

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2023

**Bc. TEREZA
KRÁLOVÁ**

Zadání

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Králová	Jméno: Tereza	Osobní číslo: 477052
Zadávající katedra: 155 - geomatika		
Studijní program: geodézie a kartografie		
Studijní obor: inženýrská geodézie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zpracování a analýza časových řad souřadnic permanentních stanic GNSS v Řecku	
Název diplomové práce anglicky: Processing and Analysis of Time Series of Coordinates of Permanent GNSS Stations in Greece	
Pokyny pro vypracování: Cílem diplomové práce je určení rychlostí pohybu GNSS stanic v seismoaktivní oblasti v Řecku - západní část Peloponéského poloostrova a Korintského zálivu. Navržený postup: 1. Zpracování měřených dat z permanentních GNSS stanic pomocí služby Precise Point Positioning, kterou provozuje Natural Resources Canada 2. Vytvoření časových řad souřadnic 26 stanic a jejich analýza 3. Porovnání výsledných rychlostí s předchozími publikovanými výsledky V textu práce popište realizaci jednotlivých kroků.	
Seznam doporučené literatury: Bevis M., Brown A.: Trajectory models and reference frames for crustal motion geodesy. J Geod (2014) 88:283-311, doi: 10.1007/s00190-013-0685-5 Lyros E., Kostecký J., Plicka V., Filler V., Sokos E., Nikolakopoulos K.: Detection of Tectonic and Crustal Deformation using GNSS Data Processing: The Case of PPGNet. Civil Engineering Journal (Tehran), (2021), Vol. 7, No. 01, pp. 14-23, doi: 10.28991/cej-2021-03091633 Briole P., Ganas A., Elias P., Dimitrov D.: The GPS velocity field of the Aegean. New observations, contribution of the earthquakes, crustal blocks model. Geophysical Journal International (2021) 226, pp. 468-492. doi: 10.1093/gji/ggab089	
Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Jakub Kostecký, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 20. 2. 2023	Termín odevzdání DP v IS KOS: 22. 5. 2023
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Zpracování a analýza časových řad souřadnic permanentních stanic GNSS v Řecku vypracovala samostatně. Veškeré použité informační zdroje jsou uvedeny v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 1.5.2023

Bc. Tereza Králová

Poděkování

Rada bych poděkovala doc. Ing. Jakubu Kosteckému, Ph.D. za vedení a rady v průběhu zpracování závěrečné práce. A také za trpělivost a připomínky týkající se problematiky.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá pozorováním geokinematiky v oblasti jihozápadního Řecka, tedy oblasti seismicky aktivní. Cílem práce bylo sestavit grafy a provést analýzu časových řad souřadnic určených z dlouhodobých pozorování metodou GNSS a zjištění – posuny stanic v čase – porovnat s předchozími výsledky a také se závěry seismických studií. Zpracování GNSS pozorování bylo provedeno s pomocí webové služby PPP se zavedením atmosférických korekcí. Parametry aproximace časových řad byly určeny metodou nejmenších čtverců. Z aproximací časových řad zvolenými funkcemi byly získány mimo jiné velikosti posunů stanic v čase. Zjištěný soulad či nesoulad získaných informací je shrnut v závěru.

Klíčová slova

- Časové řady
- Síť stanic GNSS
- Geodynamika
- Řecko
- Predikce posunů
- Vyrovnání MNČ
- Aproximace

Abstract

This diploma thesis deals with the observation of geokinematics in the area of south-western Greece, that is the seismically active area. The goal of the work was to compile graphs and to compose time series of coordinates determined from long-term observation using the GNSS method and to compare the results - station shifts over time - with previous results and also with the conclusions of seismic studies. The processing of GNSS observations was done using PPP web services with the introduction of atmospheric corrections. The time series approximation parameters were got from adjustment by the least-squares method. From time series approximations, where was used the selected functions, we got among other things, the stations shifts in time. The observed conformity or non-conformity of the obtained information is summarized in the conclusion.

Keywords

- Time series
- GNSS stations network
- Geodynamics
- Greece
- Prediction of shifts and slips
- Adjustment: least-square method
- Aproximation

Obsah

1	Použité zkratky	9
2	Úvod	10
3	Oblast Řecko.....	11
3.1	Oblast pozorování	11
3.2	Síť stanic	11
3.2.1	Stanice a jejich označení	11
3.2.2	Starší stanice	11
3.2.3	Novější stanice	11
3.3	Stabilizace, realizace stanic	11
3.4	Foto stanic.....	12
3.5	poloha a souřadnicový systém.....	13
3.5.1	ITRS.....	13
3.5.2	Souřadnice BLH	13
3.5.3	Souřadnice NEU.....	13
3.5.4	ITRF.....	14
3.6	Chybějící data, zrušení stanice	15
4	Geologický vývoj.....	15
4.1	Tektonika v Oblasti.....	15
4.2	Litosférické desky	16
4.3	Pohyb lit. desek	17
4.4	Trhliny a jejich zobrazení.....	18
5	Práce s daty	19
5.1	GNSS měření	19
5.2	Elevační maska	19
5.3	Atmosférické korekce	20
5.4	Data	20
5.5	Zpracování struktury složky	21
5.6	NRCAN webová služba Precise Point Positioning	21
5.6.1	Princip PPP	22
5.7	Programy.....	22
5.7.1	práce PuTTY.....	22
5.7.2	Kontrola programů.....	22
5.7.3	Transformace BLH na NEU	22

6	Analýza dat.....	23
6.1	Definice časové řady	23
6.2	Časové řady	23
6.3	Chyby, skok posun.....	23
6.4	Trendy	23
6.5	Sezónní vlivy.....	23
6.6	Vyrovnaní MNČ	23
6.7	Výpočet	25
6.8	Grafy.....	26
7	Posuny.....	45
7.1	Skoková změna souřadnice.....	45
7.2	Posuny tabulka	45
7.3	Posuny	47
7.4	Změny dilatace a komprese	47
8	Závěr.....	47
10	Seznam Obrázků.....	49
11	Seznam Grafů.....	50
12	Seznam tabulek	51
13	Seznam rovnic	51
14	Seznam příloh.....	52
15	Zdroje použitých dat	52
16	Reference	54

1 Použité zkratky

- AE zlom Achaia-Elia
- CR Korintská trhlina
- GEM global earthquake model
- GNSS Global Navigation Satellite System
- GPS Global Positioning System
- HSZ Hellenic Subduction Zone
- ITRF International Terrestrial Reference Frame
- ITRS International Terrestrial Reference System
- KF zlom Kefalonia Fault
- KSF zlom Katouna-Stmna
- LIT litosférická
- MNČ Metoda Nejmenších Čtverců
- NAVSTAR Navigation Signal Timing and Ranging
- NRCAN Natural Resources Canada
- PPP Precise Point Positioning
- PSD Post-Seismic Deformation
- QIF Quasi-Iono Free
- RINEX Receiver Independent Exchange Format

2 Úvod

Tématem práce je pozorování změn polohy GNSS (Global Navigation Satellite Systems) stanic na Peloponésském poloostrově, konkrétně v jihozápadním Řecku (provincie, ostrovy), jenž má velký seismologický a geokinematický potenciál. Důvodem těchto pozorování je analýza seismologické aktivity a dlouhodobé sledování za účelem predikce geokinematických jevů. Jedná se o oblast s osídlením, která je náchylná na zemětřesení, jež představuje velké riziko pro místní obyvatelstvo.

Pozorování změn polohy GNSS stanice je založeno na zpracování dat GNSS observací z počátku 21. století. V poslední dekádě přibýly nové stanice a došlo ke zpřesnění modelů a metod zpracování zejména v oblasti oprav atmosférických vlivů a redukci chyb používaných modelů. Jedná se o analýzu časových řad z nasbíraných dat v posledním desetiletí. Výchozími daty byla měření GNSS, která byla zpracovávána pro jednotlivé dny. Z denních dat byly vytvořeny časové řady seřazením podle epochy pozorování a následně získány změny souřadnic (tj. polohy) jednotlivých stanic.

Pozorování sestavená v časových řadách byla analyzována podle jednotlivých složek souřadnic v lokálním systému s osami na sever, východ a třetí osou směřující vzhůru. V prvním kroku byly odstraněny omyly a chyby se známou příčinou. Indikované skoky v řadě jsou předpokládána zemětřesení. Časové řady byly zobrazeny graficky jako celek pro 3 složky s odsazením.

V dalším kroku byly časové řady analyzovány s cílem sledování celkového trendu a sezónních periodicit. Hlavním cílem bylo prokázání posunů v souřadnicích stanic v závislosti na čase pomocí aproximace sesbíraných dat lineárně-periodickou funkcí X . Dojde tak k analýze posunů v dlouhodobém horizontu pozorování. Získaný pohyb stanic je vztažen ke stabilnímu mezinárodnímu systému.

Pro další porovnání byly veškeré posuny referencovány dvěma způsoby. Prvním způsobem bylo vztažení k jedné stanici, jenž je považována za stabilní. Ve druhém případě byly posuny vztaženy vůči dvojici stanic.

Primárně je sledován geokinematický vývoj v této sledované oblasti. Taktéž byla sledována přesnost polohy jednotlivých GNSS stanic. Geodetické posuny vycházející z GNSS observací byly porovnány s posuny, určenými z geofyzikálních a geologických pozorování v oblasti. Výsledkem je grafické znázornění posunů v dané oblasti.

Pozorované trendy mohou vést k předpovědi budoucích posunů, resp. k předpovědi kumulace napětí, jenž může vést k zemětřesení. Skokové posuny odpovídají zemětřesení a seismologické aktivitě v oblasti. V analýze bylo také přihlíženo k doplňkovým informacím, parametrům antén a změnám v poloze GNSS aparatur.

3 Oblast Řecko

3.1 Oblast pozorování

Oblast, ve které byla sbírána data a pozorovány posuny, se nachází na Balkánském poloostrově, ve státě Řecko, jednak v jihozápadní části poloostrova, jednak na přilehlých ostrovech. Zájmová oblast leží na hranici dvou litosférických desek, což je příčinou zemětřesení.

3.2 Síť stanic

3.2.1 Stanice a jejich označení

Pozorované stanice jsou označovány kódem složeným ze čtyř znaků. Toto značení vychází z názvu místa, většinou města, kde je stanice umístěna. Tímto jednoduchým způsobem jsou stanice snadno identifikovatelné. Každý kód je unikátní a neexistují duplicity kódů. Toto zkrácené značení bylo použito v tabulkách, grafech a u vizualizace oblasti.

3.2.2 Starší stanice

Od roku 2013 probíhalo pozorování deformací zemské kůry za pomoci sítě PPGNet, čítající 6 stanic (KTCH, LEPE, PVOG, RGNI, RETS, VALY). Přijímače byly typu Leica, Trimble a Septentrio, jejich vlastníky jsou Univerzita Karlova v Praze, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Česká republika. Universita v Patrasu, Řecko, zodpovídá za jejich provoz. Měřená data obsahují signály z navigačního systému GPS NAVSTAR ve formátu RINEX. Pro zpracování byla použita data s intervalem záznamu 30 sekund. Cílem této monitorovací sítě bylo pozorovat rychlost deformací u dvou zlomových systémů. Síť doplněna 4 stanicemi GNSS Národní observatoře v Athénách (NOA) a 6 stanicemi soukromé geodetické společnosti METRICA. Výsledkem observací je pozorování známých poruchových systémů. (1)

3.2.3 Novější stanice

Nové stanice zakládány na místech, kde se předpokládají posuny či dochází k pravidelné seismické aktivitě. Novější stanice také vybaveny novějšími modely přijímačů i antén. Mohou dosahovat větší přesnosti díky více GNSS systémům jako jsou Galileo či Beidou. To však nemělo vliv na zpracování dat, jelikož byla zpracována jen data systému NAVSTAR. Celkově byla monitorovací síť rozšířena o 25 stanic. Některé z nich jsou součástí sítě NOANET (např SPAN, VLMS, ZNTE), celkem čítá 26 stanic (září 2020). Celkově tedy zpracována data 31 stanic.

3.3 Stabilizace, realizace stanic

Jednotlivé stanice se navzájem od sebe liší. Jednak vlastníkem a dobou umístění, tak typem aparatury. Stejně tak jsou rozmanité druhy stabilizace. Stanice jsou často umístěny na budovách nebo jiném vyvýšeném místě s možností připojení internetu a zdroji elektrické energie.

3.4 Foto stanic



obr. 1 PVOG



obr. 2 RETS



obr. 4 RGNI



obr. 3 VALY

Zdroj fotografií (2)

3.5 poloha a souřadnicový systém

3.5.1 ITRS

ITRS (International Terrestrial Reference System) je mezinárodní souřadnicový systém. Jedná se o soubor předpisů a konvencí. Tento systém je pevně spojen se Zemí, společně s ní vykonává rotační pohyb. Realizací ITRS je ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Pozemní referenční rámec je soubor bodů o známých souřadnicích v tomto systému, určených s vysokou přesností a s požadavkem na dlouhodobou stabilitu. Tento systém lze převést na ICRS (International Celestial Reference System) pomocí parametrů EOP (Earth Orientation Parameters – parametry orientace Země). ITRS2014 navazuje na předchozí realizace z roku 2008 a 2005. Dochází k přepracování a zlepšení rámce díky zpracování delších řad pozorování. Vstupem jsou časové řady poloh stanic a EOP určené čtyřmi metodami kosmické geodézie: VLBI, SLR, GNSS, DORIS. Nová realizace zahrnuje roční a pololetní odhady sezónních period změn polohy. Součástí dat ITRS2014 jsou PSD (post-seismic deformation) (2) modely pro stanice blízko seismo-aktivních zlomů. Měřítka určeno jako průměr z měřítok z metod SLR, VLBI. Počátek je shodný s řešením metodou SLR, orientace sítě je navázána na předchozí realizaci ITRF2008. (3)



obr. 5 ZNTE (19)

<http://geodesy.qein.noa.gr:8000/nginfo/znte/>

Pro práci zvolena realizace ITRS2014, proto aby byla zohledněna starší data, již vztažená k tomuto systému. Evropský terestrický referenční systém ETRS není pro tuto aplikaci vhodný, neboť je pevně spojen s Euroasijskou litosférickou deskou a prakticky celá síť leží na okraji Euroasijské desky v místě styku více tektonických desek. Dalším důvodem pro zvolení ITRS2014 bylo, že zpracování měření GNSS bylo prováděno webovou službou PPP (Precise Point Positioning) NRCan (National Resources Canada), jejíž výsledky jsou v základním nastavení v tomto mezinárodním referenčním systému.

3.5.2 Souřadnice BLH

Tyto souřadnice jsou elipsoidické, vztažené k elipsoidu GRS80 (který je používán v systému ITRS). Systém se skládá ze sférických souřadnic B (šířka), L (délka), H (výška nad elipsoidem). Úhlové hodnoty B a L uváděny ve stupních, minutách a vteřinách, pro poslední délkovou složku H je použita jednotka metr.

3.5.3 Souřadnice NEU

Jedná se o místní systém souřadnic ve složkách **N (North) E (East) U (Up)**. Tato kartézská soustava pravoúhlých souřadnic má počátek v bodě, pro který počítáme časové řady, a to v souřadnicích bodu v konkrétní stanovené epoše (obvykle v první epoše měření). Jak odkazují názvy složek N směřuje k Severu, složka E roste směrem na Východ a U je ve svislém směru a roste směrem vzhůru. Souřadnice jsou v metrech.

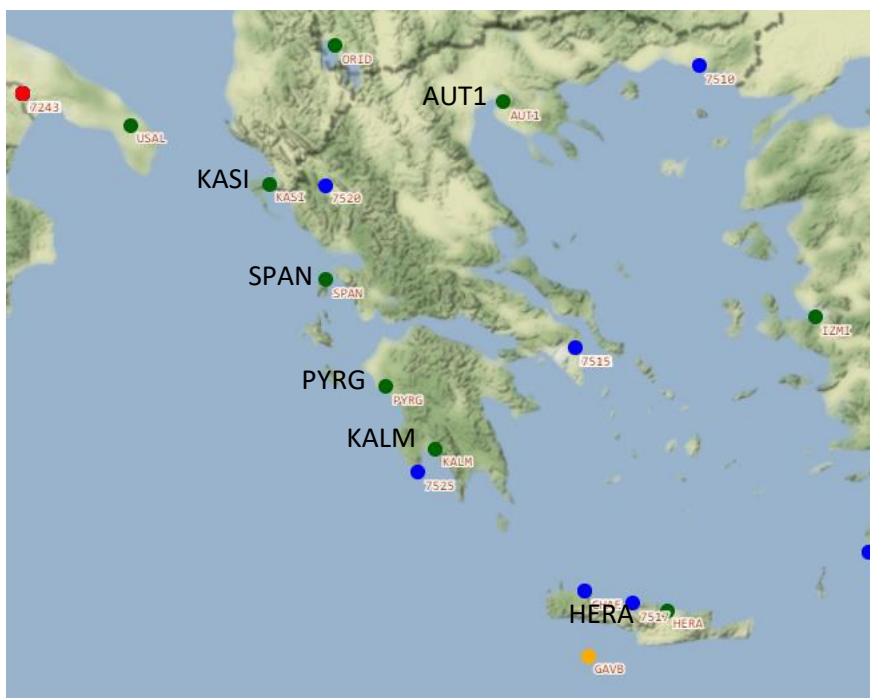
3.5.4 ITRF

GNSS stanice KALM, PYRG, SPAN, a KASI, AUT1 (mimo oblast více na sever a východ, Řecko), také stanice HERA na ostrově Kréta, jsou součástí rámce ITRF2020. Stanice PATO byla součástí rámce ITRF2014, ale již není součástí ITRF2020. Stanice AUT1 je součástí obou rámců. Na území Řecka je také několik stanic techniky kosmické geodézie SLR (Satellite Laser Ranging), které mají v rámci ITRF2014 definovány souřadnice

● GNSS ● SLR ● DORIS ● VLBI



obr. 6 realizace ITRF2014 oblast Řecko a okolí (5)



obr. 7 realizace ITRF2020 oblast Řecko a okolí (5)

3.6 Chybějící data, zrušení stanice

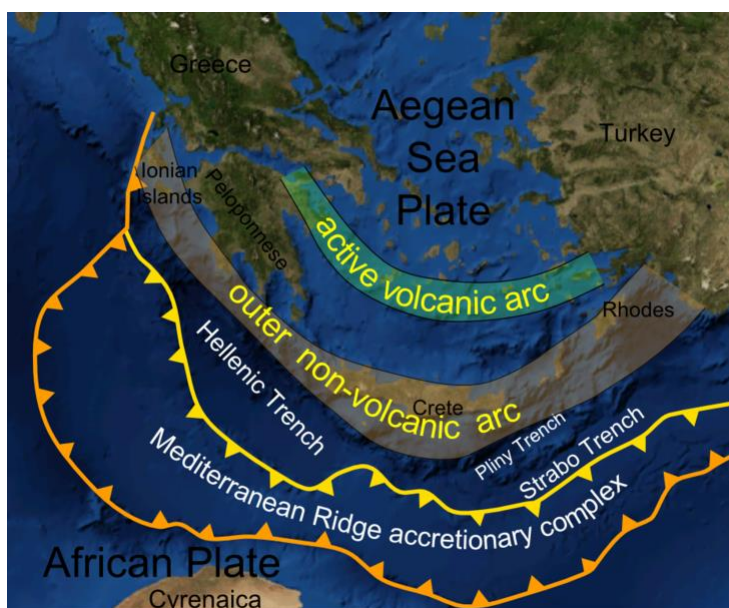
Observace byly prováděny několik let. Zřizování a zprovoznění jednotlivých stanic probíhalo průběžně, proto se doba observací jednotlivých stanic značně liší. Zároveň systém není dokonalý a v průběhu docházelo k výpadkům měření z nejrůznějších příčin (elektrická energie, závada aparatury, Internetové připojení) a tak ke ztrátě dat.

Několik stanic bylo v průběhu celé doby observací změněno. Jednak mohl být změněn přijímač či anténa. Například u stanice RETS byla změněna poloha antény o cca 1,4 m. Důvodem této změny byla rekonstrukce budovy, po přístavbě dalšího patra byla realizována nová stabilizace (4). Některé stanice byly vyřazeny ze sítě, buď proto že nesplňovaly požadavky na přesnost, využívaly starší aparatury nebo nebyla prokázána stabilita jejich upevnění. Dalším důvodem ukončení observací je změna majitele či práv vztahující se na data. A již 7 stanic bylo vyřazeno z provozu, tedy nejsou sbírána nová data za tímto účelem (např. AGRI, KIPO, PLAT).

4 Geologický vývoj

4.1 Tektonika v Oblasti

Zájmová oblast se nachází v oblasti styku několika desek. Síť sledovaných stanic se částečně rozkládá na Peloponésém poloostrově, jenž od Evropského kontinentu odděluje Korintský záliv. K území Řecka patří přilehlé ostrovy, jako je Zakynthos, Kefalonie, Rhodos, Kos, také Kréta a další ostrovy. I tam je umístěno několik stanic. Břehy omývají vody Iónského, Krétského a Egejského moře. Důležitým prvkem je Středomořský hřbet a dva oblouky s aktivní a neaktivní vulkanickou činností.

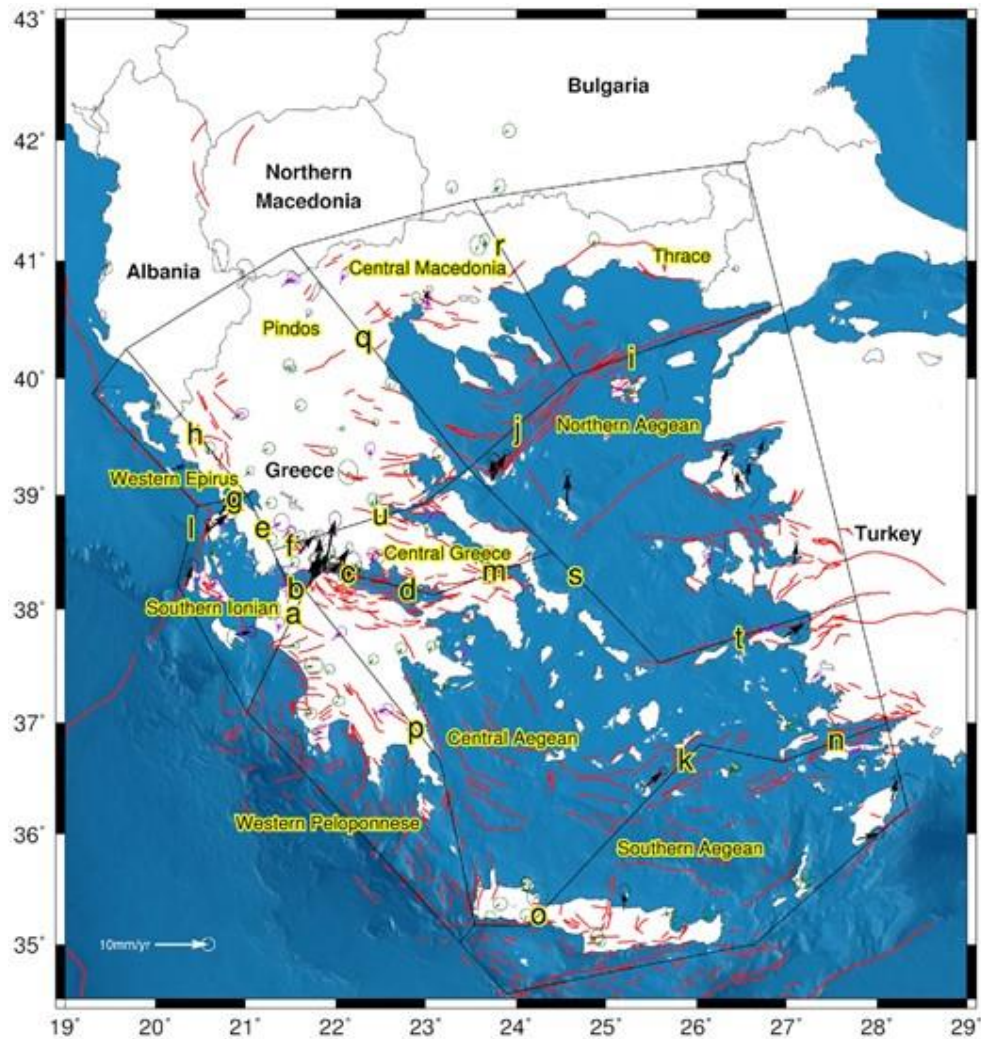


obr. 8 Helénská subdukční zóna

převzato z https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hellenic_arc.png

4.2 Litosférické desky

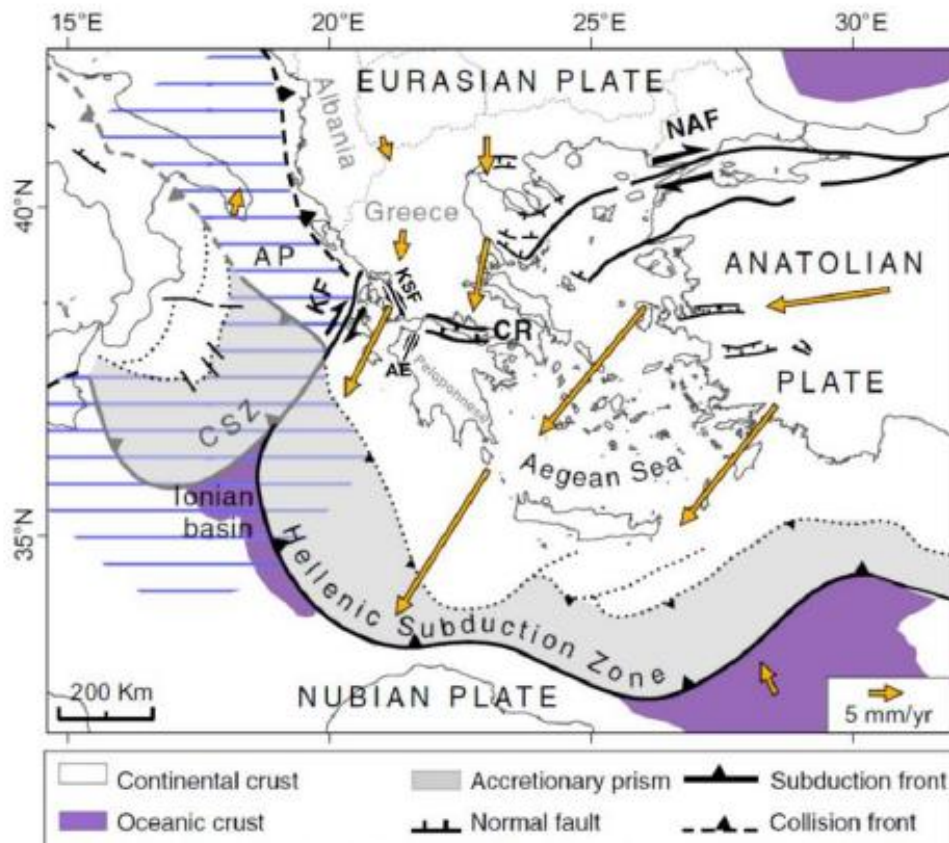
Předchozí výzkumy předpokládaly že oblast Peloponéskeho ostrova (jihozápadního Řecka) je součástí Anatolské desky. Nicméně nová měření, podpořená rozdílným směrem pohybu, dokázala že se jedná o dvě samostatné desky. (5) Tato nová Egejská („Řecká“) deska sahá od západního Turecka k jižnímu Řecku. Jižní okraj tvoří takzvaná Helénská subdukční zóna (obr.8). Egejská deska sousedí s Euroasijskou a Africkou deskou a také s Anatolskou deskou (oblast Turecka). Některé další průzkumy poukazují na necelistvost oblasti (obr.9), proto se v literatuře objevuje Egejská oblast (Aegean area) na místo deska (Aegean plate). Přesné určení rozsahu oblasti, hlavně její východní hranice není přesně definováno a je předmětem diskusí odborníků.



obr. 9 hranice 10 litosférických ke v Egejské oblasti a časové řady GPS stanic NOMI složky E, U (6)

4.3 Pohyb lit. desek

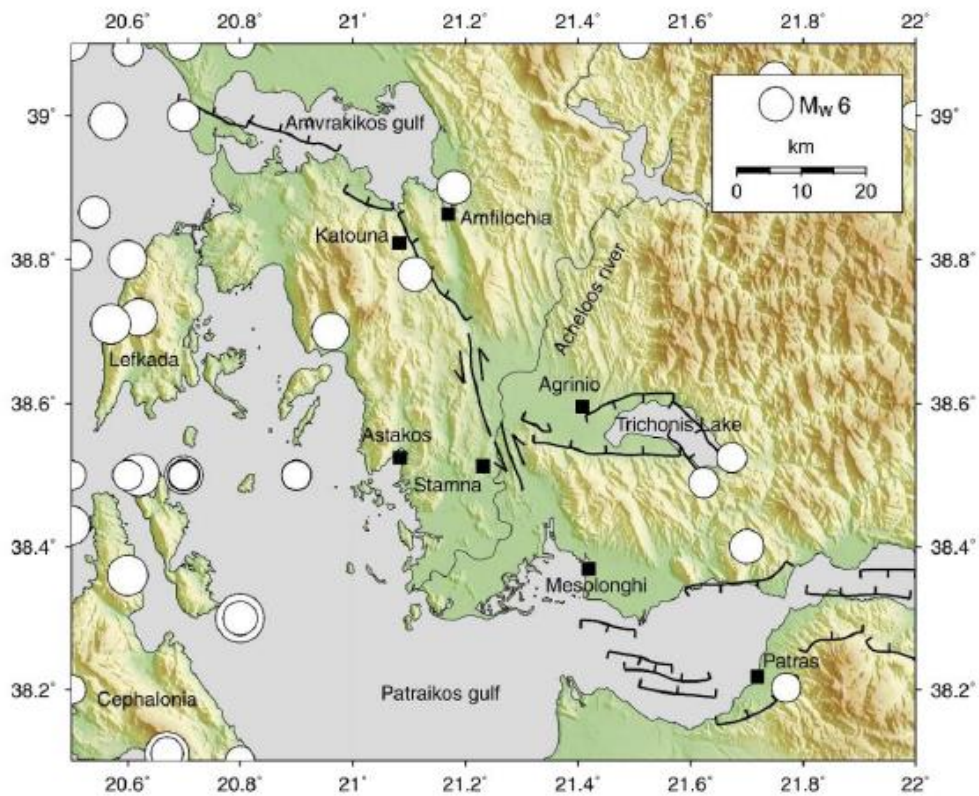
Díky vzájemnému relativnímu pohybu dochází mezi již zmíněnými deskami k pnutí, tj. jak dilataci (zvětšování trhlin), tak kompresi (stlačování). Pohyby a vzájemná interakce litosférických desek vytvořila celou oblast, jak ji známe dnes. V minulosti docházelo k horotvorné činnosti, kterou dnes můžeme pozorovat jak nad hladinou (ostrovy), tak pod mořskou hladinou (Středomořský hřbet). Egejská deska má v různých místech rozdílnou mocnost (tloušťku), způsobenou tvorbou nové horniny (7). Podle některých studií odpovídá spíše tenké pevninské desce než oceánské. V jižní části, tedy v Helénské subdukční zóně dochází k podsouvání Africké kontinentální desky pod desku Egejskou.



obr. 10 geodynamika Egejské desky (2)

4.4 Trhliny a jejich zobrazení

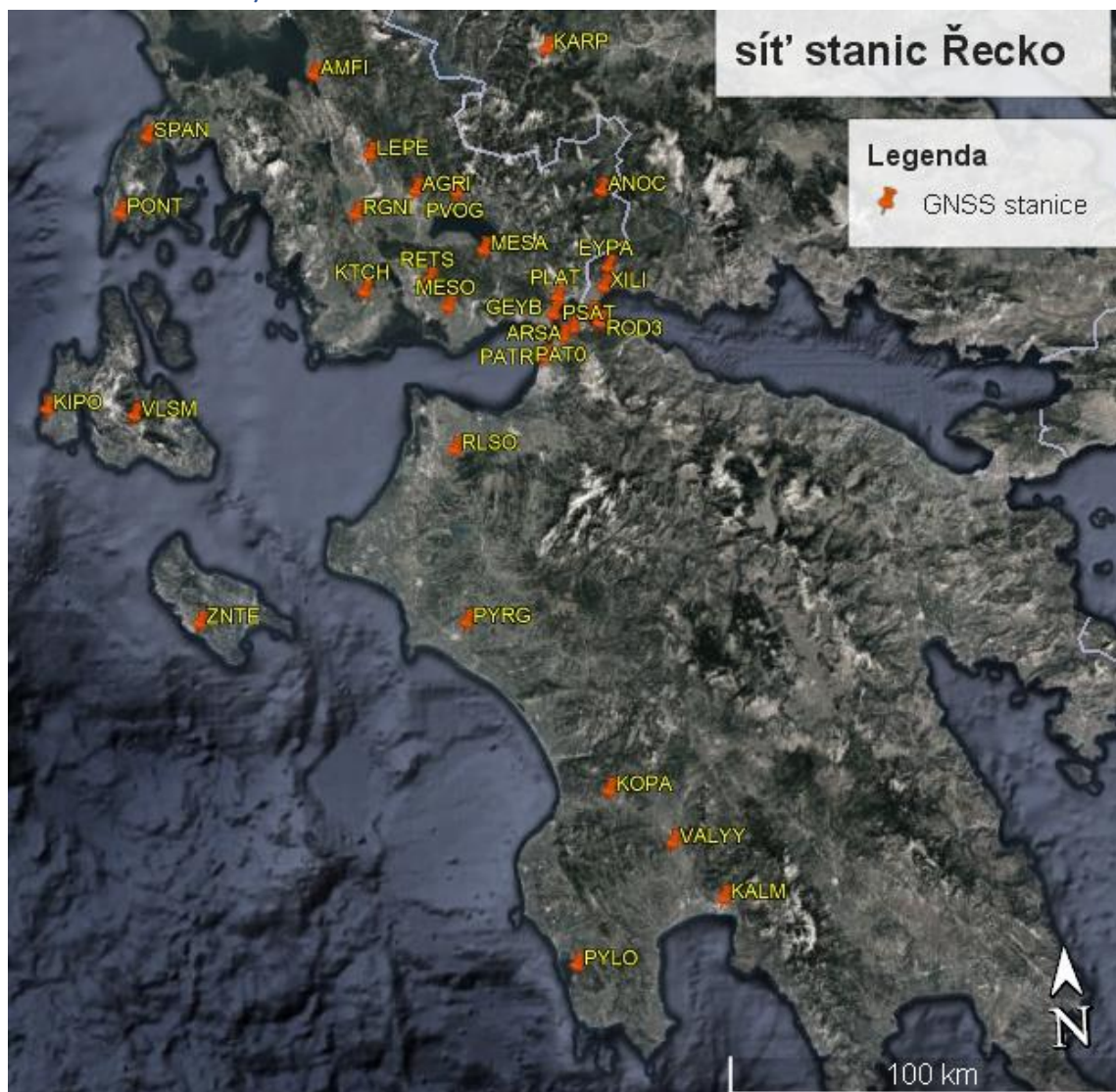
Dalšími tektonickými prvky v oblasti, kromě Helénské subdukční zóny, jsou zlomy a trhliny znázorněné na obrázku (obr.10). Význačná je korintská trhlina (CR) ve směru V-Z v Korintském zálivu. Dochází zde k rozpínání zemské kůry. Na západ od Peloponéskeho ostrova se nachází Kefalonský zlom (KF). V těchto místech dochází ke smyku ve směru S-J, kde Egejská deska se posouvá jižním směrem. Dále se tu nachází zlom Katouna-Stamna (KSF), ležící v regionu Aitólie-Akarnánie vzápadním Řecku. Další zlom Achaia-Elia (AE) leží na Peloponéske poloostrově. Zde také dochází k smyku ve směru S-J. A další zlomy v oblasti jezera Trichonis (obr.11).



obr. 11 zlom Katouna-Stamna, další poruchy v oblasti (5)

zeměřesení a seismická aktivita v oblasti (8)

5 Práce s daty



obr. 12 mapa všech stanic GoogleEarth

5.1 GNSS měření

Výchozí data pro zpracování byla získána měřením GNSS. Byla provedena dlouhodobá observace statickou metodou s intervalem záznamu 30 s. Aby bylo dosaženo vysoké přesnosti, je při zpracování využíváno kombinace fázového a kódového měření na minimálně dvou frekvencích. GNSS je metoda kosmické geodézie, jedná se dálkoměrný systém. Délky jsou vypočteny z časových údajů vyslání a příjmu signálu v kombinaci se znalostí rychlosti šíření signálu, tedy rychlosti světla nebo z měření fáze nosné vlny. Pro určení polohy přijímače jsou potřeba minimálně 4 družice se známými souřadnicemi. Následně protínáním z délek získáme v prostoru polohu přijímače. Více signálů z družic zlepšuje přesnost polohy, dalšího zpřesnění lze dosáhnout zavedením atmosférických korekcí, ty jsou souhrnem vlivů atmosféry, kterou signál vyslaný družicí prochází.

5.2 Elevační maska

U většiny stanic byla při zpracování zavedena elevační maska 7,5 stupně (tj. družice s výškovým úhlem menším než 7,5 stupně nejsou použity pro zpracování). Zároveň je nutné, aby anténa stanice se nacházela na místě s výhledem na celou oblohu bez překážek.

5.3 Atmosférické korekce

Opravy způsobené vlivem atmosféry, rozděleny na vliv Troposféry a Ionosféry. Oprava vlivu troposféry je dále rozdělena na suchou a mokrou složku. Byla použita mapovací funkce VMF1_HT, tedy podprogram VMF1 (Vienna Mapping Function 1) (9). V souboru .tro uvedeny hodnoty mokrého a suchého zenitového spoždění a jejich gradienty ve směrech N a E v každé epoše. Vliv Ionosféry odstraněn kombinací dvou frekvencí, při fázovém a kódovém měření.

5.4 Data

Observace probíhaly mezi lety 2011 a 2022. První data získána ze stanic VLISM, SPAN RLISO, PONT, PAT0, KIPO v roce 2011. Nejnovějšími stanicemi jsou EYPA, PSAT uvedené do provozu v roce 2018. Naopak první stanicí, kde byl sběr dat ukončen, je stanice PLAT, fungující jen mezi lety 2014 až 2016. Následovaná je stanicí KIPO, kde poslední data jsou z roku 2018,7. Naopak nejnovější údaje pochází z roku 2022,7. Nejméně dat pochází ze stanice ANOC, kde dostupná data jsou z rozmezí necelých 2 let. Samotná celodenní data jsou ve formátu RINEX s intervalem záznamu 30 s.

tab 1 sběr dat v letech

stanice	Od	Do
agri	2015,6	2019,1
amfi	2017,9	2021,9
anoc	2017,2	2019,0
arsa	2017,2	2021,6
eypa	2018,0	2021,4
geyb	2017,3	2022,0
kalm	2015,6	2022,7
karp	2015,6	2022,7
kip0	2011,0	2018,7
kopa	2013,9	2022,72
ktch	2015,6	2022,7
lepe	2014,8	2022,7
mesa	2017,2	2021,6
meso	2017,2	2021,2
pat0	2011,0	2022,4
patr	2015,6	2020,5
plat	2014,2	2016,0
pont	2011,0	2022,7
psat	2018,0	2020,3
pvog	2013,9	2022,7
pylo	2011,6	2022,7
pyrg	2015,6	2022,7

stanice	Od	Do
rets	2014,9	2022,7
rgni	2014,9	2022,7
rlso	2011,0	2022,7
rod3	2018,0	2020,8
span	2011,0	2022,7
valy	2011,9	2022,7
vlsm	2011,0	2022,7
xili	2018,0	2021,3
znte	2018,9	2022,7

5.5 Zpracování struktury složky

V prvním kroku bylo nutné data ručně rozdělit podle roku observace. Dále bylo nutné, pro přehlednost, do názvu souboru s daty zahrnout číslice označující tento rok, protože v průběhu zpracování se tato informace (původně typ souboru, resp. přípona, např. *D21*) ztrácí. Složky byly navíc děleny tak, aby bylo možné je odeslat k dalšímu zpracování na web NRCAN, kde je limit pro maximální velikost zaslaného souboru 300 MB. Tvořena tedy číselná řada pro každý rok a každou stanicí např. *KALM2021_1* a *KALM2021_2*.

5.6 NRCAN webová služba Precise Point Positioning

Celý objem dat postupně zpracován službou PPP (Precise Point Positioning). Data ve formě zipu jsou odeslána ke zpracování přes webové rozhraní, výsledky jsou zaslány zpět na mail. Uloženy jsou pod stejným názvem jako vstup, s doplňkem *.output* v názvu souboru.

Výstupem je opět zip obsahující soubory:

- *.clk* clock data – časový offset přijímače
- *.csv* elipsoidické souřadnice (B, L, H)
- *.pdf* observační přehled

Obsahuje: souřadnice, směrodatné odchylky, elipsu chyb, fixované ambiguity, parametry antény (model, fázové centrum, referenční bod), metodu měření a samozřejmě časové údaje o sběru dat.

PVOG0010.220 PVOG			
Data Start 2022-01-01 00:00:00.00	Data End 2022-01-01 23:59:30.00	Duration of Observations 23:59:30	
Processing Time 14:02:30 UTC 2023/01/23		Product Type NRCAN/IGS Final	
Observations Phase and Code	Frequency Double	Mode Static	
Elevation Cut-Off 7.5 degrees	Rejected Epochs 0.00 %	Fixed Ambiguities 99.30 %	Estimation Steps 30.00 sec
Antenna Model SEPCHOKE_B3E6 SPKE	APC to ARP L1 = 0.127 m L2 = 0.141 m	ARP to Marker H:0.050m / E:0.000m / N:0.000m	
(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)			
Estimated Position for PVOG0010.220			
	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF14 (2022.0)	38° 36' 50.40129"	21° 31' 24.23582"	110.691 m
Sigmas(95%)	0.002 m	0.002 m	0.008 m
A priori*	38° 36' 50.40295"	21° 31' 24.23527"	110.726 m
Estimated – A priori	-0.051 m	0.013 m	-0.035 m

obr. 13 ukázka observačního přehledu stanice PVOG

- *.pos* jednotlivé epochy (polohové určení v intervalu 30 s)
- *.sum* souhrn dat za všechny epochy
- *.tro* parametry troposféry (suchá a mokrá složka)

5.6.1 Princip PPP

PPP je metoda zpracování GNSS měření při použití dat pouze z jednoho přijímače. Nejedná se o relativní metodu určování polohy a neprovádí se diferencování měření. Přesnost je zvýšena kombinací kódového a fázového měření a využitím přesných drah družic a korekcí hodin na družicích. Tato metoda nepotřebuje žádnou další referenční stanici. Realizace metody PPP v NRCAN zpracovává data pouze z jednoho družicového systému.

5.7 Programy

Hlavním cílem tří pomocných programů je hromadné rozzipování složek ve více úrovních struktury (program *rozipren*). Také dochází k přepočtu dat z těchto souborů na polohovou informaci pro jednotlivé dny (program *prumsour*). Pro další zpracování je použita hodnota váženého průměru. Dalším krokem je transformace (5.7.3) souřadnic BLH do místního systému NEU (program *blh2neu*). Následně bylo zavedeno umělé odsazení složek pro názorné vykreslení jednoho grafu časové řady souřadnic. Jednotlivé složky posunuty: N složka o +10 cm, E složka bez posunu (+0 cm), U složka o -10 cm. Zavedením této konstanty nedojde k žádnému posunu ani změně přesnosti.

Výstupem je trojice souborů:

- *.blh* souřadnice BLH
- *.neu* souřadnice NEU
- *.csv* souřadnice NEU s odsazením ve formátu csv

5.7.1 práce PuTTY

Programy spouštěny příkazovým řádkem PuTTY s nastavenou cestou do složek vstupů a výstupů. Data zpracována programy *rozipren*, *prumsour*, *blh2neu* Výstupem po provedení všech kroků získány 3 soubory souřadnic pro každou stanici. Autorem programů je doc. Ing. Jakub Kostecký, Ph.D..

5.7.2 Kontrola programů

Byla provedena kontrola správného fungování všech programů. Výpočet souřadnic byl proveden pro jeden den jako vážený průměr souřadnic z tohoto dne. Výpočet proveden v softwaru MS Excel Tento test proveden s daty stanice v jedné epoše ZNTE a dvakrát pro AMFI. Také vypočtena přesnost váženého průměru s použitím zákona o hromadění směrodatných odchylek. Zjištěné hodnoty byly porovnány s čísly v souboru *.sum*.

5.7.3 Transformace BLH na NEU

Před samotnou transformací je nutno ze známých dat určit transformační klíč. Tento transformační klíč má 5 prvků, dochází jak k translaci ve třech složkách, tak ke dvěma rotacím. Transformace probíhá ve dvou krocích, nejprve je proveden převod sférických souřadnic BLH na pravouhlé geocentrické souřadnice XYZ a poté je provedena prostorová shodnostní transformace geocentrických souřadnic XYZ na pravouhlé souřadnice v místní (lokální) soustavě NEU. Počátek místní soustavy je posunut do souřadnic stanice v první epoše. XYZ jsou geocentrické pravouhlé souřadnice. Osa X směřuje do průsečíku rovníku a základního poledníku, osa Z je v rotační ose Země a osa Y doplňuje systém na pravouhlý s kladnou matematickou orientací. Při transformaci se translacemi přesune počátek souřadnicové soustavy z geocentra (těžiště) Země do polohy stanice ve výchozí epoše (v našem případě v první epoše). Rotacemi o úhly velikosti zeměpisné šířky a délky se osa Z otočí do směru normály k elipsoidu v počátku a osa X se otočí do severní větve místního poledníku, souřadnice jsou tak převedeny na souřadnice NEU.

6 Analýza dat

6.1 Definice časové řady

Časová řada je soubor dat z pozorování, kde každý údaj byl získán v e známý čas. Může být jednak diskrétní, data sbírána s časovým intervalem, nebo kontinuální, sběr dat probíhal nepřetržitě (10). V tomto případě se sice jedná o kontinuální měření, ale kvůli objemu dat a způsobu zpracování metodou PPP po celých dnech jsou data sestavena v diskrétní časovou řadu s krokem 1 den. (10)

6.2 Časové řady

Data byla seřazena vzestupně podle času a uložena do souborů pro každou stanic. Souřadnice jsou vztaženy k jednotlivým dnům, časovou jednotkou jsou dny. Jednotlivé složky souřadnic v systému NEU byly dále řešeny samostatně. Korelace mezi jednotlivými složkami nebyla uvažována.

6.3 Chyby, skok posun

V prvním kroku analýzy časových řad byly hledány a odstraněny velké posuny, které jsou způsobené jednak změnami polohy antény, jednak zemětřesením a jeho ko-seismickým efektem. Velké skoky byly identifikovány u 7 stanic. U stanice PATO na začátku identifikována testovací data, která zřejmě pocházela z jiného umístění antény. Ručně byly odstraněny skoky u následujících stanic: KIPO, PONT, PYLO, RETS, RLSO, SPAN a VLMS se dvěma skoky. Skoky však nebyly z dat úplně odstraněny. Oprava skoků byla provedena přesností na úrovni XX mm a některé malé skoky nebylo možné spolehlivě identifikovat. Chybné souřadnice (pro jeden až XX dnů) byly z datového souboru vyloučeny. Dále byla vyloučena nepřesná data se směrodatnou odchylkou 3krát větší nebo řádově větší než u ostatních dat. Směrodatná odchylka (na úrovni sigma 95%) byla také identifikátorem chybně určených souřadnic.

6.4 Trendy

Byl sledován trend růstu či poklesu u jednotlivých složek souřadnic N, E, U tedy změny souřadnic v lokální soustavě. V žádných datech nebyl pozorován zlom ani zjištěna náhlá změna trendu, tj. žádná funkce nemá inflexní body, kde by docházelo ke změně trendu. Dále byla sledována změna rychlosti posunů a změny způsobené zemětřesením, ko-seismický efekt a následky způsobené pohybem litosférických desek. (11)

6.5 Sezónní vlivy

Hlavním činitelem pro vznik sezónních změn polohy jsou změny teplot působící deformaci budovy (resp. stabilizace), na které je anténa umístěna. V grafu a v datech byly tedy hledány opakované jevy s periodou 1 rok.

6.6 Vyrovnání MNČ

Pro data v časových řadách souřadnic jednotlivých stanic byla dále hledána optimální aproximační funkce, která bude daty proložena. Bylo provedeno vyrovnání jednotlivých složek souřadnic metodou nejmenších čtverců, tedy tak, aby byla splněna podmínka minimálních čtverců oprav. Hledané proměnné a, b, c, d (viz dále) byly získány maticovým výpočtem MNČ. Výpočet byl proveden ve vlastním programu vytvořeném v softwaru Matlab (R2020b academic use). U všech grafů časové řady byla pro aproximaci použita periodická funkce.

tab 2 GNSS stanice a parametry antén ACP(antenna phase centre), ARP(antenna referenc point)

stanice	parametry antén		
	ACP	ARP	ANTENA MODEL
agri	0,089	0,082	LEIAR10
amfi			TPSPG_A1+GP
anoc			TPSPG_A1+GP
arsa			TPSPG_A1+GP
eypa			JPSLEGANT_E
geyb			TPSPG_A1+GP
kalm			LEIAR10
karp	0,088	0,081	LEIAR10
kipa	0,059	0,055	LEIAX1203+GNSS
kopa	0,088	0,081	LEIAR10
ktch	0,088	0,081	LEIAR10
lepe	0,088	0,081	LEIAR10
mesa			JPSLEGANT_E
meso			TPSPG_A1+GP
pat0	0,090	0,120	ASH700936E
patr	0,089	0,082	LEIAR10
plat	0,092	0,119	TPSCR.G5 TPSH
pont	0,063	0,062	LEIAX1202GG
psat			TPSPG_A1+GP
pvog	0,127	0,141	SEPCHOKE_B3E6 SPKE
pylo	0,058	0,056	LEIAS10
pyrg	0,088	0,081	LEIAR10
rets	0,127	0,141	SEPCHOKE_B3E6 SPKE
rgni	0,127	0,141	SEPCHOKE_B3E6 SPKE
rlso	0,058	0,056	LEIAX1203+GNSS
rod3			TPSPG_A1+GP
span	0,063	0,062	LEIAX1202GG
valy	0,088	0,081	LEIAR10
vism	0,058	0,056	LEIAS10
xili			TPSPG_A1+GP
znte	0,125	0,131	LEIAR20 LEIM

6.7 Výpočet

Data byla proložena funkcí. Funkce času zahrnuje periodické funkce (sezónní vlivy), trend a časový rozdíl od počátku roku (10). Aproximací byly také získány opravy skutečných dat od předpokládané funkce. V datech by se již neměly nacházet skoky ani omyly (data s velkou opravou). Aby bylo možné data z jednotlivých stanic porovnat, byl proveden přepočítání. Všechna data vztažena ke stejnému času tedy k počátku roku 2014.

Předpokládaná periodická funkce

$$A \sin(\Delta t + \varphi) = A \sin \Delta t \cos \varphi + A \cos \Delta t \sin \varphi = c \sin \Delta t + d \cos \Delta t \quad (6.6.1)$$

Rovnice oprav má tvar

$$v_i = a + b(t_i - t_0) + c \sin[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] + d \cos[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] - l_i \quad (6.6.2)$$

Přepočítání na tutéž epochu proveden podle následujících rovnic.

$$\tilde{a} + b(t_i - \tilde{t}_0) = a + b(t_i - t_0) \quad (6.6.3)$$

$$\tilde{a} = a + b(\tilde{t}_0 - t_0) \quad (6.6.4)$$

Z rovnice oprav lze zpětně odvodit maticový zápis výpočtu oprav z vyrovnání

$$v = Ax - l \quad (6.6.5)$$

Kde $x=[a,b,c,d]$ pak jsou prvky matice plánu A (parciální derivace podle neznámých)

$$A = \begin{matrix} 1 & (t_i - t_0) & \sin[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] & \cos[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] \\ 1 & (t_{i+1} - t_0) & \sin[2\pi(t_{i+1} - t_{zac_roku})] & \cos[2\pi(t_{i+1} - t_{zac_roku})] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix} \quad (6.6.6)$$

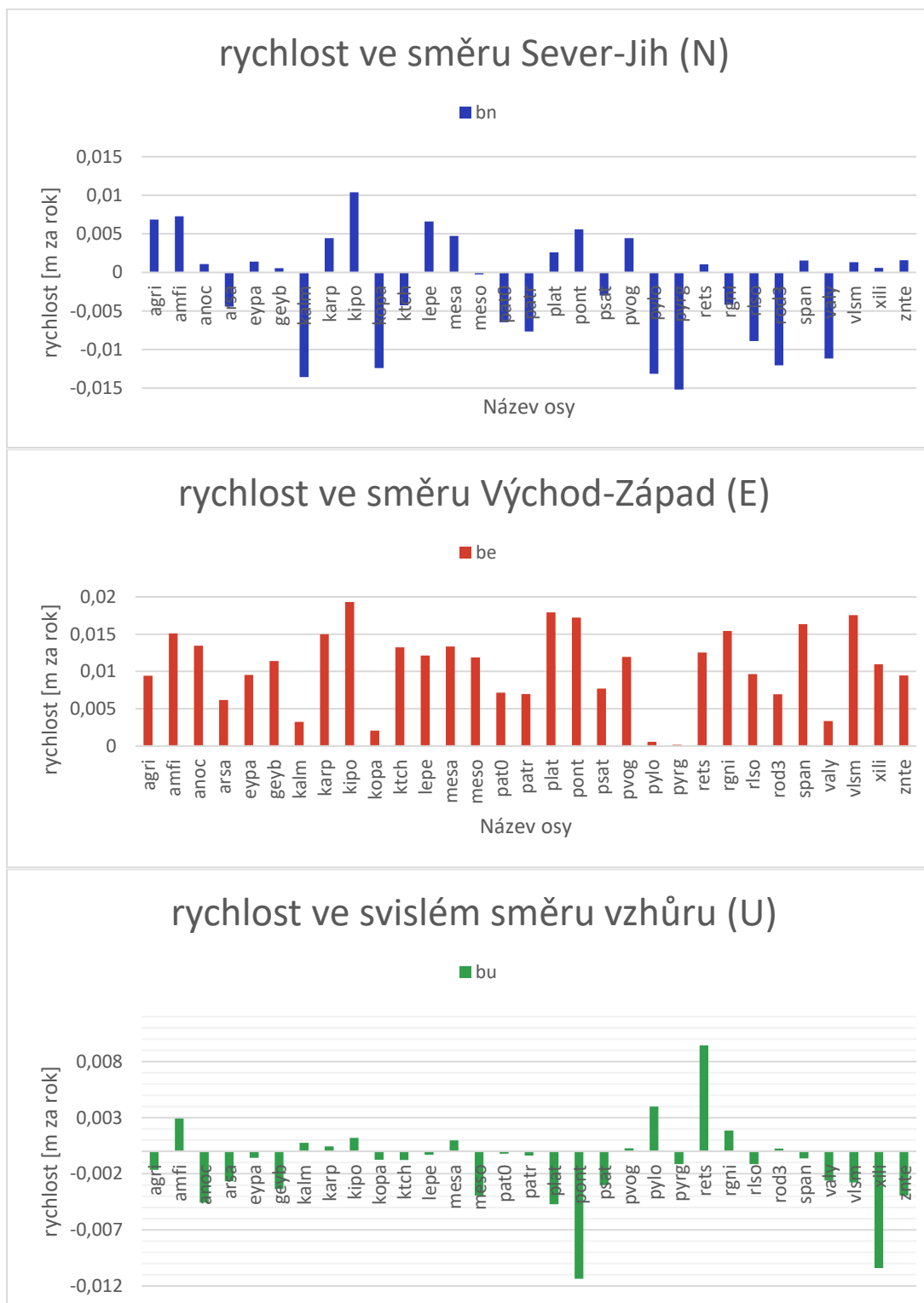
Podmínka MNČ pro jednoznačné řešení, P matice vah, kde na diagonále $p=1$

$$[v^T P v] = \min \quad (6.6.7)$$

Číslo kapitoly a číselná řada rovnic použita v seznamu rovnic na konci dokumentu.

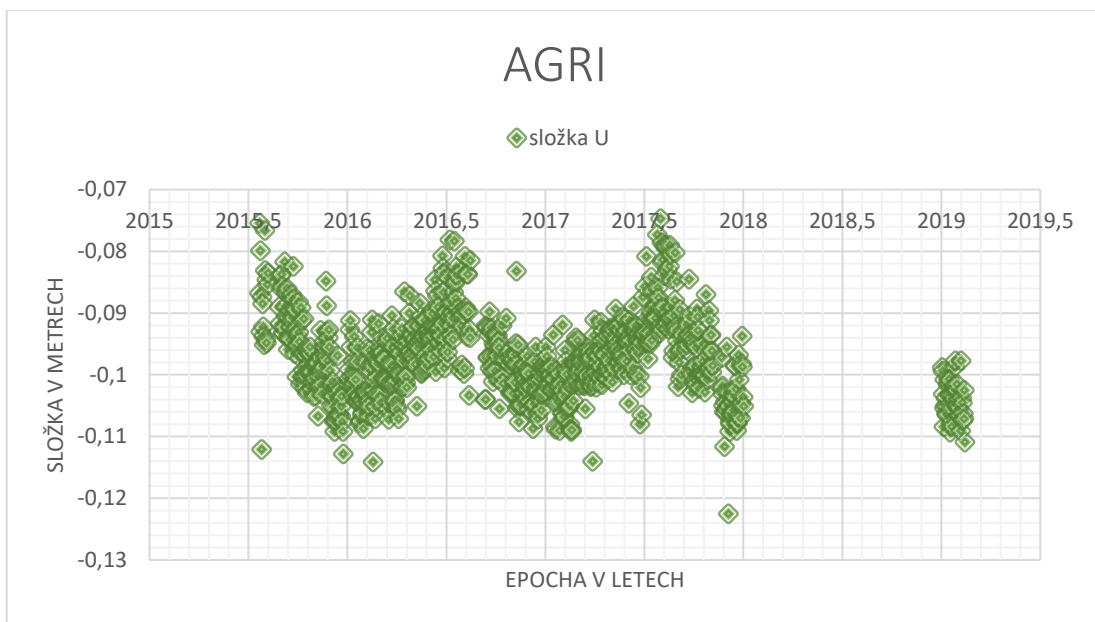
6.8 Grafy

graf 1 rychlost posunů ve směrech NEU



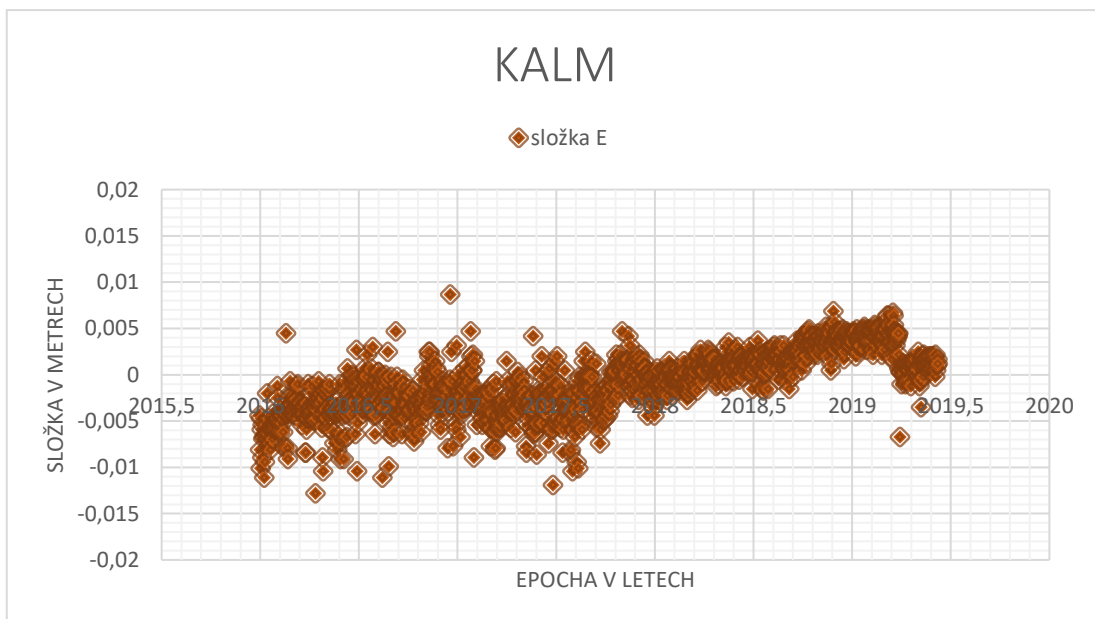
Rychlost je dána parametrem b z rovnice. Hodnota byla zjištěna vyrovnáním metodou nejmenších čtverců. Jednotkou jsou m za rok, což odpovídá definici rychlosti tedy první derivaci vzdálenosti podle času. Rychlosti ve směru E jsou větší než u ostatních složek a u všech stanic má stejný směr (na východ). Naopak nejmenší rychlosti dosaženy ve svislém směru (U).

graf 2 observace AGRI složka U



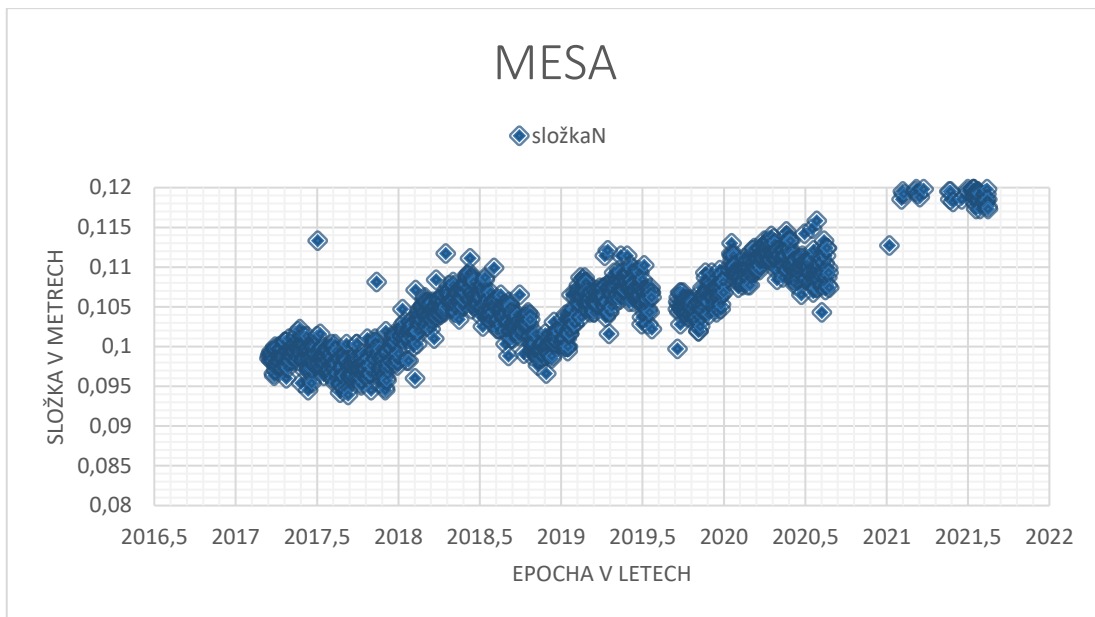
V observačních datech stanice AGRI ve složce U pozorována periodicitu. Graf připomíná průběh tangenciální funkce. Také lze pozorovat chybějící data mezi roky 2018 a 2019.

graf 3 observace KALM složka E



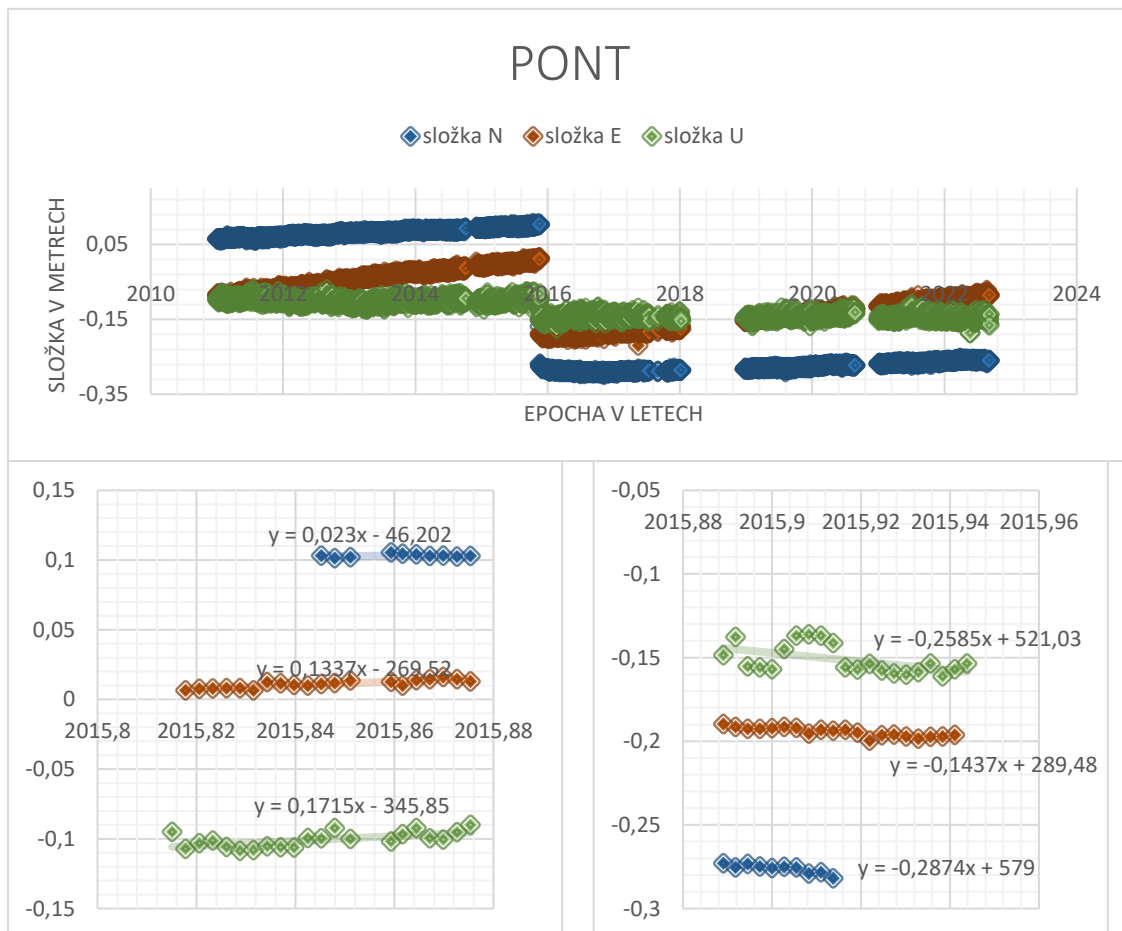
V časové řadě zobrazující složku E, stanice KALM, je na první pohled změna přesnosti dat. V tomto případě došlo v druhé polovině roku 2017 ke zpřesnění složky E a zmenšení rozptylu dat. Bylo zjištěno že nedošlo ke změně typu aparatury.

graf 4 observace MESA složka N

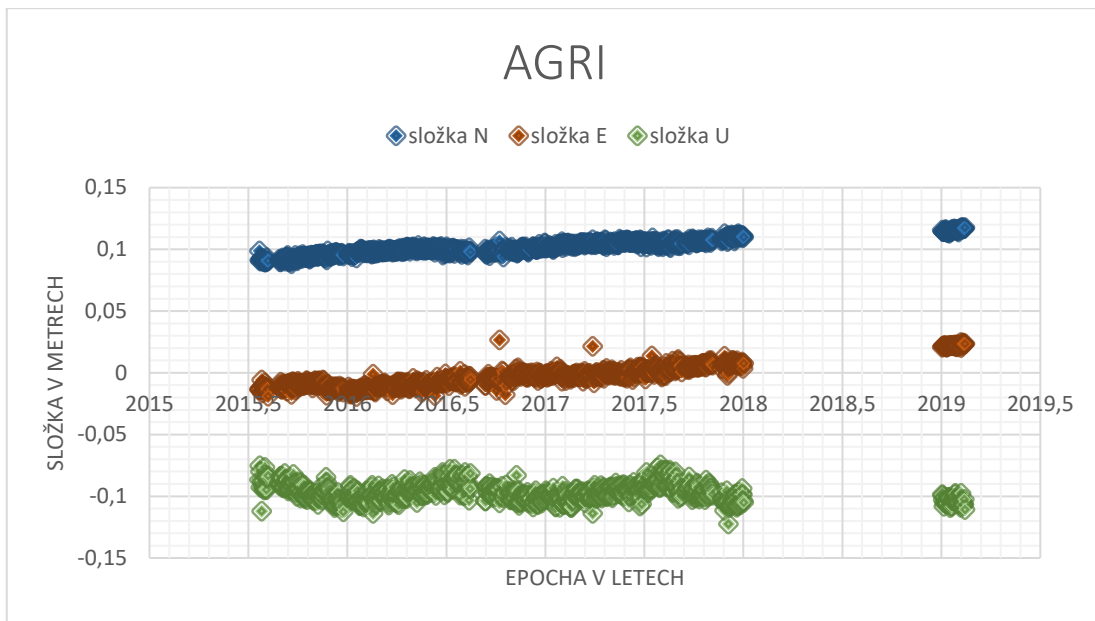


Výrazná periodická funkce je také ve složce N u observace stanice MESA. Dochází k nárůstu dat v první polovině roku a k poklesu v druhé polovině. V roce 2017 pozorován větší rozptyl dat.

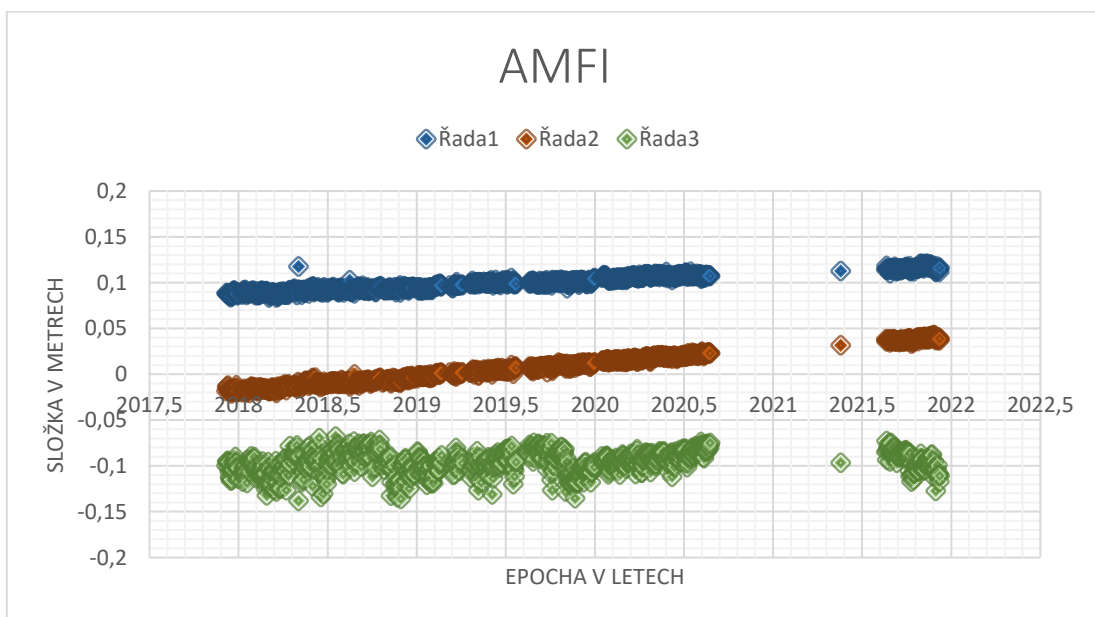
graf 5 odstranění skoku v observačních datech stanice PONT (podgrafy před a po skoku)



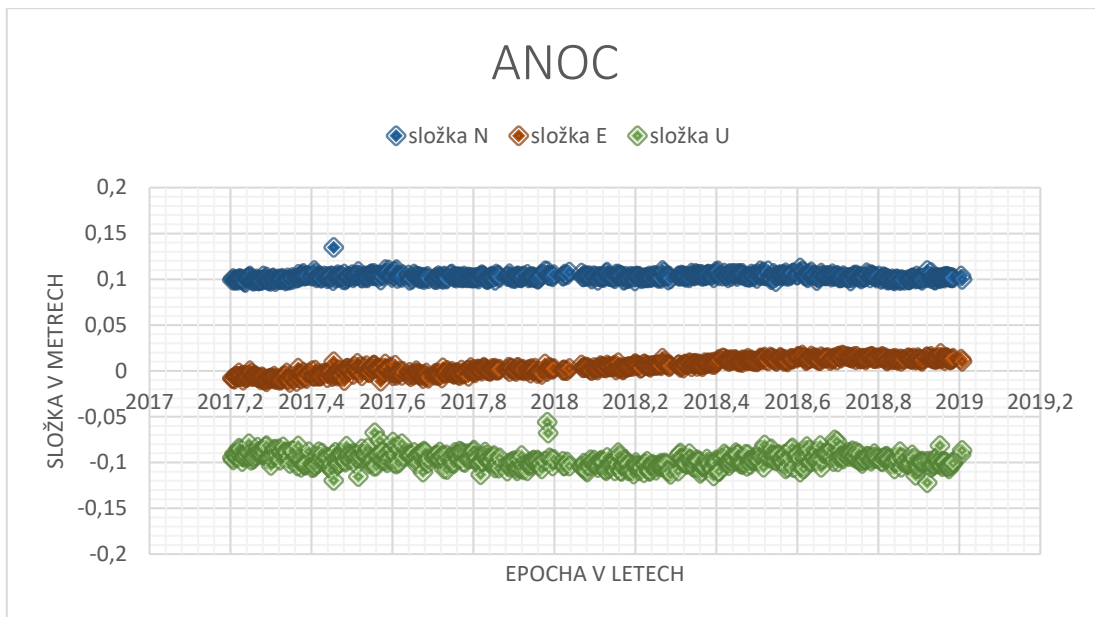
graf 6 observace stanice AGRI



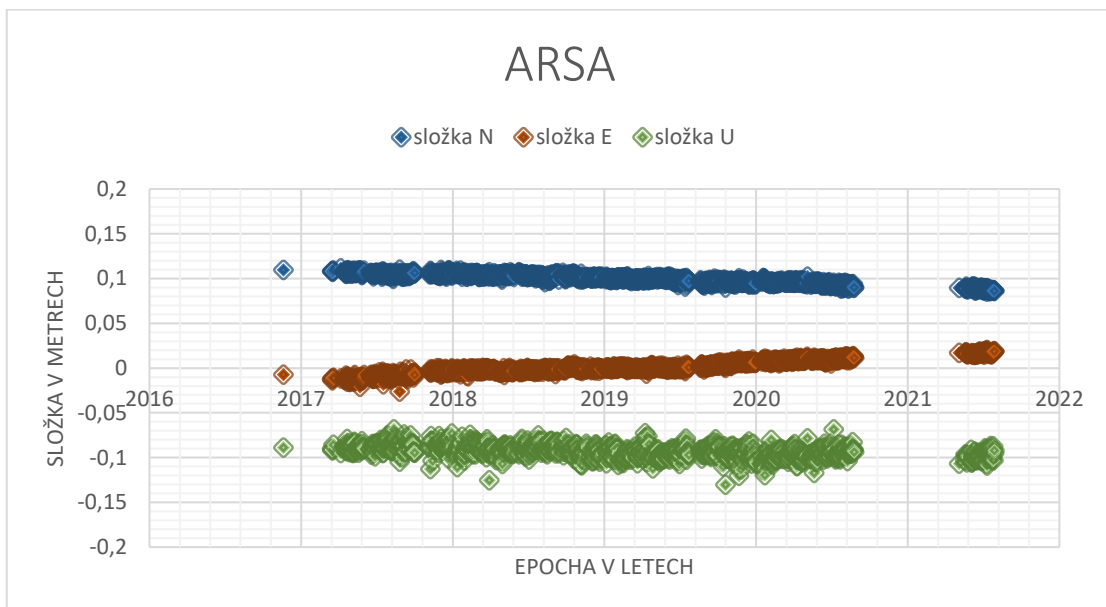
graf 7 observace stanice AMFI



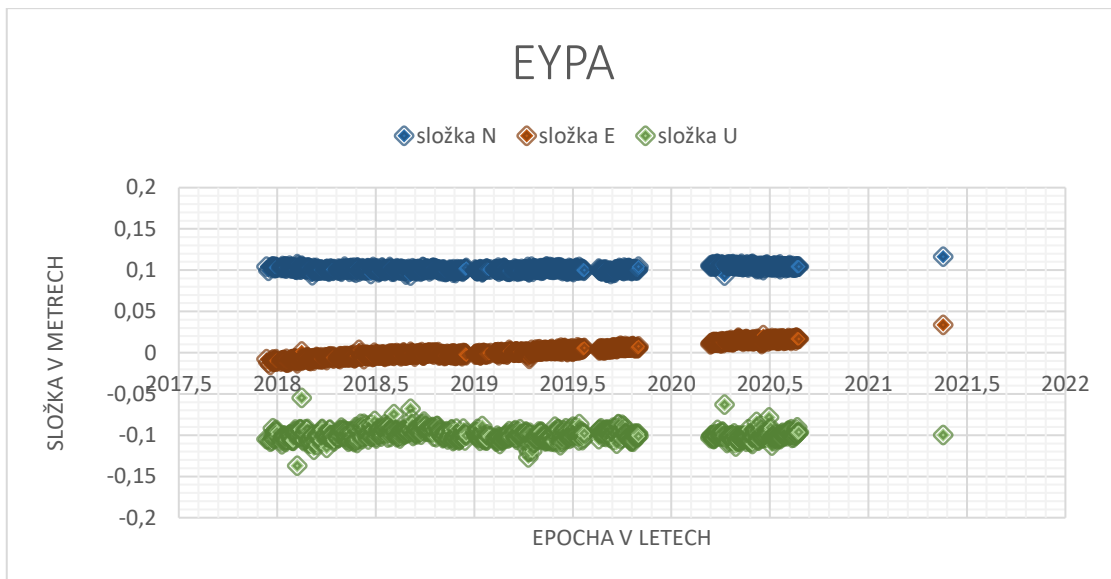
graf 8 observace stanice ANOC



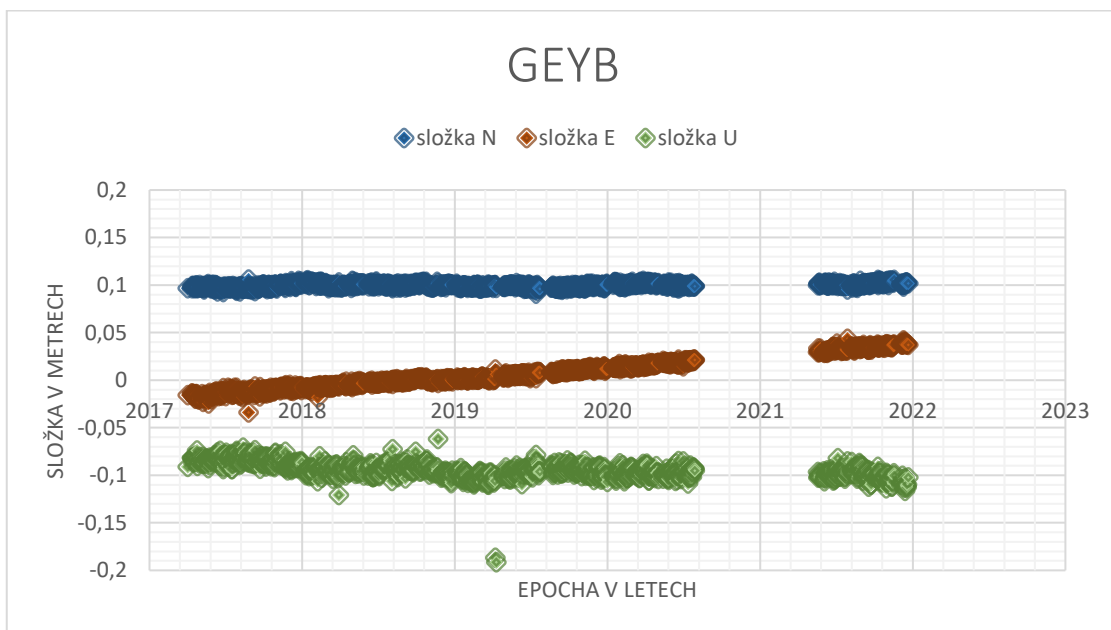
graf 9 observace stanice ARSA



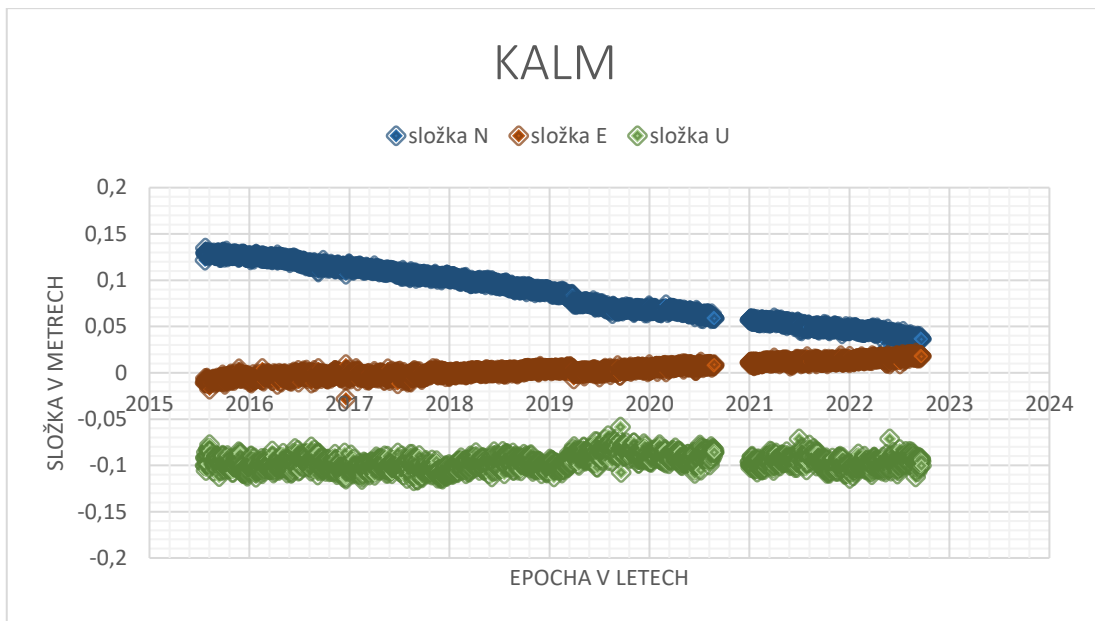
graf 10 observace stanice EYPA



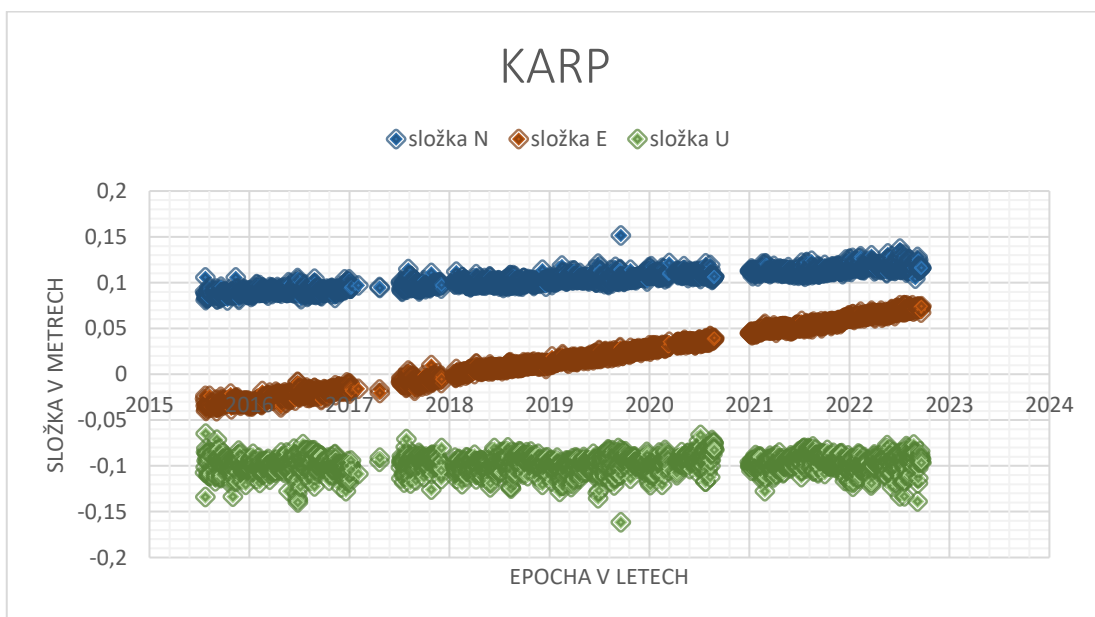
graf 11 observace stanice GEYB



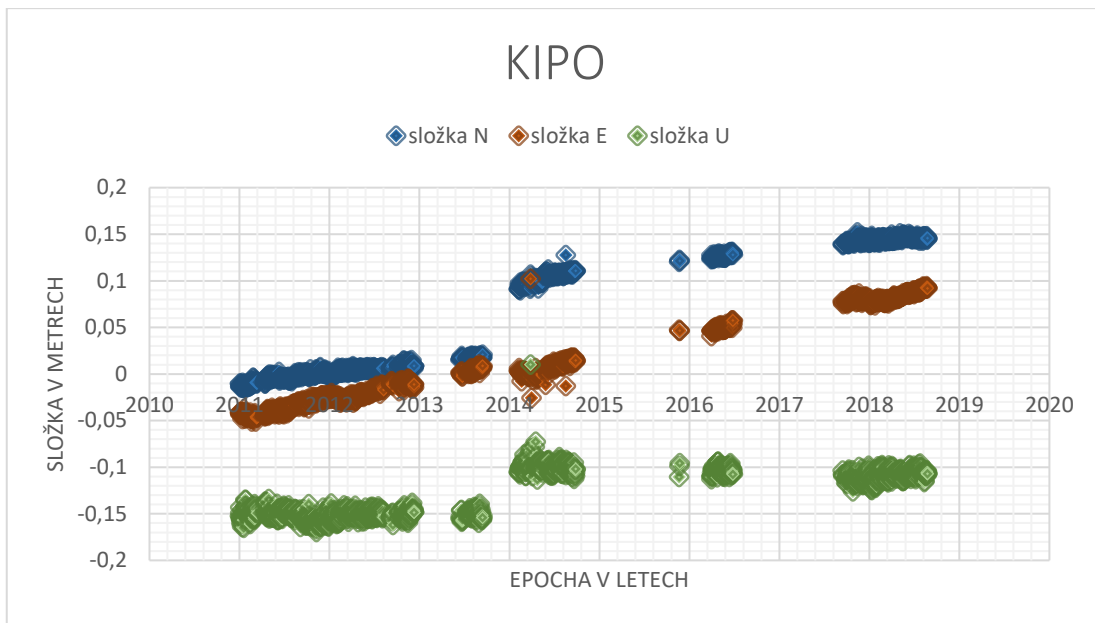
graf 12 observace stanice KALM



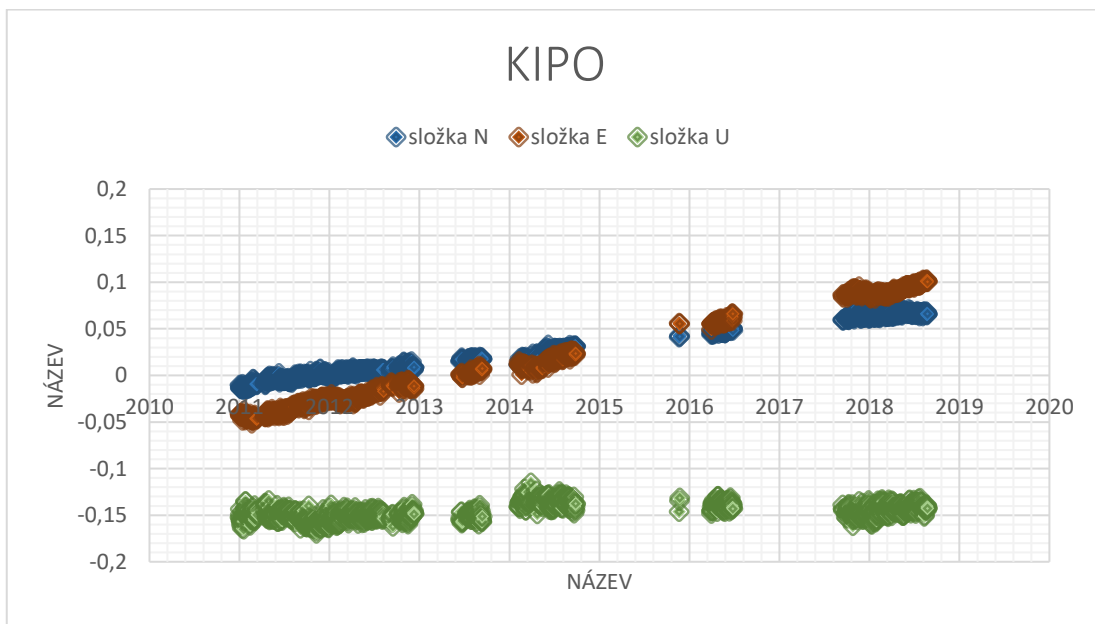
graf 13 observace stanice KARP



graf 14 data stanice KIPO

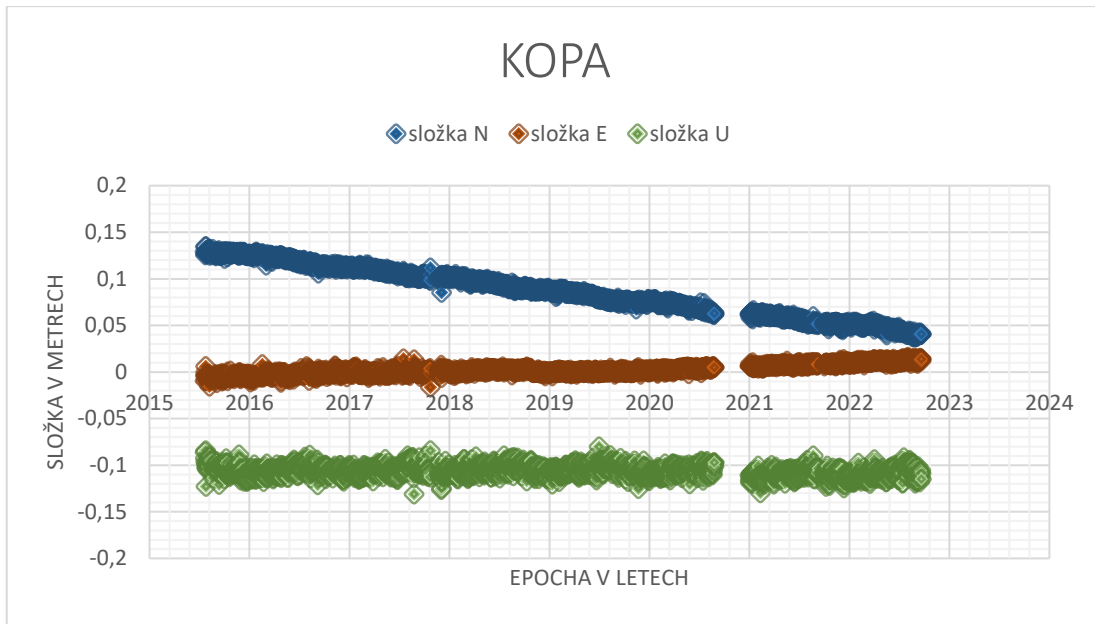


graf 15 observace stanice KIPO (data po úpravě)

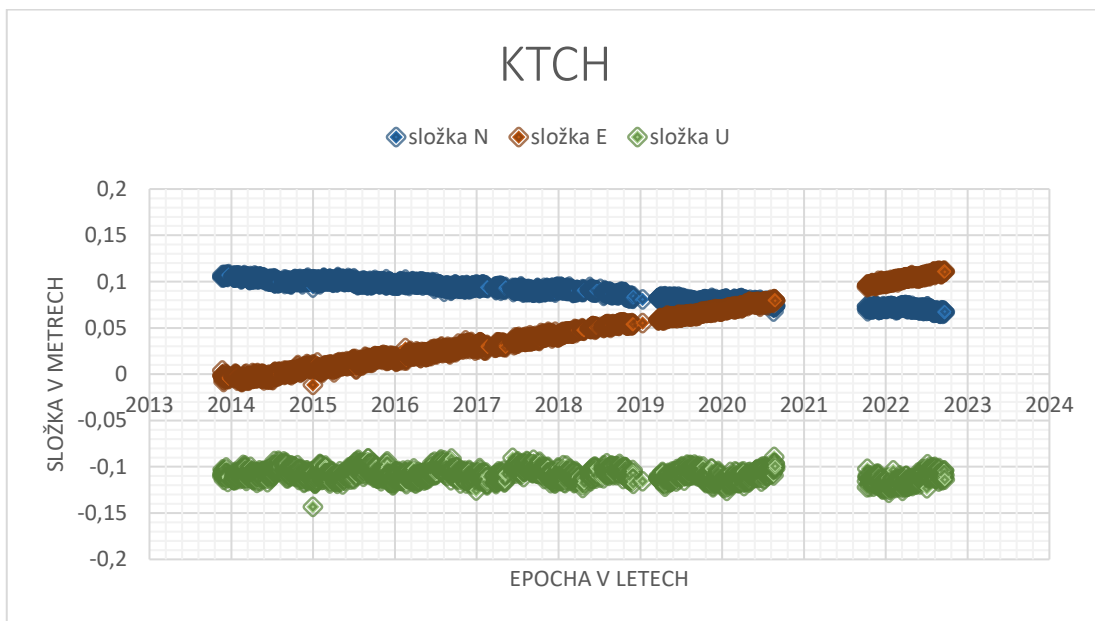


Data stanice KIPO před (graf14) a po (graf15) odstranění koku. Observační data byla použita pro analýzu časové řady, tedy po odstranění nepřesných dat.

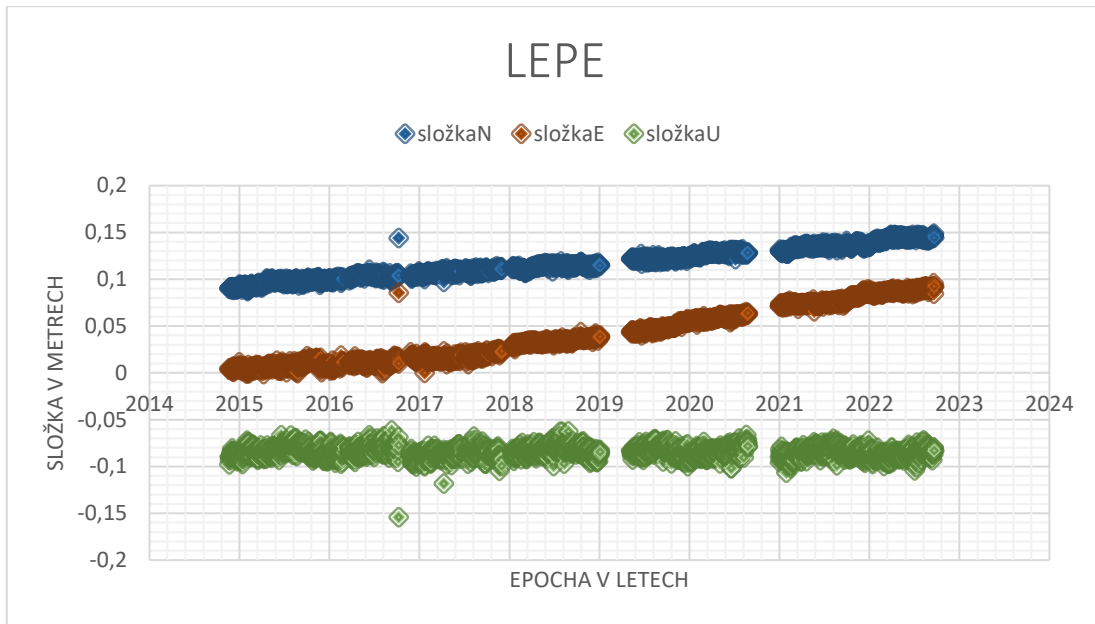
graf 16 observace stanice KOPA



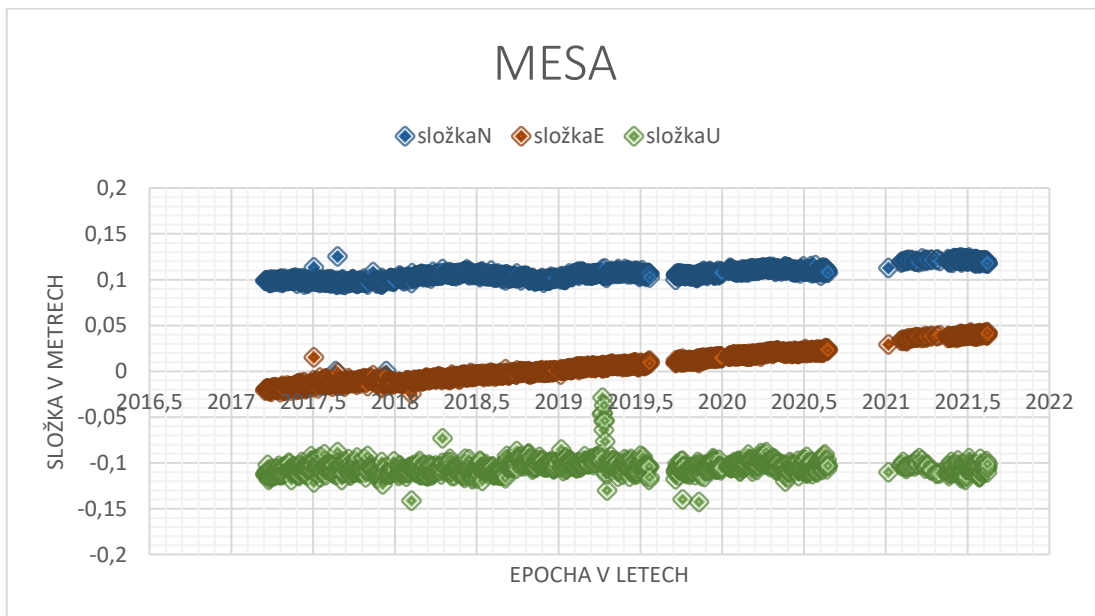
graf 17 observace stanice KTCH



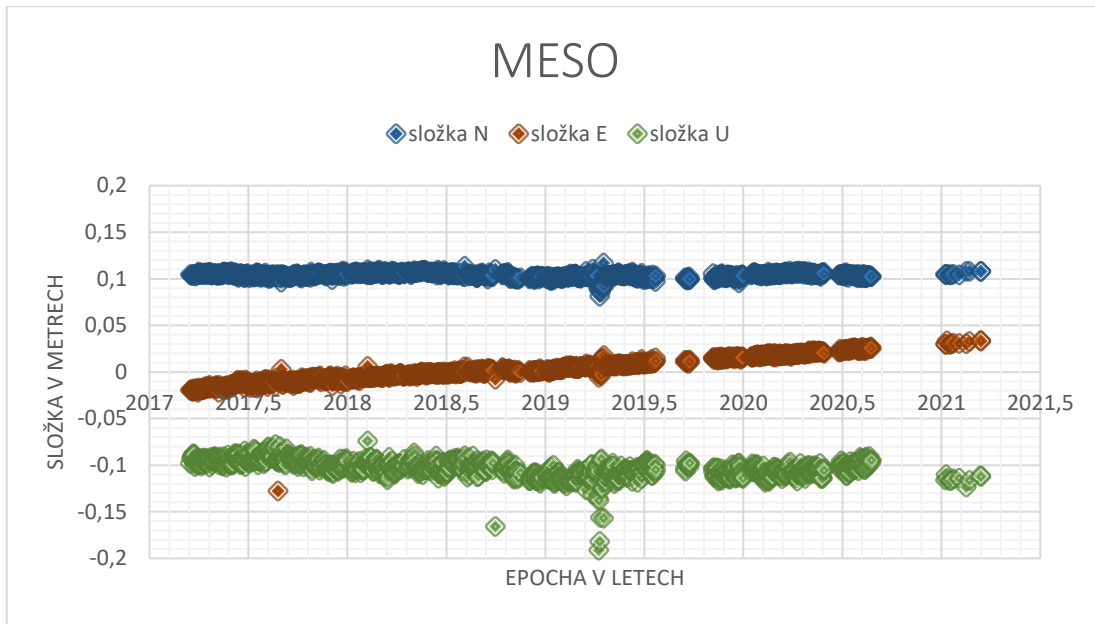
graf 18 observace stanice LEPE



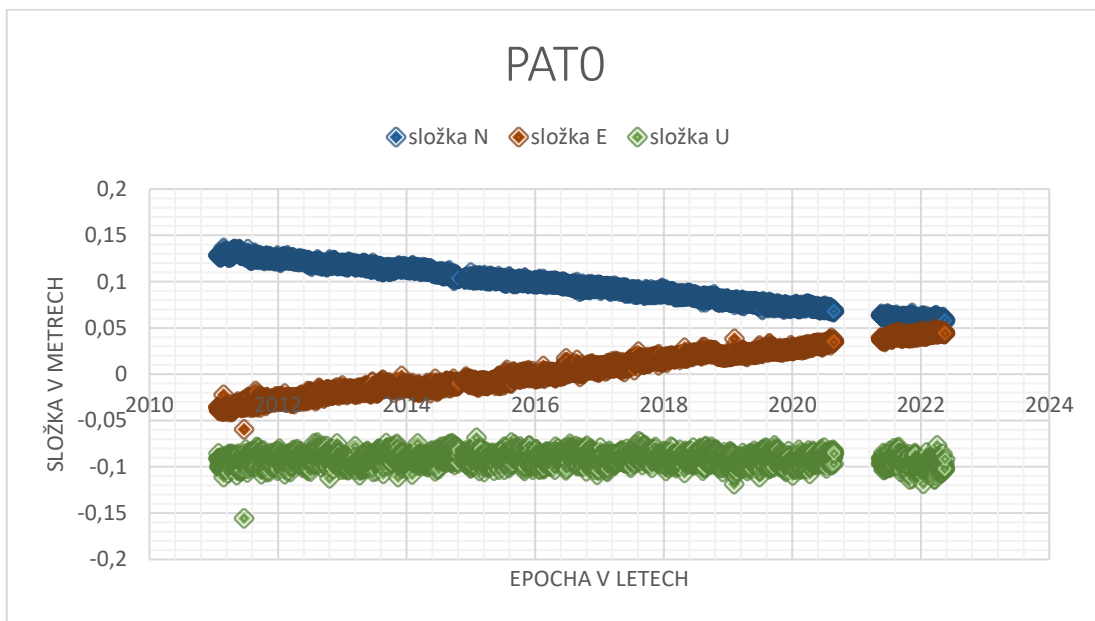
graf 19 observace stanice MESA



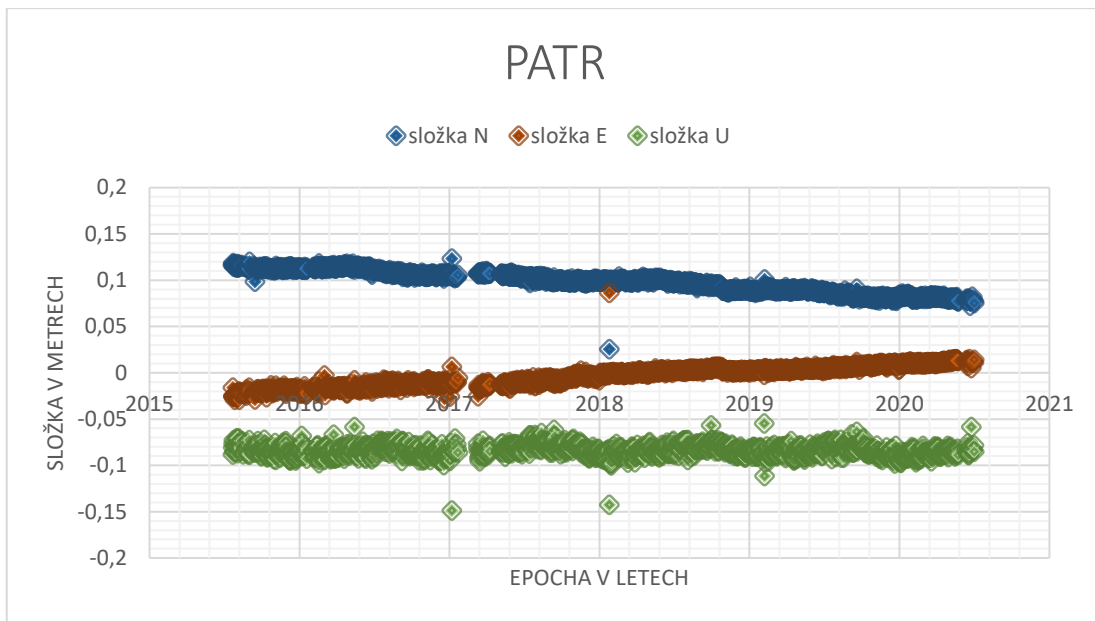
graf 20 observace stanice MESO



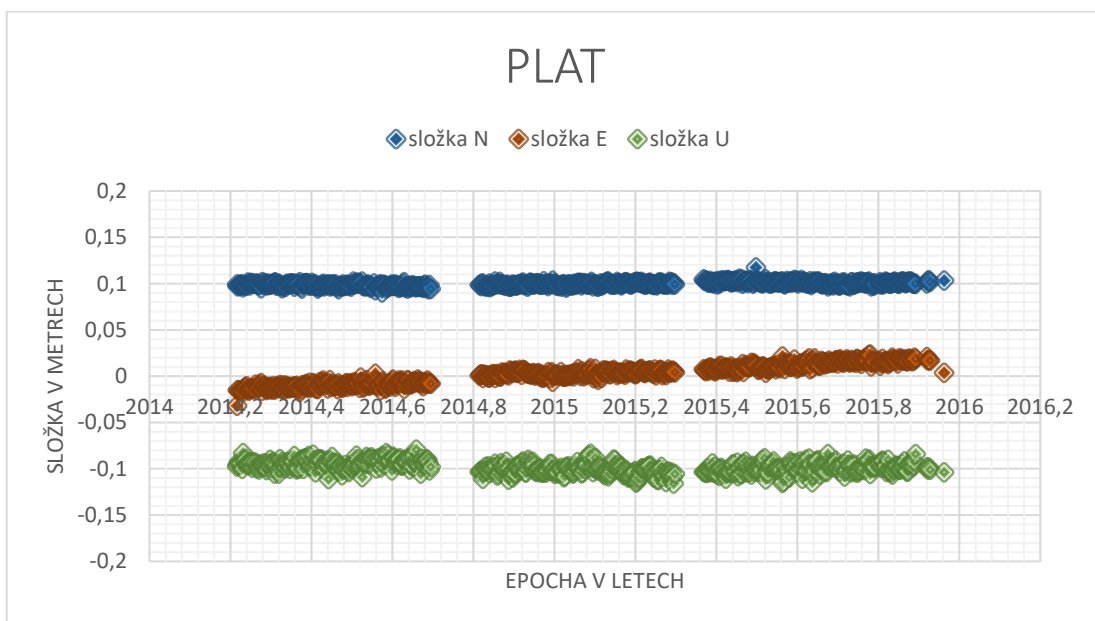
graf 21 observace stanice PATO



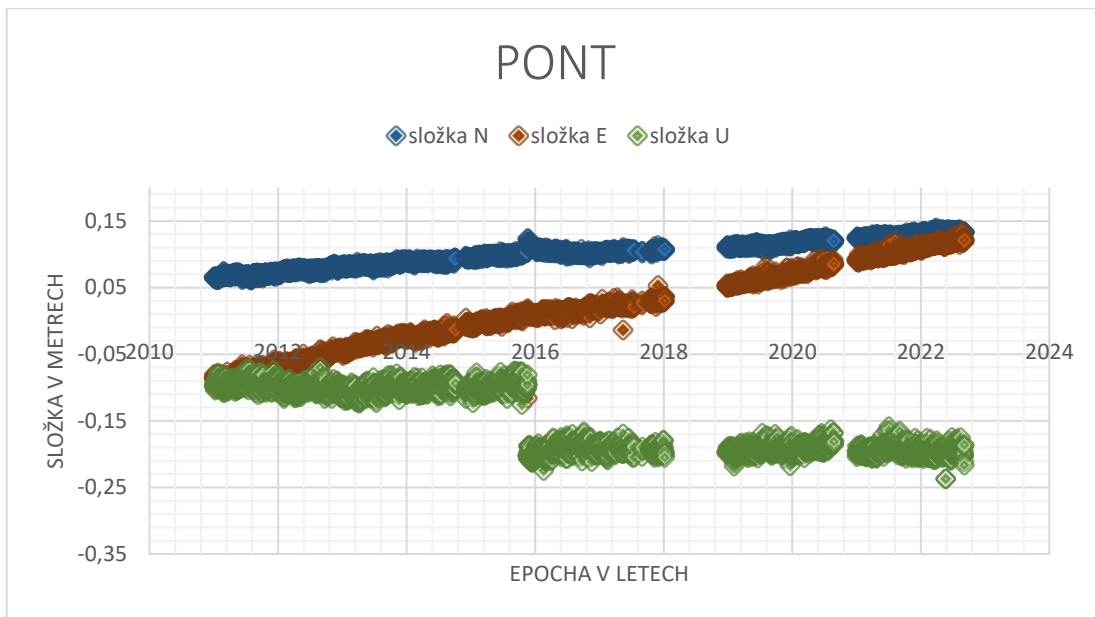
graf 22 observace stanice PATR



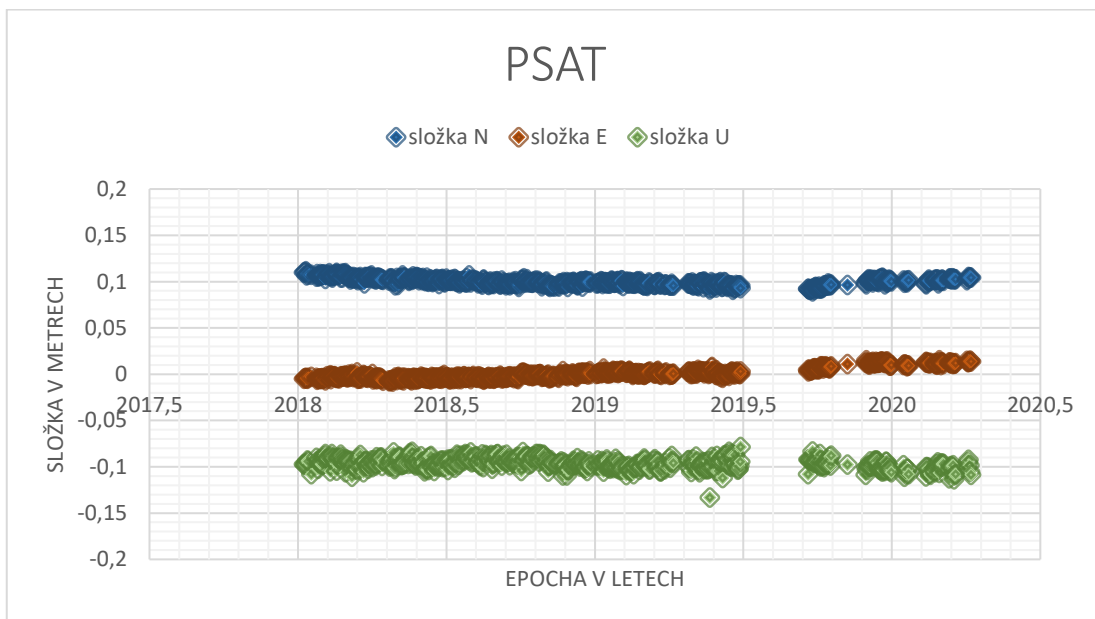
graf 23 observace stanice PLAT



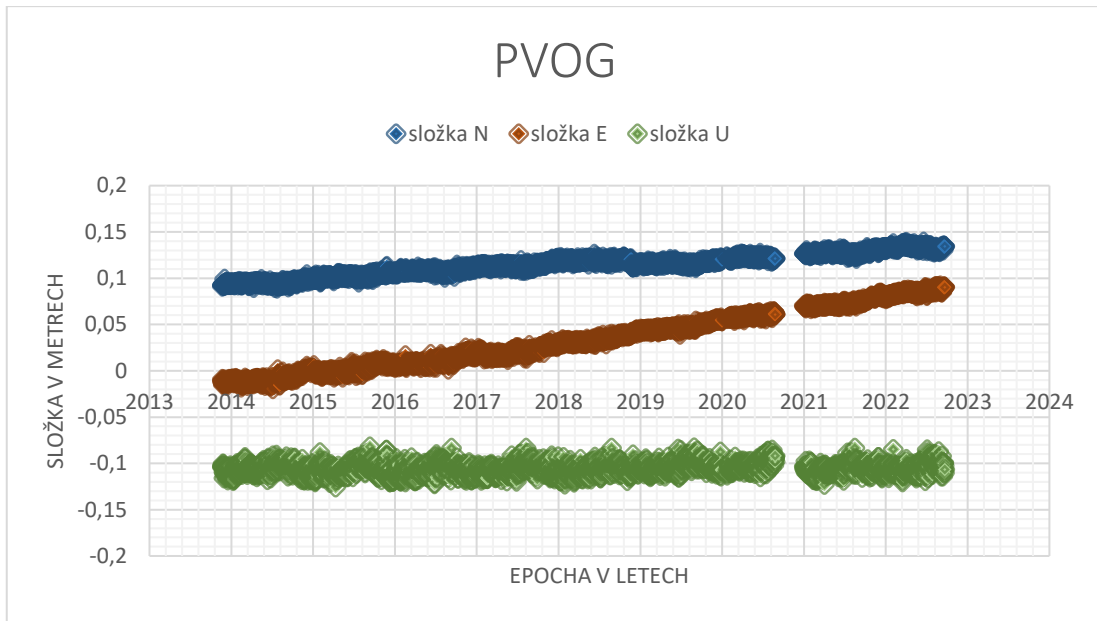
graf 24 observace stanice PONT



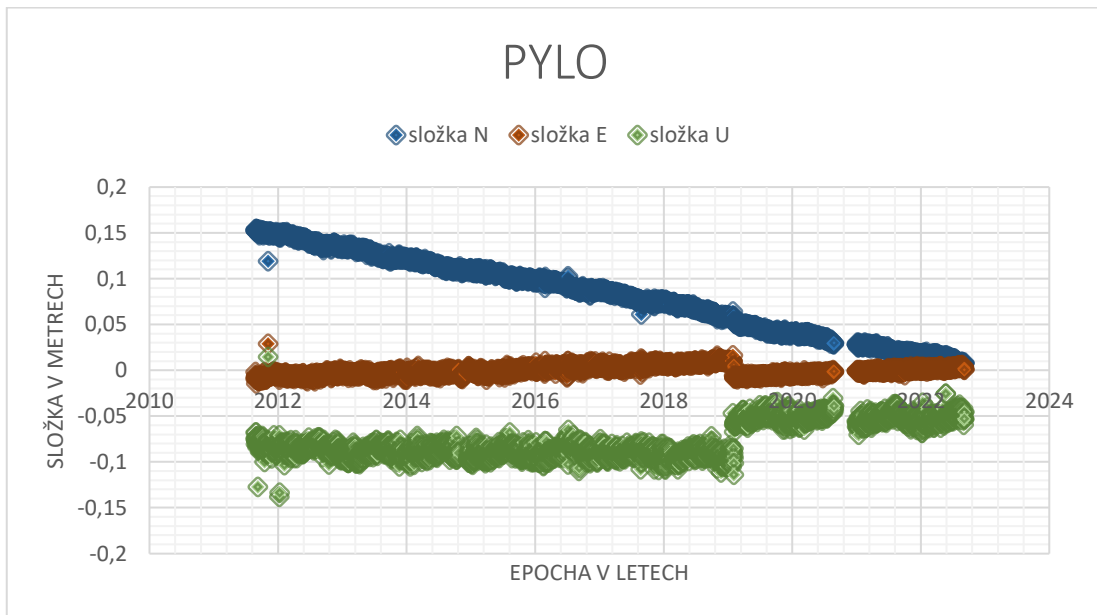
graf 25 observace stanice PSAT



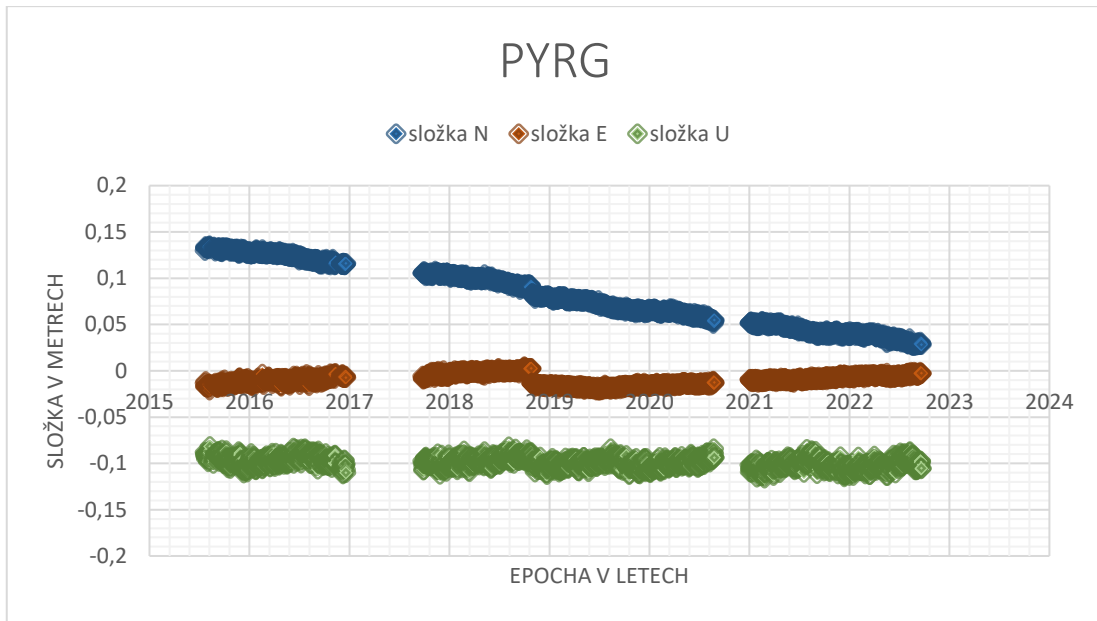
graf 26 observace stanice PVOG



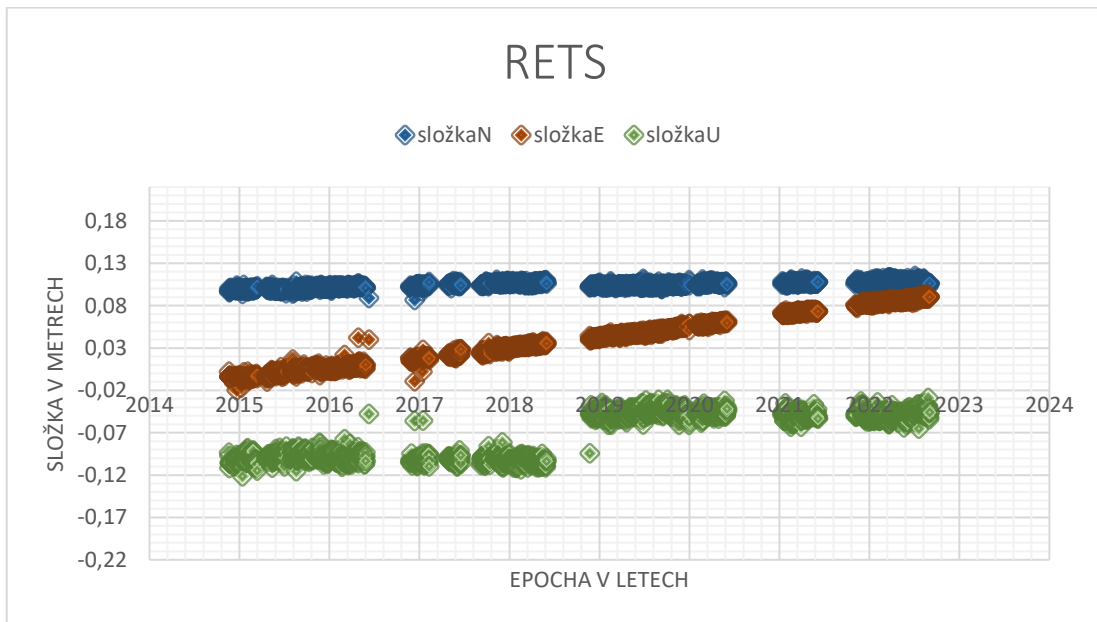
graf 27 observace stanice PYLO



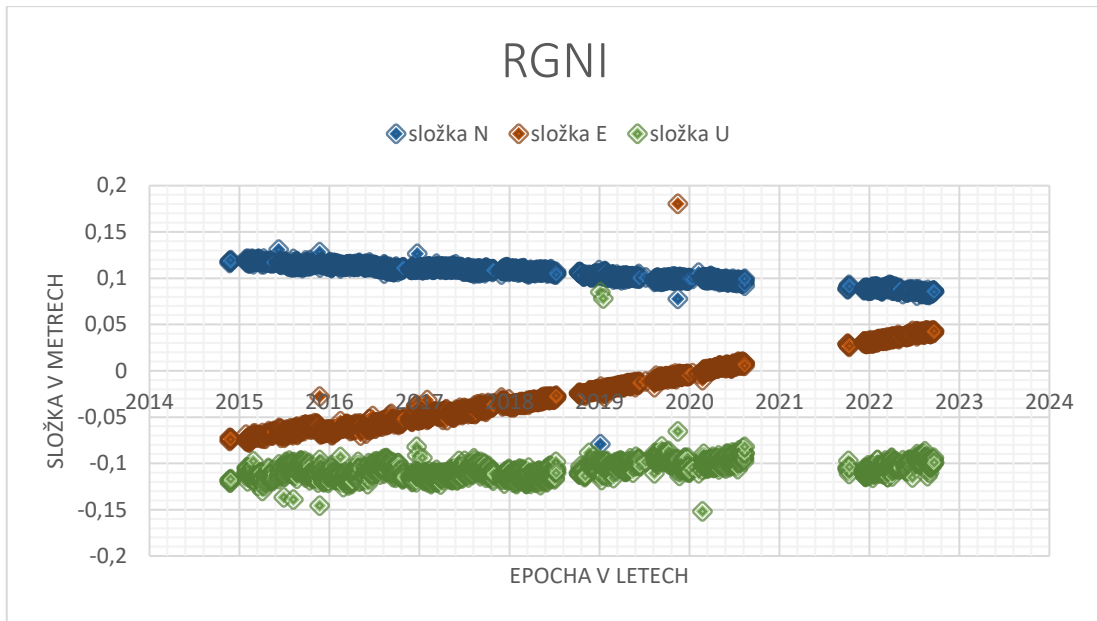
graf 28 observace stanice PYRG



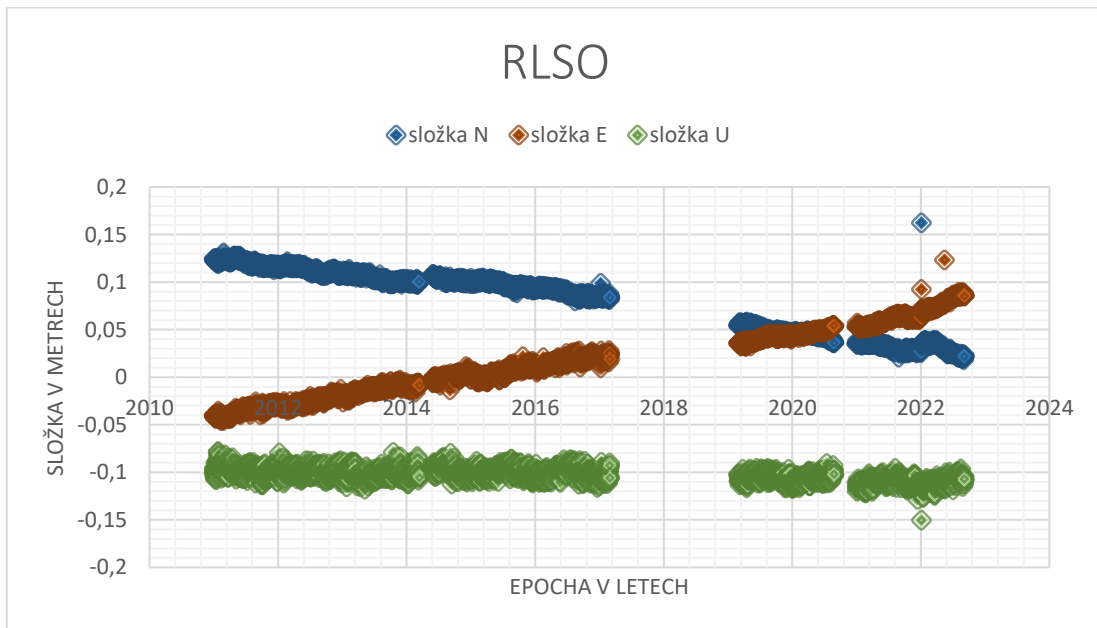
graf 29 observace stanice RETS



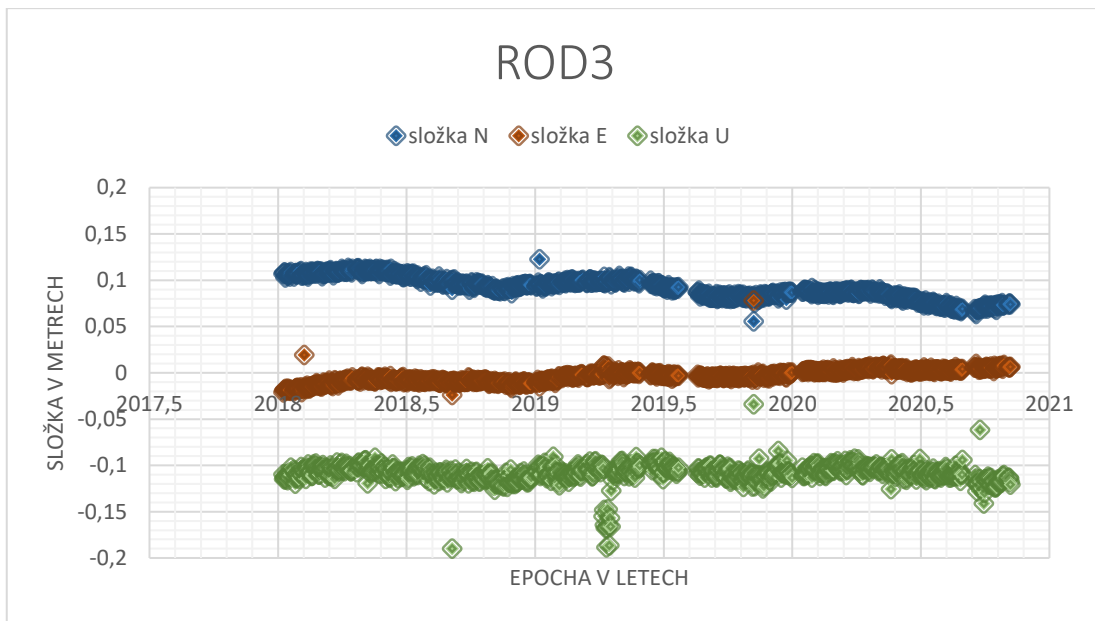
graf 30 observace stanice RGNI



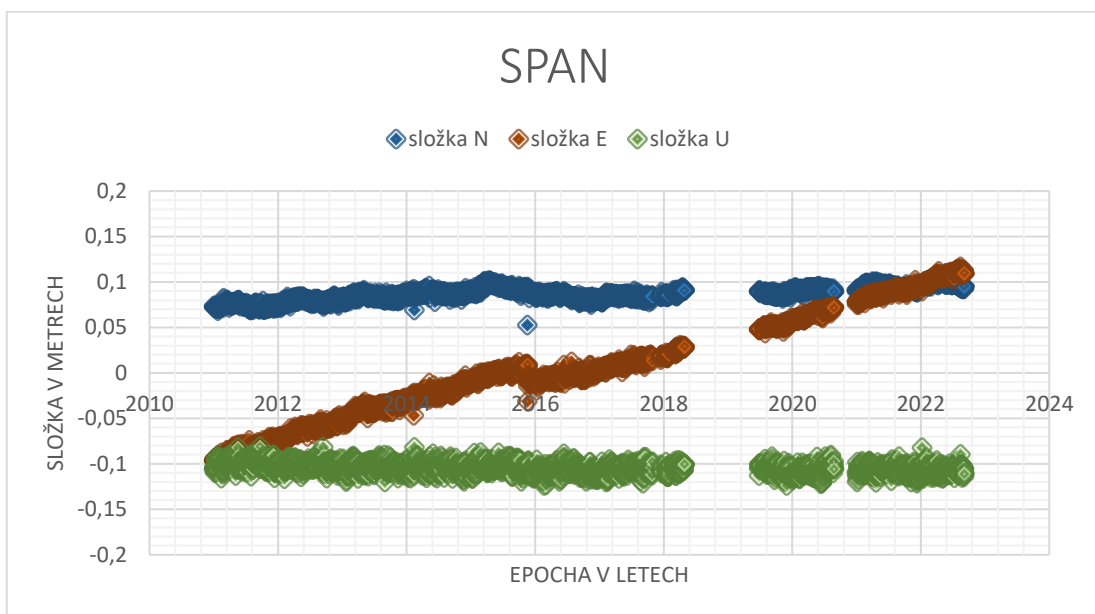
graf 31 observace stanice RLSO



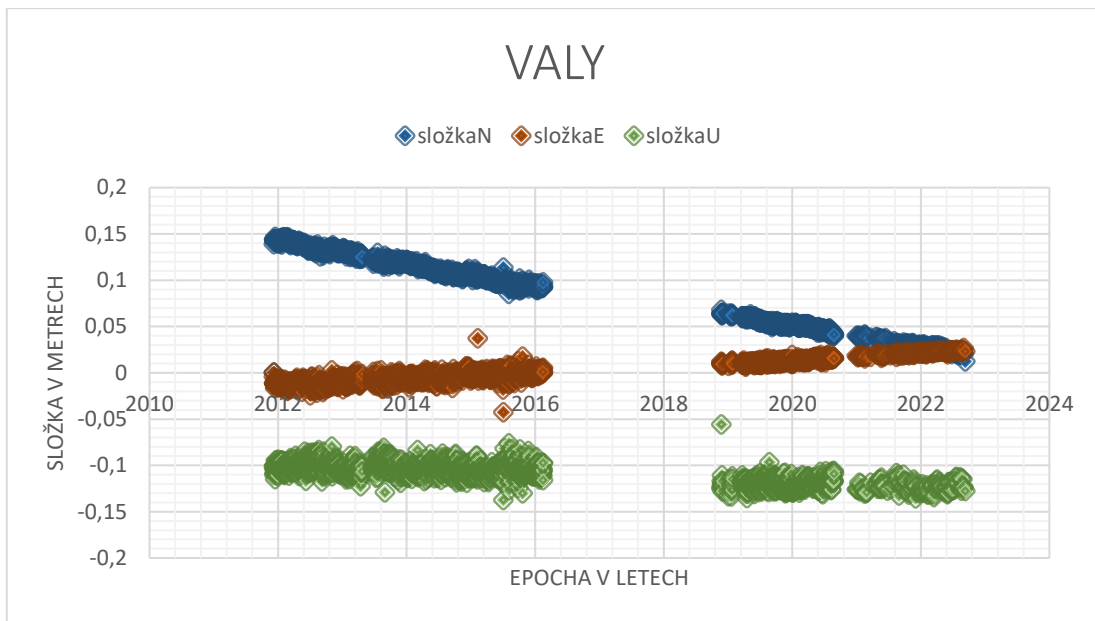
graf 32 observace stanice ROD3



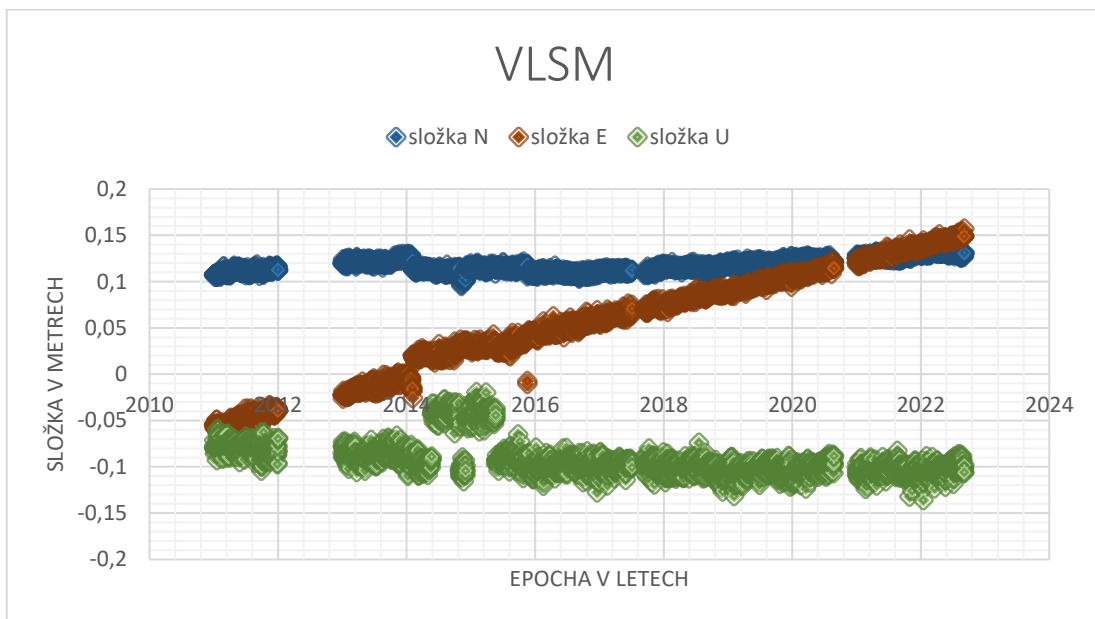
graf 33 observace stanice SPAN



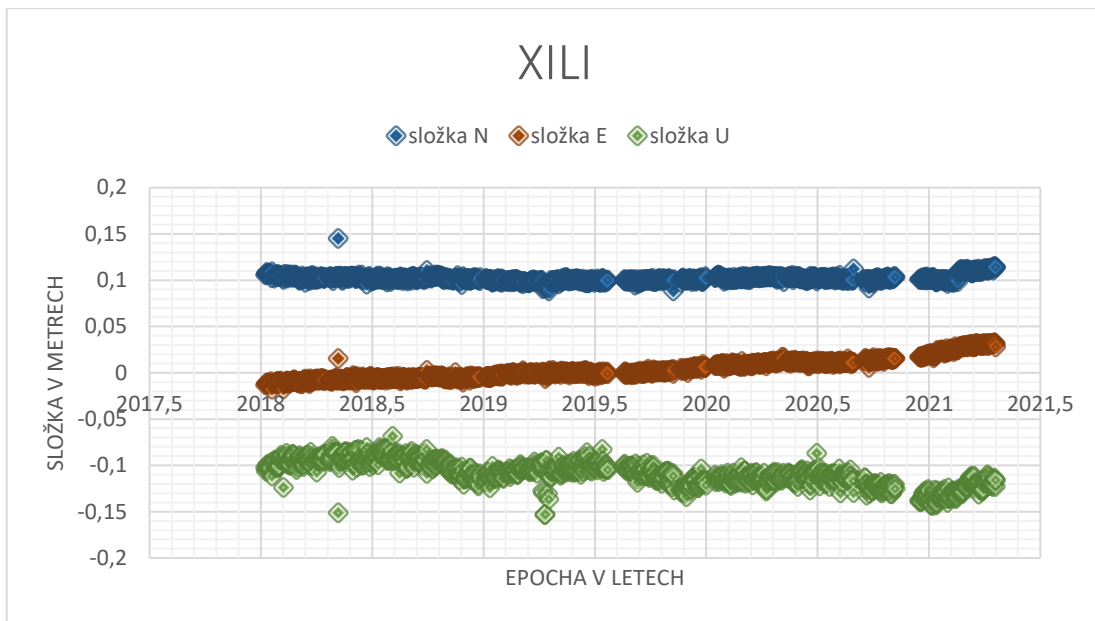
graf 34 observace stanice VALY



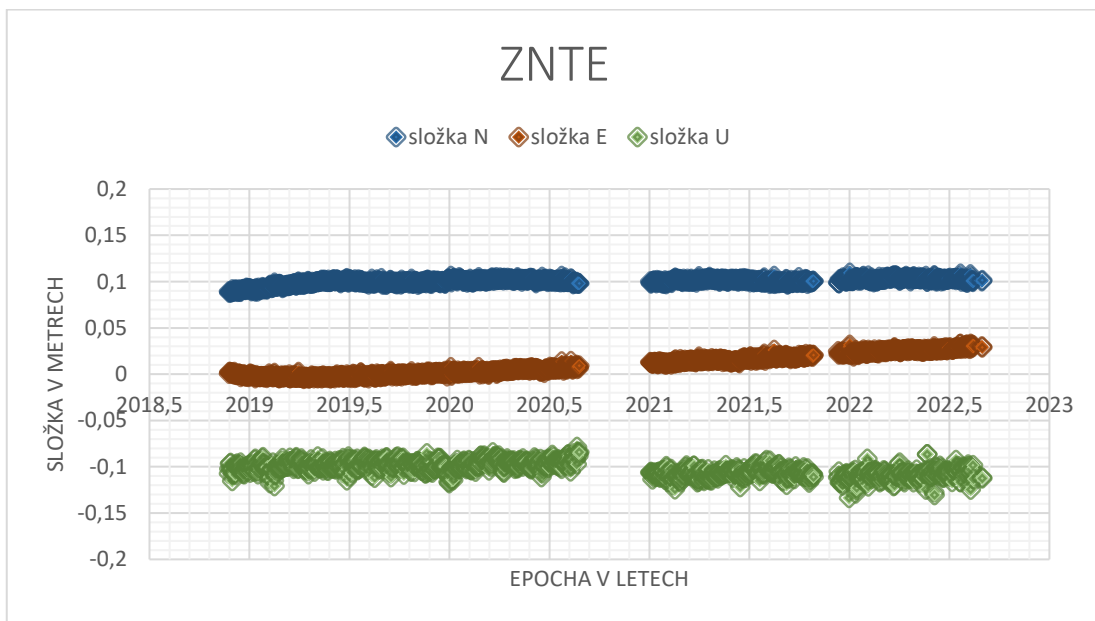
graf 35 observace stanice VLSM



graf 36 observace stanice XILI



graf 37 observace stanice ZNTE



7 Posuny

7.1 Skoková změna souřadnice

Skokové změn v časových řadách, byly identifikovány jako známé změny na stanici nebo jako předpokládané zemětřesení. Skokové změny většinou pozorovány ve všech souřadnicových složkách. Zvláštním případem je složka U kde u některých stanic není uvedeno fázové centrum a referenční bod antén. Zavedením či doplněním této informace vzniká skok pouze v této souřadnici.

Tyto skoky byly ručně vyhledány a odstraněny. Hledání zahrnovalo jednak pozorování grafu a jednak výpočet rozdílů od předchozího pozorování, kde bylo následně vyhledáno maximum. Skoky byly odstraněny zavedením oprav. Tato hodnota získána lineární interpolací dat před skokem a po skoku. Také bylo nutné vzít v potaz chybějící data, proto byla přímka určována symetrickým intervalem založeném na počtu dat. Dosazením do dvou rovnic získány hodnoty ve dvou časech. Zavedená oprava je rovna průměru rozdílů funkcí v čase před a po skoku.

$$v = \frac{[f_2(t_1) - f_1(t_1)] + [f_2(t_2) - f_1(t_2)]}{2} \quad (7.1.1)$$

7.2 Posuny tabulka

Rychlosti posunů z vyrovnání byly referncovány dvojím způsobem: buď na stanici PATO nebo na průměr posunů stanic PATO a PATR. Jedná se o rozdíl rychlostí posunů jednotlivých stanic vůči rychlosti posunu referenční stanice, resp. průměru referenčních stanic, je dán rozdílem parametrů b z vyrovnání.

tab 3 rozdíl rychlostí posunů 2 metody

posun:	od PAT0			od průměru PAT0, PATR		
jednotky	[mm za rok]			[mm za rok]		
stanice	N	E	U	N	E	U
agri	13,333	2,258	-1,442	13,929	2,354	-1,354
amfi	13,865	7,775	1,428	14,460	7,871	1,516
anoc	7,553	6,294	-4,364	8,148	6,390	-4,276
arsa	2,041	-1,011	-2,468	2,636	-0,915	-2,380
eypa	7,856	2,373	-0,378	8,451	2,469	-0,290
geyb	7,010	4,251	-3,141	7,605	4,347	-3,052
kalm	-7,108	-3,918	0,959	-6,513	-3,822	1,047
karp	10,905	7,828	0,646	11,500	7,924	0,735
kipo	16,876	12,135	1,407	17,471	12,231	1,495
kopa	-5,928	-5,092	-0,554	-5,332	-4,996	-0,466
ktch	2,189	6,056	-0,567	2,784	6,152	-0,479
lepe	13,075	4,962	-0,114	13,671	5,058	-0,026
mesa	11,205	6,163	1,181	11,800	6,259	1,269
meso	6,200	4,709	-3,733	6,795	4,805	-3,644
pat0	0,000	0,000	0,000	0,595	0,096	0,088
patr	-1,191	-0,192	-0,176	-0,595	-0,096	-0,088
plat	9,062	10,762	-4,502	9,657	10,858	-4,414
pont	12,029	10,042	-11,149	12,625	10,138	-11,061
psat	3,489	0,550	-2,803	4,085	0,646	-2,715
pvog	10,903	4,802	0,470	11,499	4,898	0,558
pylo	-6,676	-6,610	4,194	-6,081	-6,514	4,283
pyrg	-8,720	-6,997	-0,931	-8,124	-6,901	-0,843
rets	7,524	5,372	9,649	8,120	5,468	9,737
rgni	2,257	8,267	2,070	2,853	8,363	2,158
rlso	-2,449	2,488	-0,940	-1,854	2,584	-0,852
rod3	-5,598	-0,243	0,450	-5,003	-0,147	0,538
span	8,013	9,197	-0,432	8,609	9,293	-0,344
valy	-4,714	-3,830	-2,380	-4,119	-3,734	-2,292
vism	7,803	10,374	-2,552	8,399	10,470	-2,464
xili	7,056	3,788	-10,198	7,651	3,884	-10,110
znte	8,053	2,294	-3,727	8,648	2,390	-3,638

7.3 Posuny

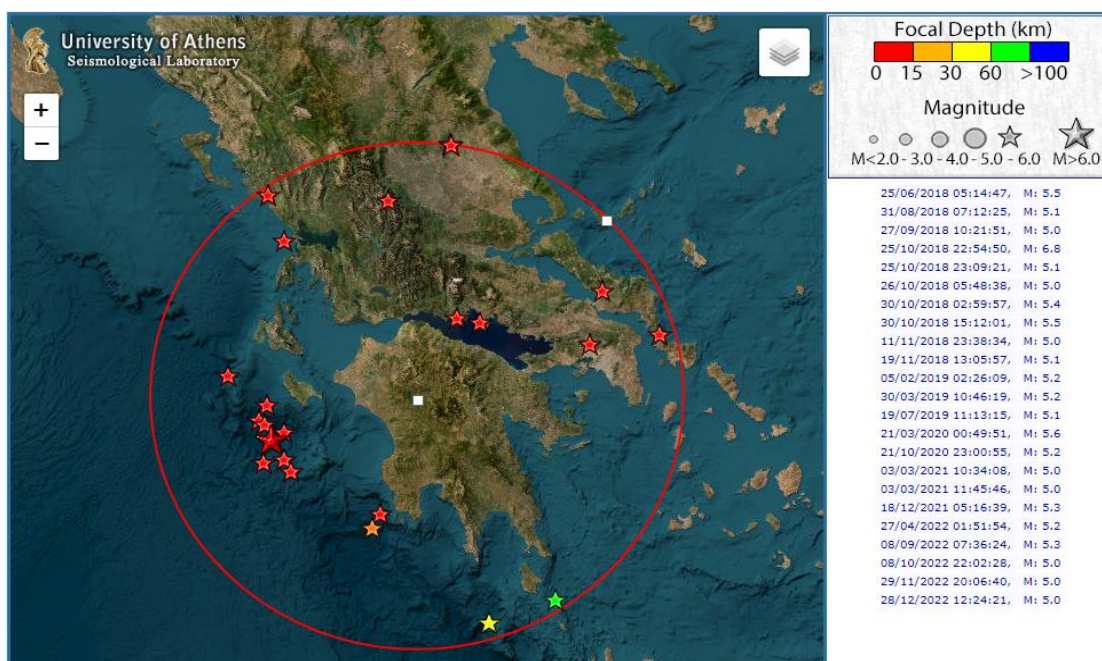
Bylo prokázáno že v zájmové oblasti dochází k posunům. Posuny jsou dostatečně velké, aby je bylo možné změřit metodu GNSS. Jistě také dochází k malým posunům, ty však vzhledem k přesnosti měření nelze tímto postupem prokazovat. Hlavním směrem, ve kterém dochází k posunům všech stanic, je Východ (složka E). U směru Sever-Jih (složka N) dochází k rozdílům znamének u rychlosti v [m za rok]. Rozdíly směru těchto rychlostí odpovídají tektonickým poruchám v oblasti jako jsou zlom Katouna-Stamna a Korintská trhlina.

7.4 Změny dilatace a komprese

Následně byly zjištěné posuny porovnány se závěry seismologů a informacemi o poruchách v oblasti (5) (6). V místě Korintského zálivu dochází k dilataci. Trhlina rozděluje Peloponéský poloostrov, jež se posouvá jižním směrem a Balkánský poloostrov s posunem směrem k severu. Směry také odpovídají u zlomu Katouna-Stamna. Stanice na Východ od zlomu vykazují posun severním směrem, a naopak stanice na Západ od zlomu směrem na jih. Některé poruchy však není možné identifikovat a porovnat. Například zlom Achaia-Elia, neboť v jeho blízkosti se nachází pouze stanice RLSO. Dalším faktorem pro porovnávání je aktivita v místech poruch a zaznamenané události.

8 Závěr

Z měřených dat je patrné že data se na jednotlivých stanicích GNSS od sebe liší. Jednak poloha ovlivňuje směr jejich posunu a vektor rychlosti. Za druhé s liší přesností a rozptylem dat. Při jednotlivých krocích v průběhu zpracování je nutné předpokládat možnost chybějících dat či nepřesností. Také je tu rozdíl v počtu událostí i seismická aktivita se na místech podél jedné poruchy liší. Výrazné posuny odpovídají Zemětřesením. Síla zemětřesení uváděna v jednotce magnituda (M), jež tvoří logaritmickou Richterovu škálu. Menší otřesy zachyceny pouze nejbližší stanicí. Velké otřesy, v závislosti na hloubce epicentra, zachyceny více stanicemi. Jako například zemětřesení o $M=6.4$. v roce 2015.(ostrov Lefkada), nebo zemětřesení o $M=6.8$ (Zakynthos) v roce 2018 (obr14). Zemětřesení v 2015.8821 zaznamenáno na stanicích SPAN i PONT.



obr. 14 zemětřesení ve vyznačené oblasti v letech 2018-22 $M>5$ (12)

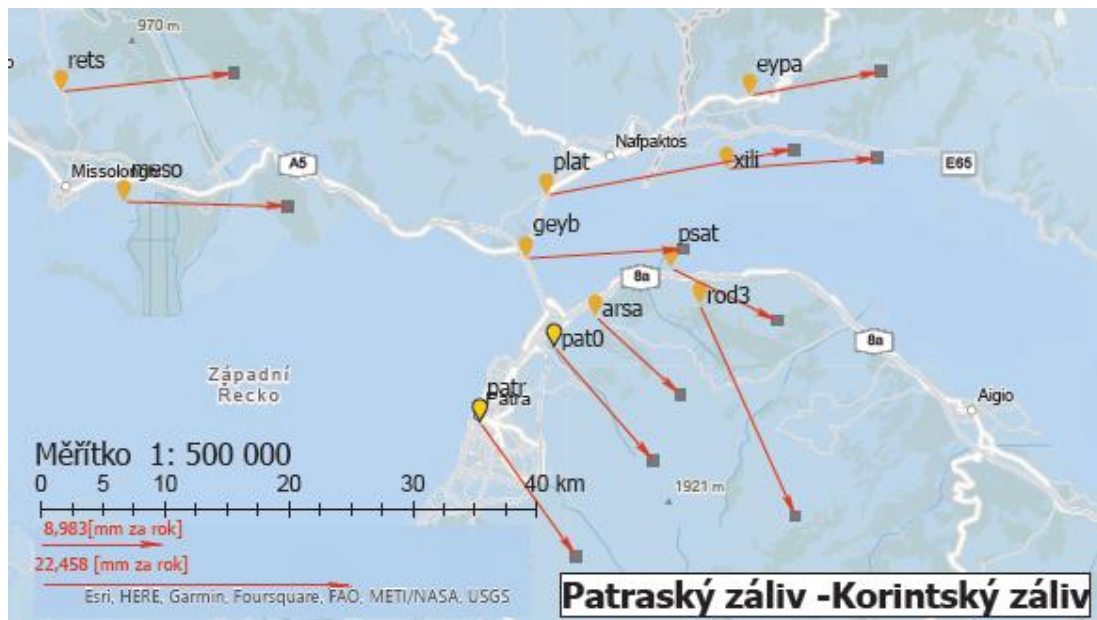
Naměřené hodnoty rychlostí v některých případech odpovídají předchozím analýzám, jiné vykazují změnu rychlosti. V porovnání s předchozím zjištěním (1) ze sítě PPGnet (2013-2017) došlo ke zvýšení rychlosti východním směrem. Zrychlení lze pozorovat např. u stanic KTCH, RGNI. Zjištěná rychlost rozpínání v Korintské trhliny v blízkosti města Patras odpovídá extension 7,6 mm za rok uvedené v článku The GPS velocity field of the Aegean (7)

tab 4 příklad změn rychlosti ve směru E

stanice	Původní rychlost (1) PPGNet [mm za rok]	Zjištěné rychlosti [mm za rok] z časových řad	Rozdíl rychlostí [mm za rok]
PVOG	12	12	0
RETS	9	13	4
KTCH	5	13	8
RGNI	5	10	5

Dlouhodobé observace jsou základem přesnější predikce, čím déle pozorování trvá, tím věrohodnější predikci získáme. Proto je nutné v observacích dále pokračovat a sbírat nová data. U starších dat zvážit transformaci do nových souřadnicových systémů či realizací ITRS. Jak měření GNSS, tak informace z měření z oblasti seismologie (geodynamiky) v oblasti jihozápadního Řecka, bylo základem pro zjištění posunů v souhlasném směru. Tedy dochází k rozpínání v místě trhlin a posunům v místě zlomů. Zjištěna byla změna rychlosti. Je nutné zohlednit že při porovnání použity různé časové řady, rozdílné roky. Také došlo k novým seismickým událostem a ty mohou data ovlivnit. Tyto výsledky a zjištění poukazují na necelistvost oblasti jihozápadního Řecka.

Časové řady zobrazeny graficky jak formou grafu, tak zakreslením vektorů rychlosti posunů. Názorné ukázky zpracování jsou součástí diplomové práce, celé grafické zpracování je součástí příloh.



obr. 15 vektor posunů za rok (vsechnaB)

10 Seznam Obrázků

OBR. 1 PVOG	12
OBR. 2 RETS	12
OBR. 3 VALY	12
OBR. 4 RGN1	12
OBR. 5 ZNTE (19) HTTP://GEODESY.GEIN.NOA.GR:8000/NGINFO/ZNTE/	13
OBR. 6 REALIZACE ITRF2014 OBLAST ŘECKO A OKOLÍ (5)	14
OBR. 7 REALIZACE ITRF2020 OBLAST ŘECKO A OKOLÍ (5)	14
OBR. 8 HELÉNSKÁ SUBDUKČNÍ ZÓNA	15
OBR. 9 HRANICE 10 LITOSFÉRICKÝCH KE V EGEJSKÉ OBLASTI A ČASOVÉ ŘADY GPS STANIC NOMI SLOŽKY E, U (6)	16
OBR. 10 GEODYNAMIKA EGEJSKÉ DESKY (2)	17
OBR. 11 ZLOM KATOUNA-STAMNA, DALŠÍ PORUCHY V OBLASTI (5)	18
OBR. 12 MAPA VŠECH STANIC GOOGLEĚARTH	19
OBR. 13 UKÁZKA OBSERVAČNÍHO PŘEHLEDU STANICE PVOG	21
OBR. 14 ZEMĚTŘESENÍ VE VYZNAČENÉ OBLASTI V LETECH 2018-22 M>5 (12)	47
OBR. 15 VEKTOR POSUNŮ ZA ROK (VSECHNAB))	48

11 Seznam Grafů

GRAF 1 RYCHLOST POSUNŮ VE SMĚRECH NEU	26
GRAF 2 OBSERVACE AGRI SLOŽKA U	27
GRAF 3 OBSERVACE KALM SLOŽKA E	27
GRAF 4 OBSERVACE MESAI SLOŽKA N	28
GRAF 5 ODSTRANĚNÍ SKOKU V OBSERVAČNÍCH DATECH STANICE PONT (SUBGRAF PŘED A PO SKOKU).....	28
GRAF 6 OBSERVACE STANICE AGRI	29
GRAF 7 OBSERVACE STANICE AMFI	29
GRAF 8 OBSERVACE STANICE ANOC	30
GRAF 9 OBSERVACE STANICE ARSA	30
GRAF 10 OBSERVACE STANICE EYPA.....	31
GRAF 11 OBSERVACE STANICE GEYB	31
GRAF 12 OBSERVACE STANICE KALM	32
GRAF 13 OBSERVACE STANICE KARP	32
GRAF 14 DATA STANICE KIPO	33
GRAF 15 OBSERVACE STANICE KIPO (DATA PO ÚPRAVĚ)	33
GRAF 16 OBSERVACE STANICE KOPA.....	34
GRAF 17 OBSERVACE STANICE KTCH	34
GRAF 18 OBSERVACE STANICE LEPE	35
GRAF 19 OBSERVACE STANICE MESA	35
GRAF 20 OBSERVACE STANICE MESO	36
GRAF 21 OBSERVACE STANICE PATO.....	36
GRAF 22 OBSERVACE STANICE PATR	37
GRAF 23 OBSERVACE STANICE PLAT	37
GRAF 24 OBSERVACE STANICE PONT.....	38
GRAF 25 OBSERVACE STANICE PSAT	38
GRAF 26 OBSERVACE STANICE PVOG	39
GRAF 27 OBSERVACE STANICE PYLO.....	39
GRAF 28 OBSERVACE STANICE PYRG	40
GRAF 29 OBSERVACE STANICE RETS	40
GRAF 30 OBSERVACE STANICE RGNI.....	41
GRAF 31 OBSERVACE STANICE RLSO.....	41
GRAF 32 OBSERVACE STANICE ROD3.....	42
GRAF 33 OBSERVACE STANICE SPAN	42
GRAF 34 OBSERVACE STANICE VALY	43
GRAF 35 OBSERVACE STANICE VLSM.....	43
GRAF 36 OBSERVACE STANICE XILI	44
GRAF 37 OBSERVACE STANICE ZNTE.....	44

12 Seznam tabulek

TAB 1 SBĚR DAT V LETECH	20
TAB 2 GNSS STANICE A PARAMETRY ANTÉN ACP(ANTHENNA PHASE CENTRE), ARP(ANTHENNA REFERENC POINT)	24
TAB 3 ROZDÍL RYCHLOSTÍ POSUNŮ 2 METODY	46
TAB 4 PŘÍKLAD ZMĚN RYCHLOSTI VE SMĚRU E	48

13 Seznam rovnic

(6.6.1) Předpokládána periodická funkce

$$A \sin(\Delta t + \varphi) = A \sin \Delta t \cos \varphi + A \cos \Delta t \sin \varphi = c \sin \Delta t + d \cos \Delta t$$

(6.6.2) Rovnice oprav

$$v_i = a + b(t_i - t_0) + c \sin[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] + d \cos[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] - l_i$$

(6.6.3) Přepočítání na tutéž epochu

$$\tilde{a} + b(t_i - \tilde{t}_0) = a + b(t_i - t_0)$$

(6.6.4) Vyjádření \tilde{a} z rovnice (6.6.3)

$$\tilde{a} = a + b(\tilde{t}_0 - t_0)$$

(6.6.5) Z rovnice oprav lze zpětně odvodit maticový zápis výpočtu oprav z vyrovnání

$$v = Ax - l$$

(6.6.6) Kde $x=[a,b,c,d]$ pak jsou prvky matice A

$$A = \begin{matrix} 1 & (t_i - t_0) & \sin[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] & \cos[2\pi(t_i - t_{zac_roku})] \\ 1 & (t_{i+1} - t_0) & \sin[2\pi(t_{i+1} - t_{zac_roku})] & \cos[2\pi(t_{i+1} - t_{zac_roku})] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix}$$

(6.6.7) Podmínka MNČ pro jednoznačné řešení, P matice vah, kde na diagonále $p=1$

$$[v^T P v] = \min$$

(7.1.1) Oprava skoku

$$v = \frac{[f_2(t_1) - f_1(t_1)] + [f_2(t_2) - f_1(t_2)]}{2}$$

14 Seznam příloh

1. MS Excel /tabulky
Tabulky a grafy grafy_DP.xlsx
Tabulka souřadnice stanic ITRS14 souradnice.txt
Pracovní tabulka práce_DP.xlsx
Test programů test_program.xlsx
2. Matlab /program/vyrovnaní
Vyrovnaní MNČ vyrovnani_DP.m
Funkce jména souboru fn.m
výstup Matlab: *name = název vstupního souboru, značení stanice*
Parametry b vsechnaB.csv
Opravená měření lv_name_.txt
Výsledek vyrovnání x_name_.txt
Matice A A_name_.txt
Neznámé v 1 epoše epocha_abcd.txt
3. ArcGISPro /projekt
Projekt
Tabulky vstupní vseB_vsechno_carky.csv
/mapa
Layout výstup .pdf mapaGNSS_vektor.pdf
4. GoogleEarth Pro /mapa
Zobrazení stanic mapastanicGoogleEarth.jpg
/projekt
Soubor místa gnss_diplo.kmz
/program
5. Programy (PuTTY)
rozipren
prumsour
blh2neu

15 Zdroje použitých dat

Chousianitis K., Papanikolaou X., Drakatos G., Tselentis G.-A., 2021, NOANET: A Continuously Operating GNSS Network for Solid-Earth Sciences in Greece, Seismological Research Letters, doi: <https://doi.org/10.1785/0220200340>

Ganas A., Drakatos G., Rontogianni S., Tsimi C., Petrou P., Papanikolaou M., Argyrakis P., Boukouras K., Melis N., Stavrakakis G., 2008, NOANET: the new permanent GPS network for Geodynamics in Greece, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-04380

**Usage of ZNTE, STRF, KTHA, ANKY and PTKG data should be accompanied, in addition to the aforementioned, by the following citation:
INGV RING Working Group 2016, Rete Integrata Nazionale GNSS, DOI:10.13127/RING**

Stanice PPGNet -sít provozovaná Výzkumným ústavem geodetickým, topografickým a kartografickým, v.v.i., Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy v Praze ve spolupráci s Univerzitou Patras v Řecku.

Data uložena kvůli velké velikosti u zhotovitele a na úložišti.

16 Reference

1. **Lyros E., Kostelecky J., Plicka V., Filler V., Sokos E., Nikolakopoulos K.** Detection of Tectonic and Crustal Deformation using GNSS Data Processing: The Case of PPGNet. *Civil Engineering Journal (Tehran)*, Vol. 7, No. 01, pp. 14-23, doi: 10.28991/. 2021.
2. **Davis, James & Wernicke, Brian & Tamisiea, Mark.** On seasonal signals in geodetic time series. *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*. 117. 1403-. 10.1029/2011JB008690. 2012.
3. **Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., and Collilieux, X.** ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 6109–6131, doi:10.1002/2016JB013098. 2016.
4. **J., Kostelecky.** soukromé sdělení. 2023.
5. **Pérouse, E., M. Sébrier, R. Braucher, N. Chamot-Rooke, D. Bourlès, P. Briole, D. Sorel, D. Dimitrov, and S. Arsenikos.** Transition from Collision to Subduction in Western Greece: The Katouna–Stamna Active Fault System and Regional Kinematics.” *International Journal of Earth Sciences* 106, no. 3 (June 29, 2016): 967–989. doi:10.1007/s00531-016-1345-9. 2016.
6. **Briole P., Ganas A., Elias P., Dimitrov D.** The GPS velocity field of the Aegean. New observations, contribution of the earthquakes, crustal blocks model. *Geophysical Journal International* (2021) 226, pp. 468-492. doi: 10.1093/gji/ggab089. 2021.
7. **Zhu, Lupei & Mitchell, Brian & Akyol, Nihal & Cemen, Ibrahim & kekovalı, kivanç.** Crustal Thickness Variation in the Aegean Region and Its Implications for the Extension of Continental Crust. *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*. 111. 10.1. 2006.
8. **Papazachos, BC., Comninakis, PE., Scordilis, EM., Karakaisis, GF. and CB. Papazachos .** A catalogue of earthquakes in the mediterranean and surrounding area for the period 1901 - 2010, publ. geophys. laboratory, university of thessaloniki. 2010.
9. **Boehm, J., Werl, B. and Schuh, H.** Troposphere Mapping Functions for GPS and Very Long Baseline Interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Operational Analysis Data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111, Arti. 2006.
10. **Peter J. Brockwell, Richard A. Davis.** Introduction to Time Series and Forecasting. místo neznámé : Springer Cham, 2016.
11. **Bevis, M., Brown A.** Trajectory models and reference frames for crustal motion geodesy. *J Geod* 88, 283–311 . <https://doi.org/10.1007/s00190-013-0685-5>. 2014.
12. **Dmitrieva, Ksenia & Segall, Paul & Demets, C..** Network-based estimation of time-dependent noise in GPS position time series. *Journal of Geodesy*. 89. 10.1007/s00190-015-0801-9. 2015.
13. **Herring, T. A., Melbourne, T. I., Murray, M. H., Floyd, M. A., Szeliga, W. M., King, R. W., Phillips, D. A., Puskas, C. M., Santillan, M., and Wang, L.** Plate Boundary Observatory and related networks: GPS data analysis methods and geodetic product. 2016.
14. **Kositsky, Andrew & Avouac, Jean-Philippe.** Inverting geodetic time-series with a principal component analysis-based inversion method (PCA-IM). *J. Geophys. Res.* 115. 10.1029/2009JB006535. 2010.

15. **Malkin, Zinovy.** Application of the Allan Variance to Time Series Analysis in Astrometry and Geodesy: A Review. IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. 63. 10.1109/TUFFC.2015.2496337. 2015.
16. **Wyatt, F.K.** Displacement of surface monuments: Vertical motion. Journal of Geophysical Research, 94, 1655-1664. 1989.
17. **NOANET nettable.** [Online] [Citace: 10. 5 2023.] <http://geodesy.gein.noa.gr:8000/nginfo/nettable/>.
18. **NRCAN.** [Online] 1. 5 2023. <https://webapp.csr-scrs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp-info.php?locale=en>.