

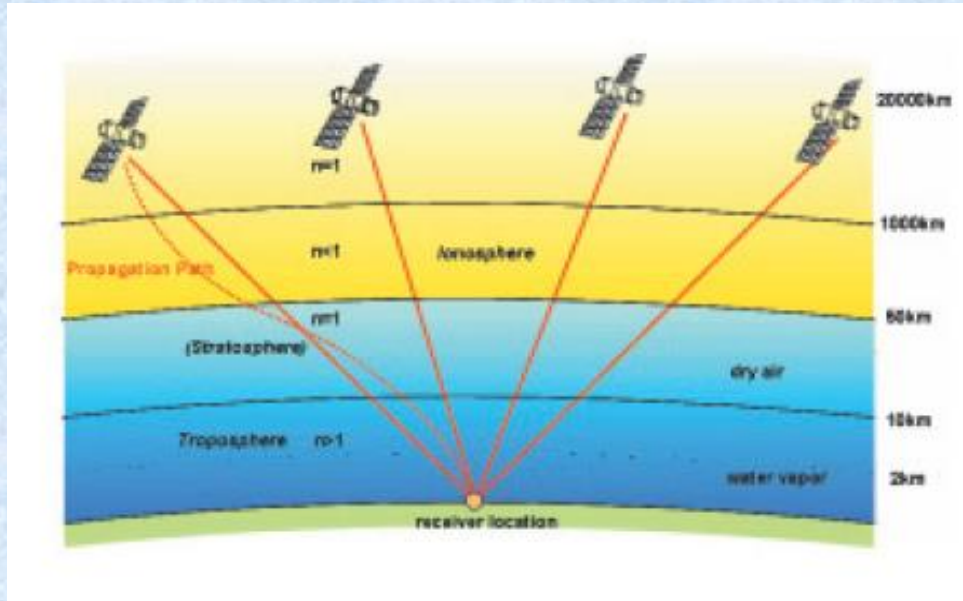
# **Evropský satelitní navigační systém Galileo.**

**Josef Boška.**

Ústav fyziky atmosféry AVČR

# Globální družicové polohové systémy:

- GPS (USA)
- GLONASS (Rusko)
- GALILEO (EU civilní)
- COMPASS (Čína)
- Regionální (BEIDOU, IRNSS, QZSS).



Signály ze satelitů se šíří různými vrstvami atmosféry. Rychlost šíření se mění se změnami indexu lomu atmosféry. Ionosféra  $n < 1$ , troposféra  $n > 1$ . To má zásadní vliv na přesnost systémů.

## **Satelity Galileo:**

<b>GIOVE</b>	<b>2005 - 2008</b>	<b>2</b>
<b>IOV</b>	<b>2011 - 2012</b>	<b>4</b>
<b>IOC</b>	<b>2014 - 2015</b>	<b>14</b>
<b>FOC</b>	<b>2016 - 2017</b>	<b>12</b>

**System využívá kanály L1, E5 a E6. Přesnost dosažitelná systémem Galileo v komerční části by měla být lepší než 10 cm.**

System Galileo by měl začít poskytovat první služby do konce roku 2014, plně funkční by měl být na přelomu let 2019 a 2020. Plánováno je na oběžné dráze 30 satelitů.

# Zdroje nepřesnosti satelitní navigace:

<b>• Příčina</b>	<b>Velikost</b>
• Efemeridy družic	$\pm 2,1\text{m}$
• Družicové hodiny	$\pm 2,1\text{m}$
• <u>Ionosférická refrakce</u>	<u><math>\pm 4,0\text{m}</math></u>
• Troposférické refrakce	$\pm 0,7\text{m}$
• Vícecestné šíření signálu	$\pm 1,4\text{m}$
• Přijímač	$\pm 0,5\text{m}$

Hodnoty lze očekávat za klidných podmínek po aplikaci korekcí.

## Největší zdroj nepřesnosti ionosféra.

V důsledku existence volných elektronů je klíčovým parametrem pro navigaci TEC, což je obsah elektronů ve sloupci o ploše  $1\text{m}^2$  z místa pozorování k satelitu:

$$TEC = \int Ne \cdot ds$$

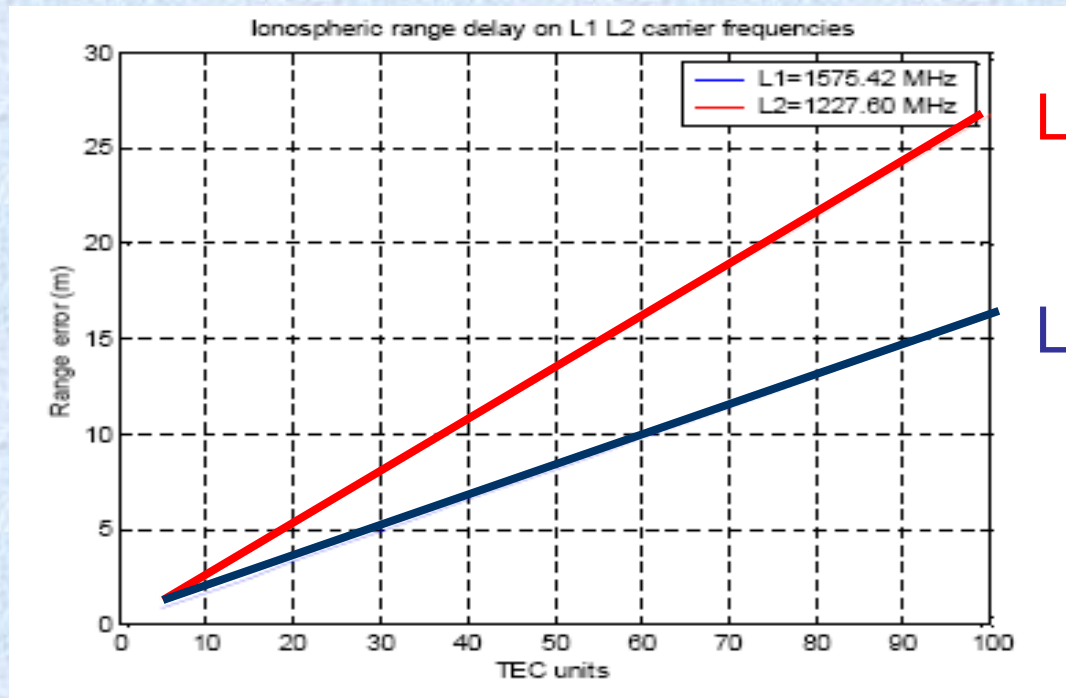
$$\Delta_{gr}^{ion} = + \frac{40.3}{f^2} TEC$$

**Excesivní dráha pro grupové zpoždění, relevantní pro kódová měření**

$$\Delta_{ph}^{ion} = - \frac{40.3}{f^2} TEC$$

**Excesivní dráha pro fázové zpoždění, relevantní pro měření fáze nosné vlny**

Frequency	$TEC = 10^{16} \text{ el/m}^2$	$TEC = 10^{18} \text{ el/m}^2$
100 MHz	40 m	4030 m
400 MHz	2.5 m	250 m
1200 MHz	0.28 m	28 m
1600 MHz	0.16 m	16 m
5000 MHz	0.016 m	1.6 m

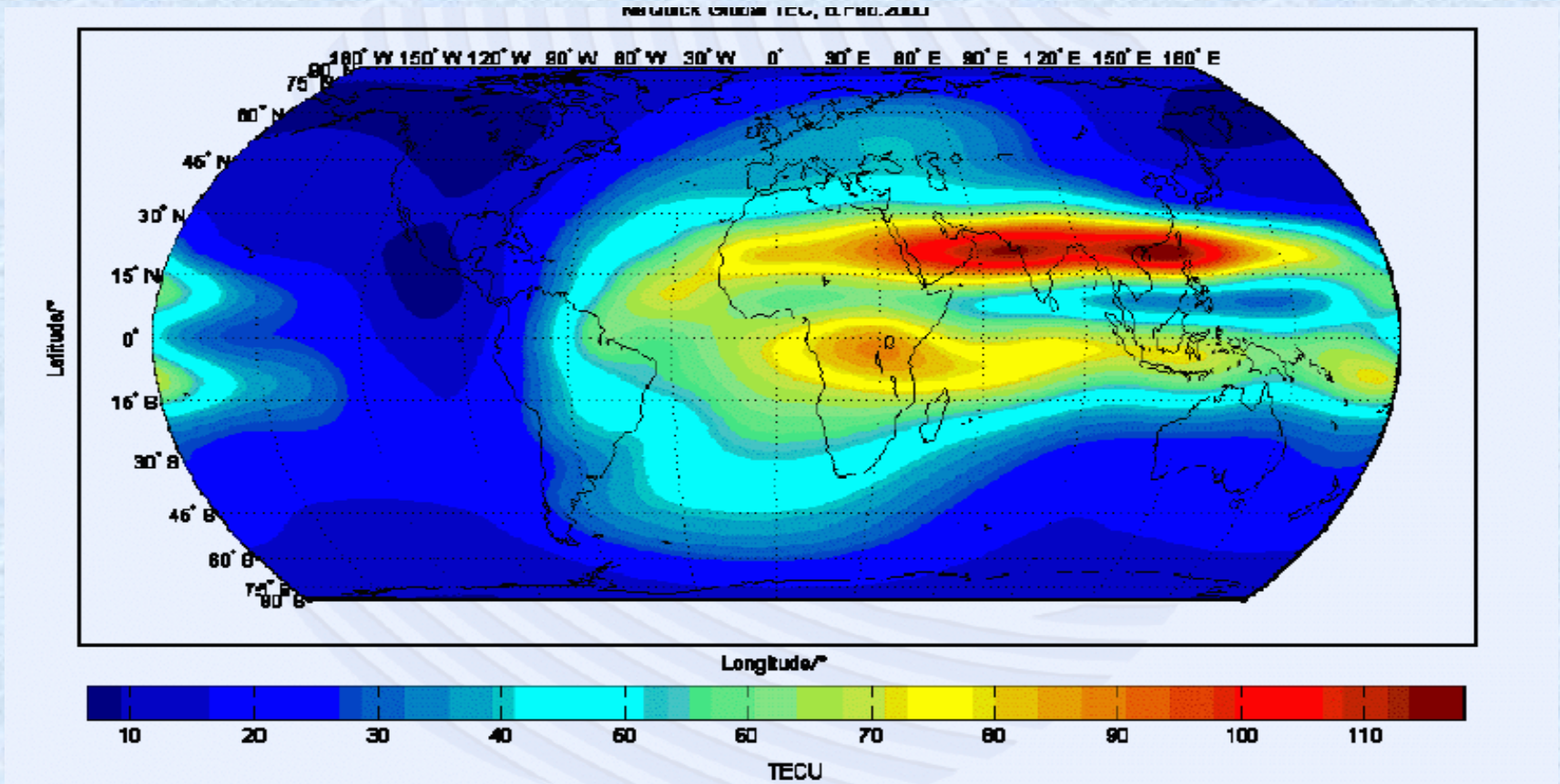


**Závislost ionosférického zpoždění na TEC a frekvenci signálu.**

# Variace TEC:

- 11 letý cyklus sluneční aktivity
- Roční variace (zimní anomálie)
- 27 denní variace sluneční rotace
- Silná denní variace
- Regionální variace
- Scintilace ionosféry: max. 20° okolo magnetického rovníku, aurorální oblast
  
- Krátkodobé změny:
- Geomagnetické bouře
- TID events a pod.

# Příklad globální mapy TEC



2000-02-08

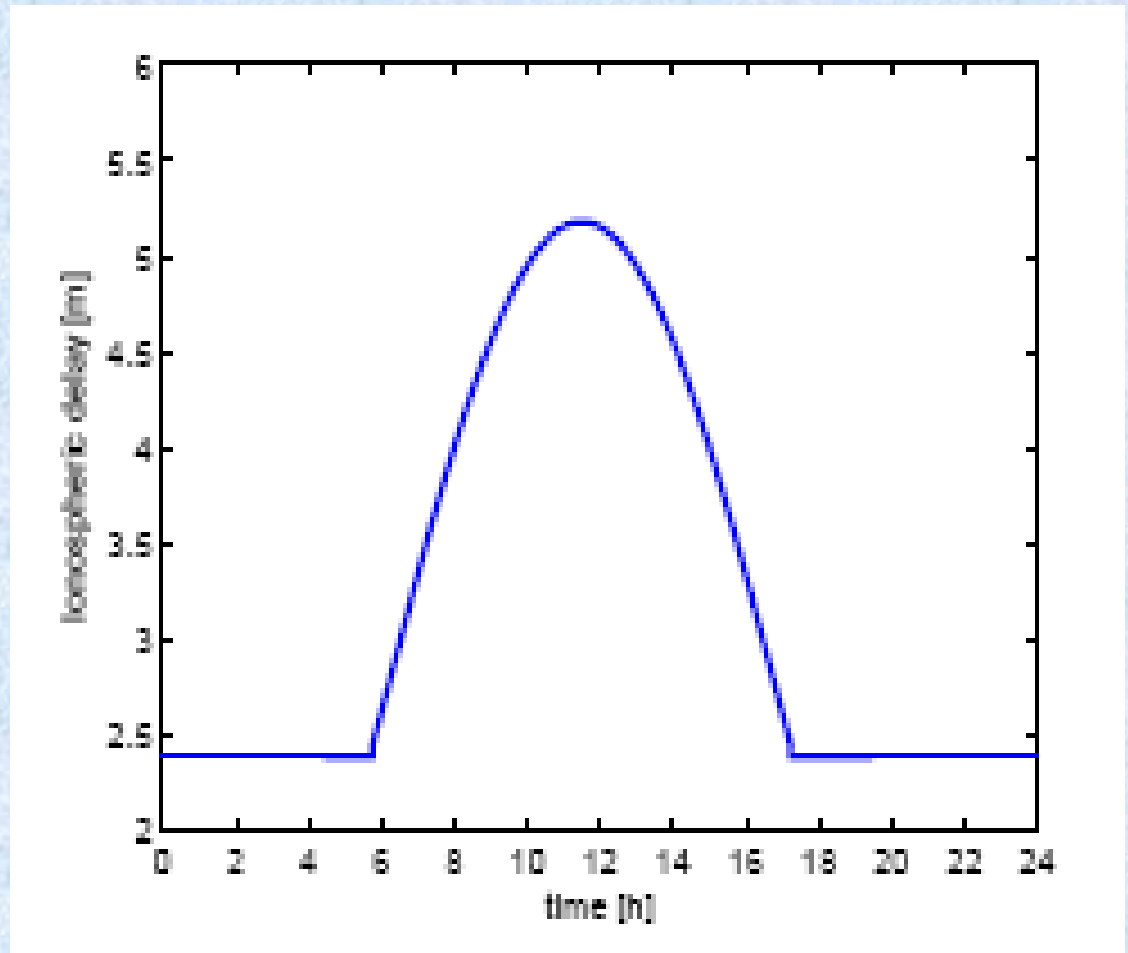


# Korekce ionosférické chyby GNSS pomocí modelů.

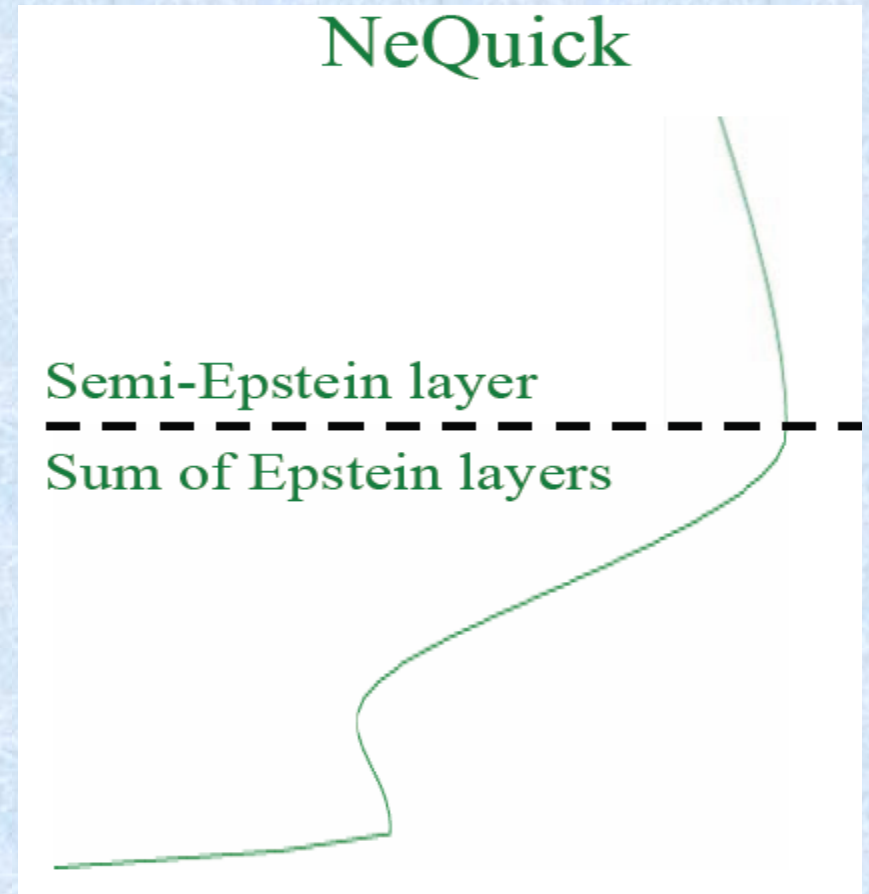
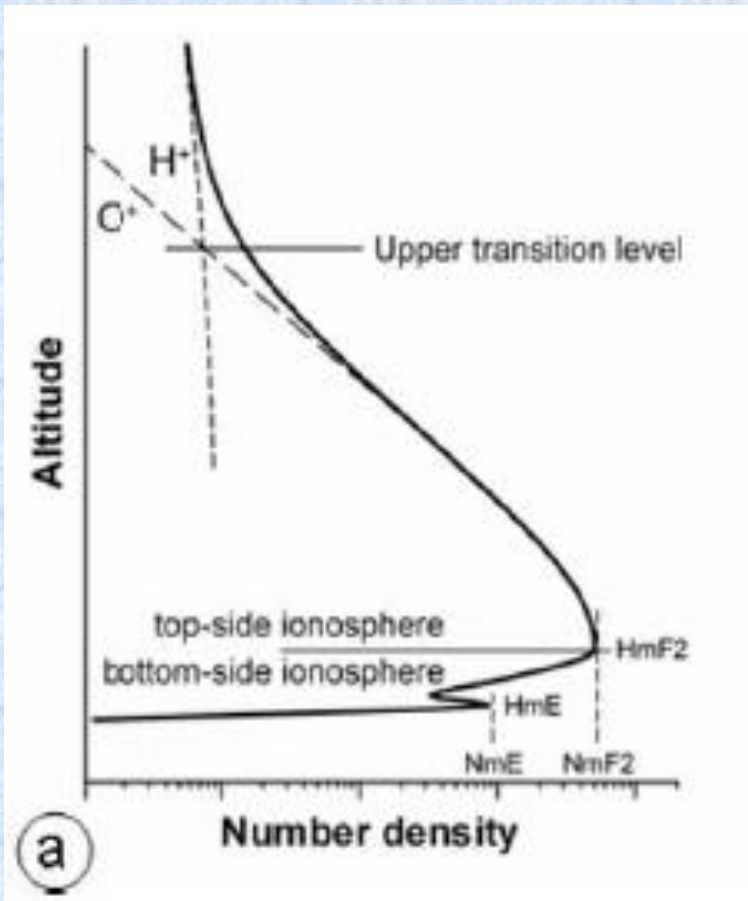
- Korekční modely předpovídají ionosferickou chybu bez měřených dat.
- **Klobucharův model:** nejstarší a nejpoužívanější model. Vytvořený pro GPS single frequency stanice na frekvenci L1. Jeho přesnost je ovšem pouze 50%.
- **Model NeQuick 2:** vyvinutý a doporučený ITU-R jako standard pro použití v systému Galileo.

# Klobucharova korekce.

- Reálná ionosféra je nahrazena jednou parabolickou vrstvou



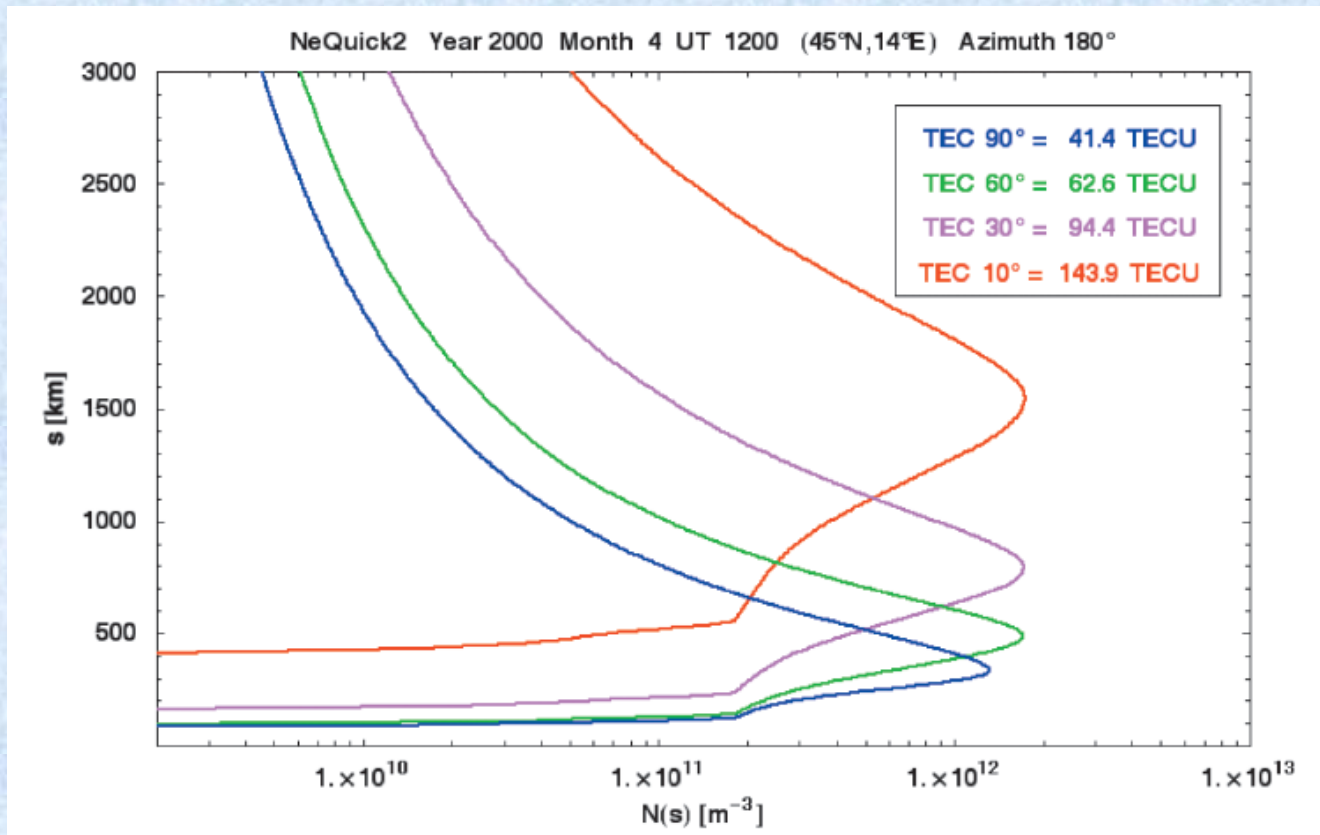
# Model NeQuick 2.



## Vstupní data:

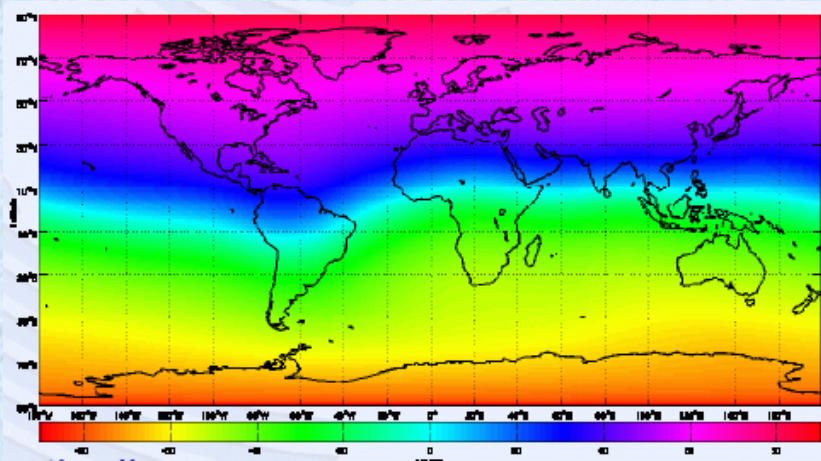
- NeQuick model bude používán pro výpočet elektronové koncentrace podél dráhy satelit-přijímač a pak integrací pro výpočet odpovídající hodnoty STEC. Jako vstupní data slouží
  - posice satelitu,
  - posice přijímače,
  - datum a rok
  - čas v UT.
- jako standartní vstupní parametr model vyžaduje měsíční medián slunečního radiového toku na vlnové délce 10,7 cm F10,7, který vyjadřuje úroveň sluneční aktivity v daném období. V systému Galileo bude na jeho místě použita funkce “effective ionisation level”.

# Real time ionosferická korekce pro single frequency přijímače používající NeQuick model.



NeQuick 2 profily a TEC podél dráhy paprsku pro daný čas, místo a sluneční aktivitu. 90° vertikální profil a TEC. NeQuick model plánován pro použití v systému Galileo.

# Funkce effective ionisation level:



Modip mapa

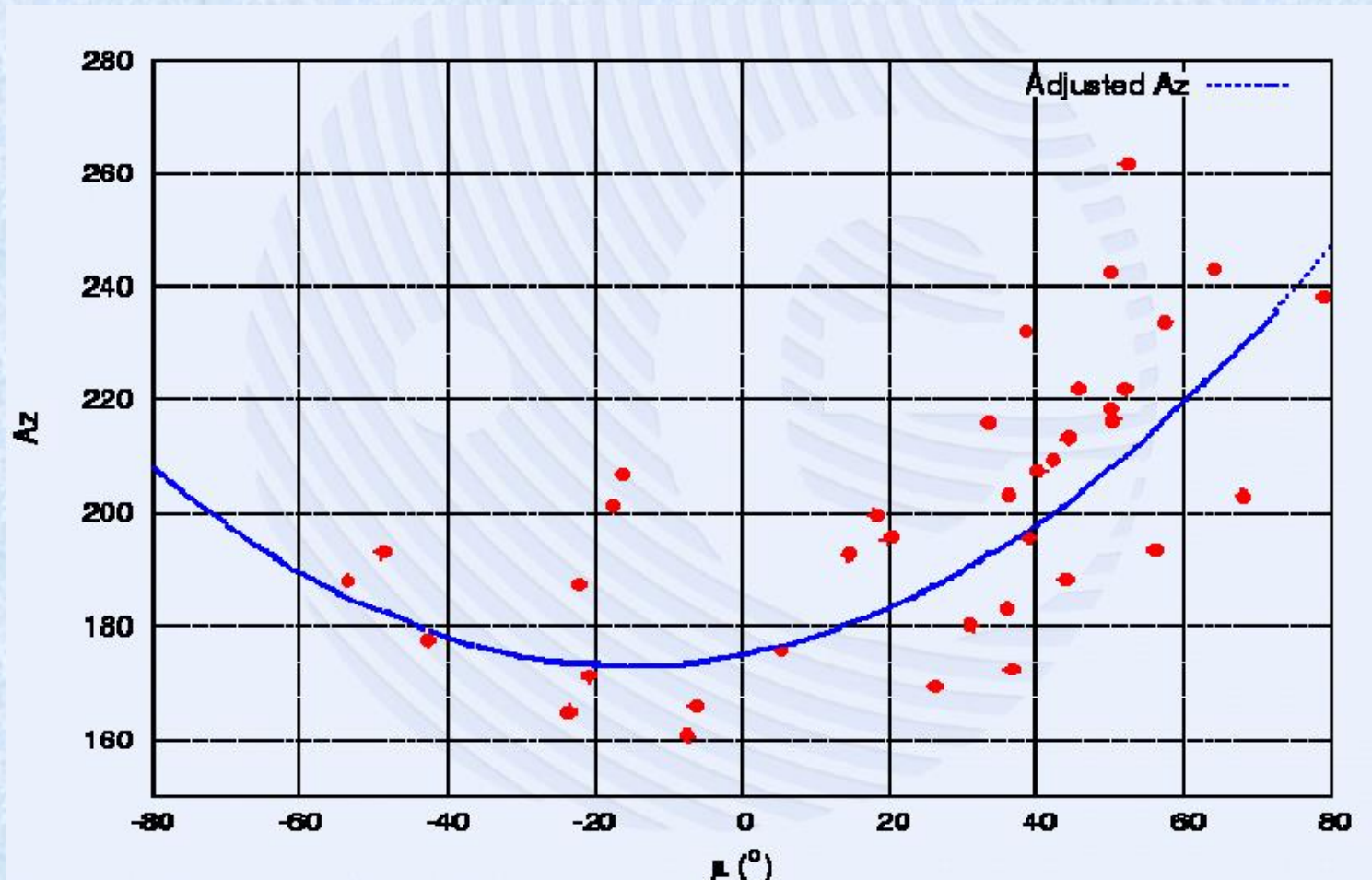
$$A_z = a_{i0} + a_{i1} \cdot \mu + a_{i2} \cdot \mu^2$$

Efektivní úroveň ionizace.

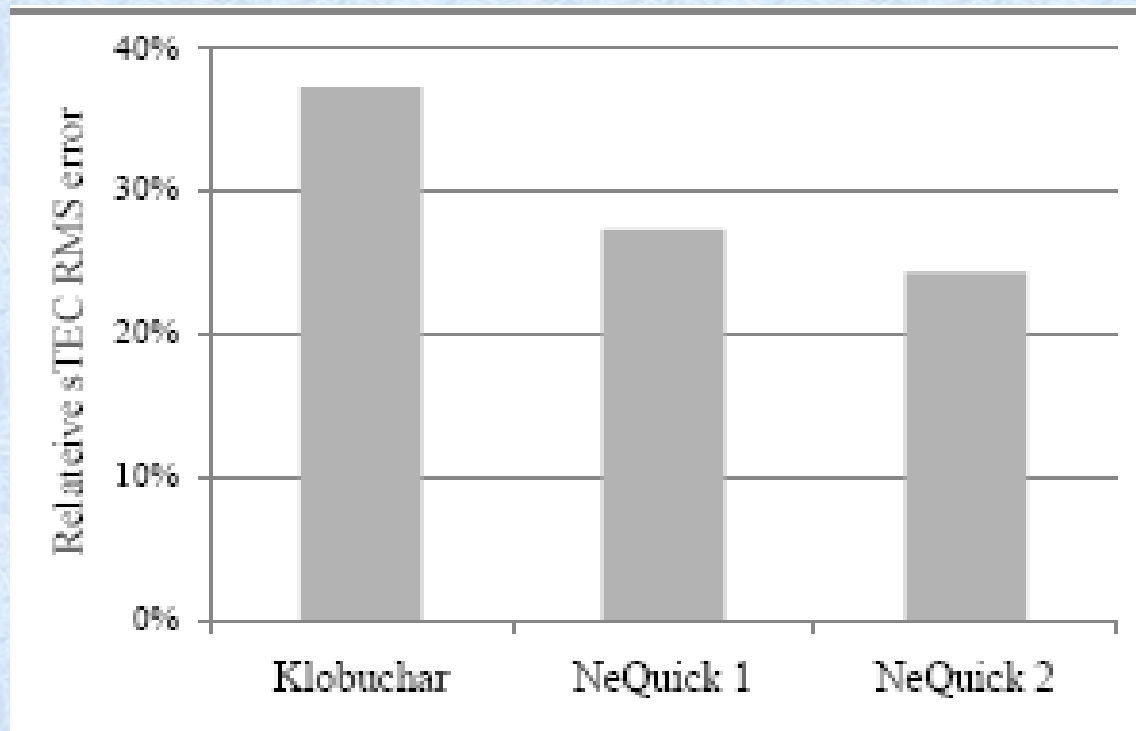
Bude použita na místě slunečního toku.

Koeficienty  $a_i$  budou obnovovány každých 24 hodin.

# Příklad $A_z$ ( $\mu$ ).



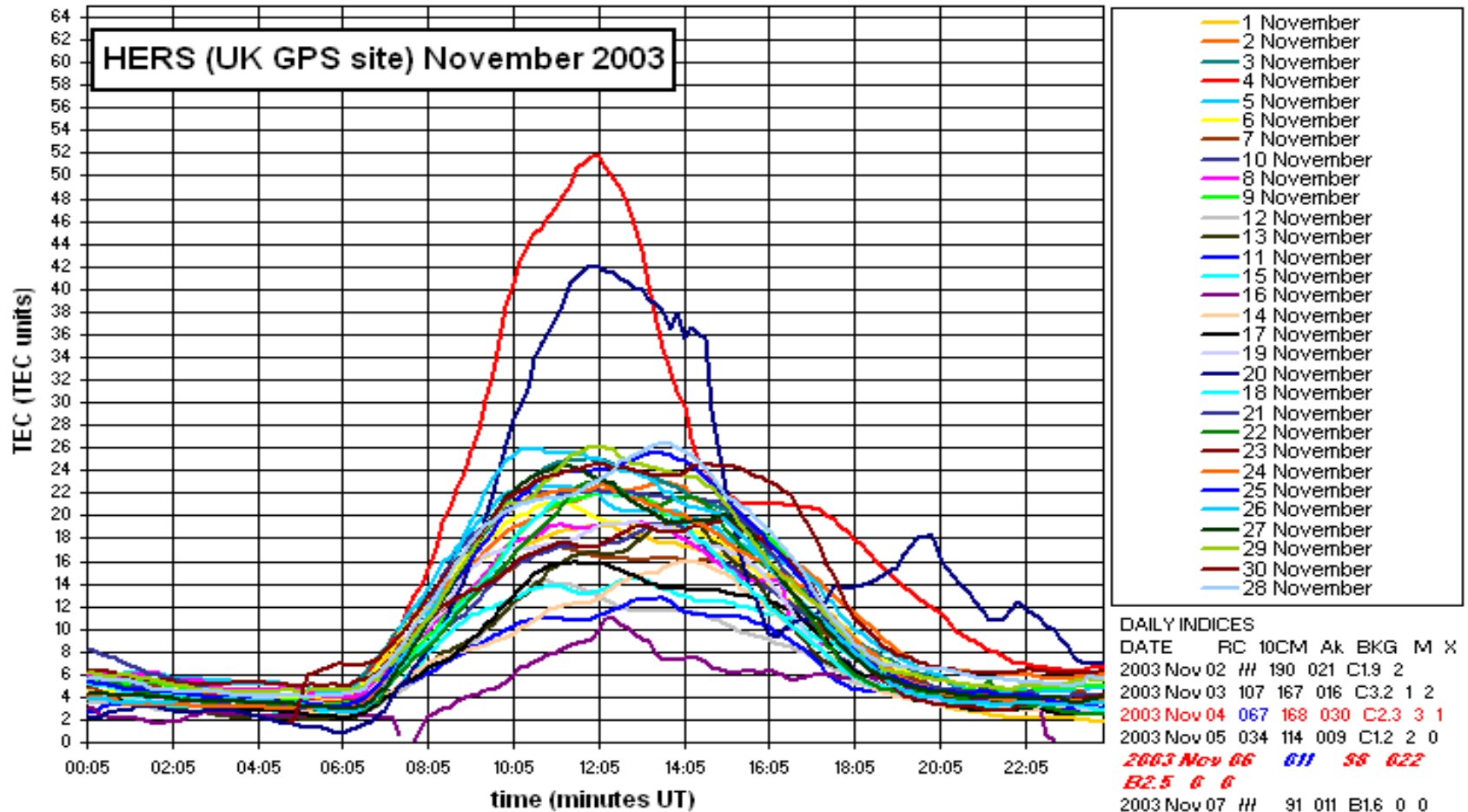
# Výkon ionosferických korekcí .



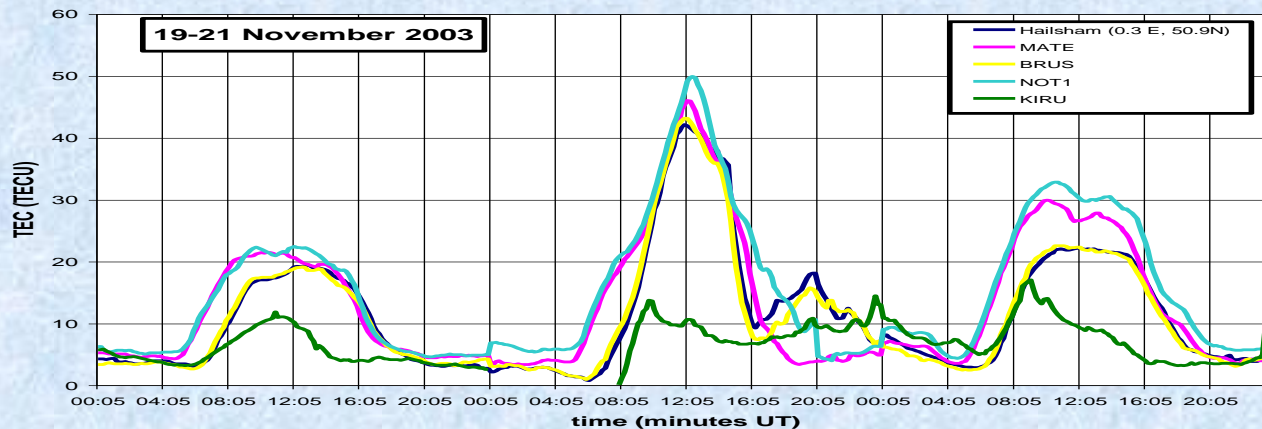
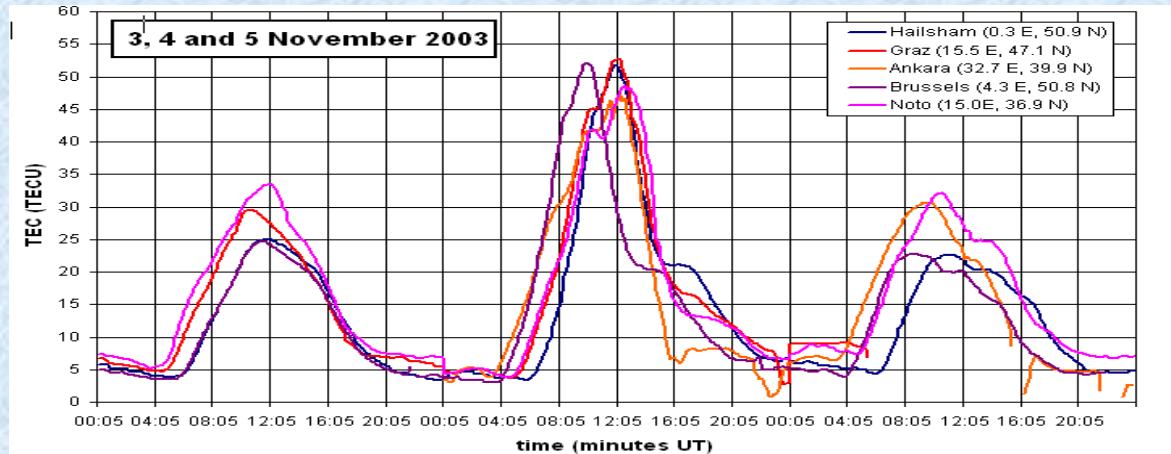
(Bidaine, Warnant, 2011).



# TEC listopad 2003.



# TEC v průběhu ionosférických bouří listopad 2003.



**Děkuji za pozornost.**