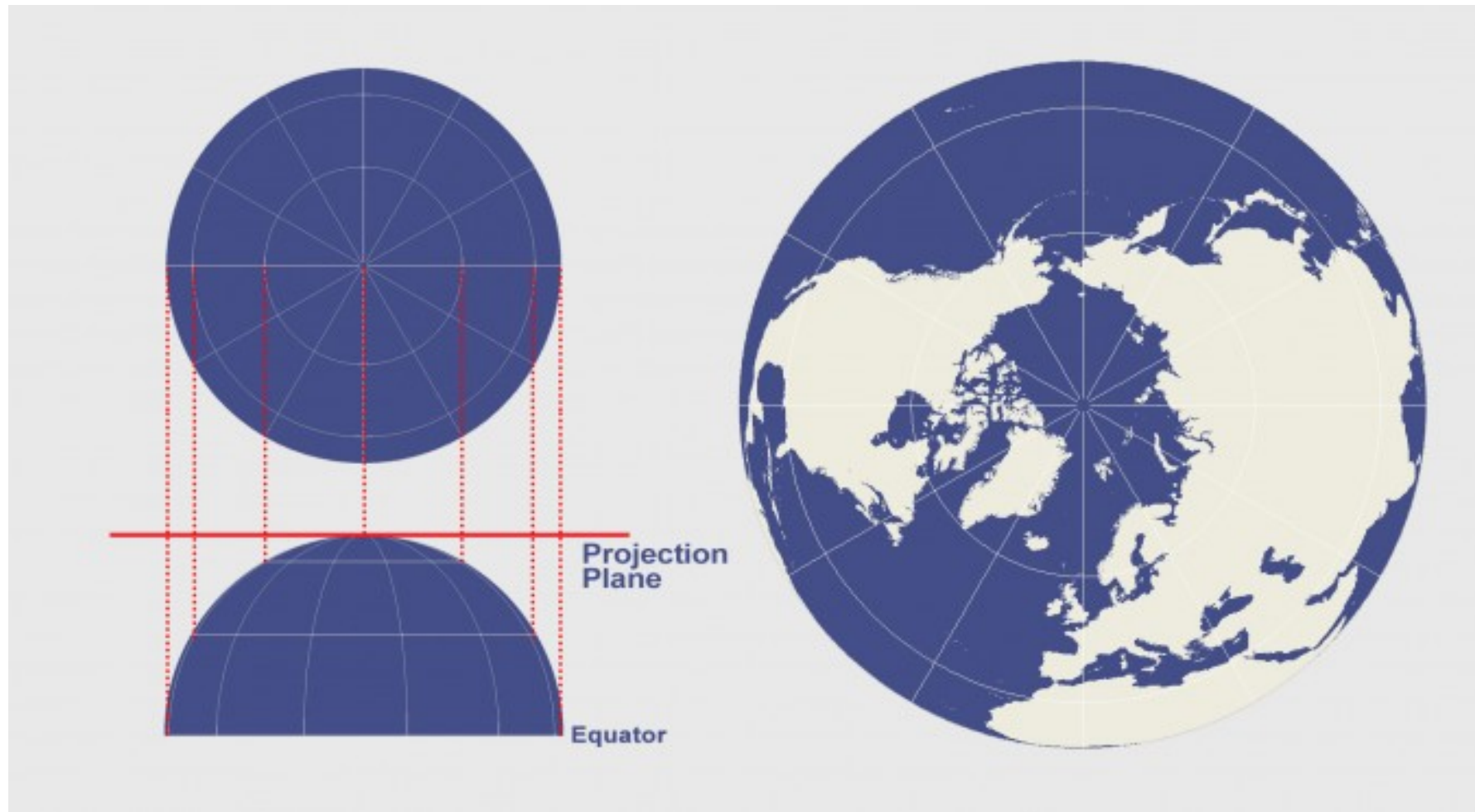
# Válcová projekce



# Kuželová projekce



# Azimutální projekce





# Výhody projekcí

- **Válcová:** *loxodroma* (mořeplavci) + čtvereček ve čtverečku (IT)
- **Kuželová:** tečna kužele a koule nezskreslená (lokální optimum)
- **Azimutální:** asi to jediné, co jde dělat kolem pólů...

# Řešený příklad

**2-projekce.R**

# Zápis souřadnic

Zeměpisný × Rovinný



# Popis souřadnic: WKT

```
PROJCS["S-JTSK / Krovak East North",  
  GEOGCS["S-JTSK",  
    DATUM["System_Jednotne_Trigonometricke_Site_Katastralni",  
      SPHEROID["Bessel 1841",6377397.155,299.1528128,  
        AUTHORITY["EPSG","7004"]],  
      TOWGS84[589,76,480,0,0,0,0],  
      AUTHORITY["EPSG","6156"]],  
    PRIMEM["Greenwich",0,  
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],  
    UNIT["degree",0.0174532925199433,  
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],  
    AUTHORITY["EPSG","4156"]],  
  PROJECTION["Krovak"],  
  PARAMETER["latitude_of_center",49.5],  
  PARAMETER["longitude_of_center",24.83333333333333],  
  PARAMETER["azimuth",30.28813972222222],  
  PARAMETER["pseudo_standard_parallel_1",78.5],  
  PARAMETER["scale_factor",0.9999],  
  PARAMETER["false_easting",0],  
  PARAMETER["false_northing",0],  
  UNIT["metre",1,  
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],  
  AXIS["X",EAST],  
  AXIS["Y",NORTH],  
  AUTHORITY["EPSG","5514"]]
```

- Well Known Text
- Standard OGC
- Komplexní přístup (v dobrém i zlém)

# Popis souřadnic: PROJ

```
proj=krovak  
+lat_0=49.5  
+lon_0=24.8333333333  
33333  
+alpha=30.288139722  
22222 +k=0.9999  
+x_0=0 +y_0=0  
+ellps=bessel  
+towgs84=589,76,480  
,0,0,0,0 +units=m  
+no_defs
```

- open source knihovna pro převod souřadnic
- Méně "ukecaná" / flexibilní než WKT
- Jeden z kamenů pod {sf}

# Popis souřadnic EPSG

EPSG:5514

- (původně) European Petroleum Survey Group
- Standardizace nejčastějších systémů výčtem
- Na EPSG se odkazuje WKT

# Základní operace s CRS

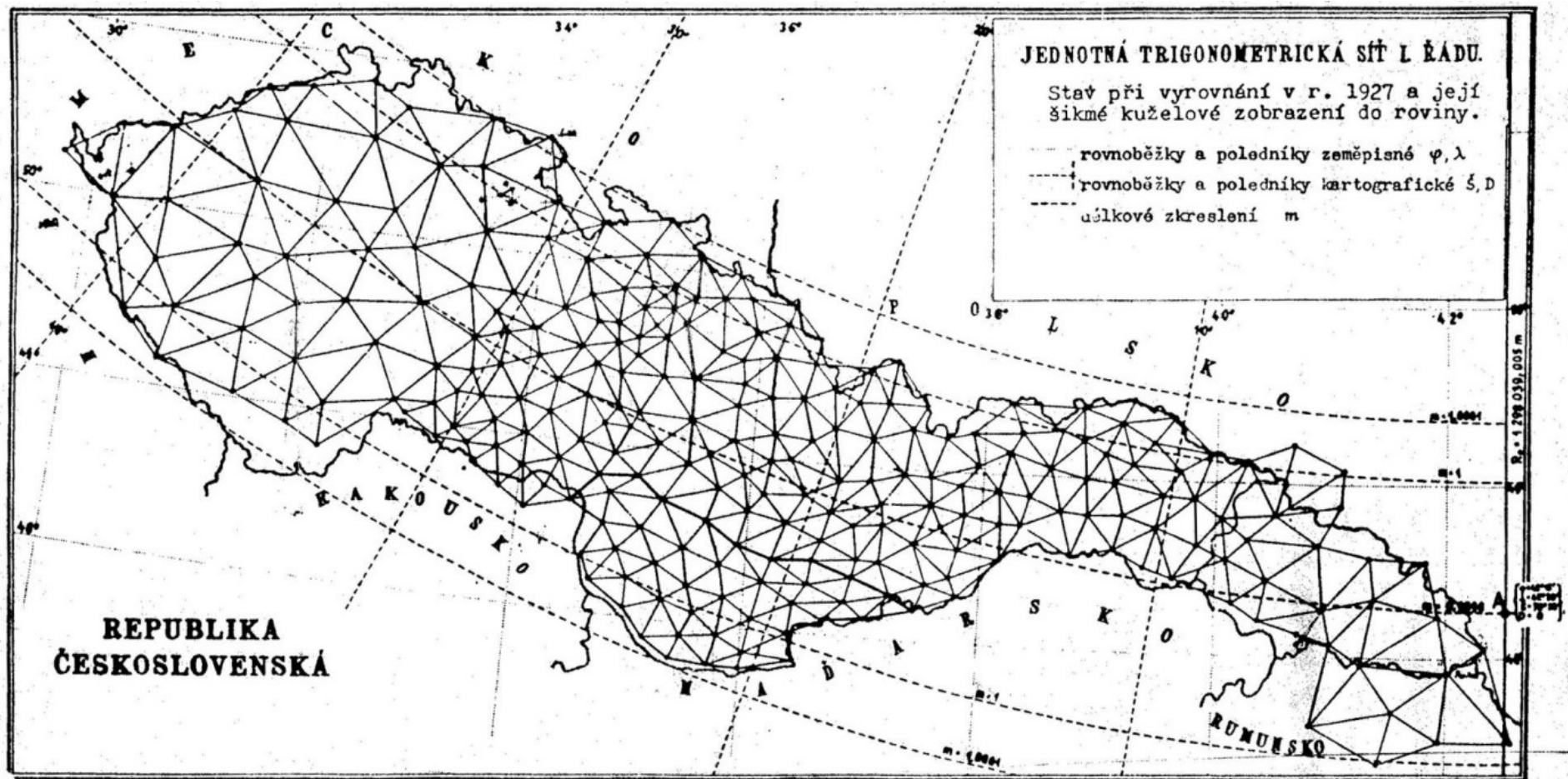
- Jak zjistím, jaký CRS má můj objekt? `sf::st_crs()`
- Jak změním CRS objektu?  
`sf::st_transform()`

# Klíčové systémy

- WGS84 / EPSG:4326
  - Zeměpisný systém (ve stupních)
  - Základ pro ukládání dat
- Inž. Křovák / EPSG:5514
  - Rovinný systém (v metrech)
  - Obecně závazný v ČR



# System inž. Křováka



# Klíčové operace

V kontextu  $\{sf\}$

# Podle typu geometrie

- Bod: *souřadnice* – zeměpisné i rovinné  
`sf :: st_coordinates(x)`
- Čára: *délka* – vždy v délkových mírách  
`sf :: st_length(x)`
- Polygon: *plocha* – v plošných mírách  
`sf :: st_area(x)`
- Všechny typy: vzdálenost – v délkových mírách  
`sf :: st_distance(x, y)`

# Řešený příklad

**2-tři-kameny.R**

# Řešený příklad

**2-dopady-projekce.R**



# Prostorové propojení

- Sloučení datové složky ze dvou prostorových objektů

```
sf::st_join(x, y, left = T)
```

- Pozor na "strannost" propojení:  
default = left join; pro inner join třeba změnit `left = F`

# Řešený příklad

**2-bod+polygon.R**

# Testy geometrie

- Test průsečíku

```
sf::st_intersects(x, y)
```

- Test dotyku

```
sf::st_touches(x, y)
```

- Test bodu v polygonu

```
sf::st_contains(x, y)
```

# Index nebo vektor?

- `sparse = TRUE` (default) vrací řídký index – pořadí prvků, které splňují podmínku
- `sparse = FALSE` vrací logický vektor stejné délky jako vstup
- Osobně preferuji práci s vektory

# Modely geometrie

- Standard topologie **DE-9IM**
- GEOS ( $\{sf\}$  v rovině) v souladu
  - všechny objekty obsahují svůj okraj
- S2 ( $\{sf\}$  na kouli) má vlastní přístup:
  - CLOSED = objekty obsahují okraj
  - OPEN = objekty neobsahují okraj
  - SEMI-OPEN = objekty obsahují polovinu okrajů (tj. sousedi se nepřekrývají)



# Příklad: Sousedí Francie

- Seřadit sousedy Francie podle délky hranice
- Problém:
  - Získat země světa, vybrat Francii
  - Získat sousedy Francie
  - Získat společnou hranici
  - Zjistit délku, podat zprávu

# Řešený příklad

**2-sousedí-francie.R**

# Příklad: WC v Praze

- Zjistit počet veřejných záchodků po částech Prahy
- Problém:
  - Získat záchody jako body
  - Získat čtvrti jako polygony
  - Prostorově spojit data (point in polygon)
  - Podat zprávu

# Řešený příklad

**2-wc-v-praze.R**

# Základní rastrové operace

- Oříznout raster (do souřadnic)

```
raster::crop()
```

- Vymaskovat raster (obecný polygon)

```
raster::mask()
```

- Přenést data na vektorové polygony

```
exactextractr::exact_extract()
```



# Příklad: zastavěnost krajů

- Zjistit % plochy krajů v ČR pokrytých zástavbou / ze satelitu Copernicus
- Problém:
  - Získat zastavěnou plochu jako rastr
  - Získat kraje jako polygony
  - Přenést informaci z rastru na vektor
  - Podat zprávu

# Řešený příklad

**2-raster-kraje.R**

# Šerý dávnověk: {sp}

- Než přišel balíček {sf} (2017), používal se balíček {sp}
- Stejní autoři, jiný koncept
- Občas se hodí převod:
  - `sp 2 sf = sf :: st_as_sf(x)`
  - `sf 2 sp = as(x, "Spatial")`

# Klíčové body

- Souřadnicové systémy
  - zeměpisné × plošné
  - převody mezi nimi
- Testy dvou geometrií
  - Průnik, dotek, blízkost
- Prostorové propojení 2 objektů