

20 let provozu sítě permanentních stanic CZEPOS

Ing. Jan Řezníček, Ph.D.,
Zeměměřický úřad

Abstrakt

V roce 2004 zahájil Zeměměřický úřad (ZÚ) provoz prvních stanic Státní sítě permanentních stanic pro přesné určování polohy (CZEPOS). Původní koncept sítě sestávající se ze stanic instalovaných převážně na katastrálních úřadech, ale i na vybraných vědeckých a akademických pracovištích, přetrvává víceméně i v dnešní době. S postupným rozvojem globálních navigačních družicových systémů (GNSS), s ním souvisejícím rozvojem přijímačů GNSS i měnící se poptávkou uživatelů GNSS doznaly za uplynulých 20 let změn zejména poskytované služby CZEPOS i postavení sítě v rámci geodetických základů, včetně vymezení CZEPOS v platné legislativě.

20 Years Operation of CZEPOS Permanent Stations Network

Abstract

Land Survey Office (ZÚ) launched the operation of the State Network of Permanent Stations for Precise Positioning (CZEPOS) in 2004. The original concept of the network, consisting of stations installed mainly at the cadastral offices, but also at selected scientific and academic institutions, persists more or less even today. The gradual development of the global navigational satellite systems (GNSS), the associated development of GNSS receivers and the changing demand of GNSS users, the services provided by CZEPOS and the position of the network within the geodetic foundations, including the definition of CZEPOS in current legislation, meant significant changes over the past 20 years.

Keywords: global navigation satellite systems (GNSS), precise positioning service, geodetic control

1. Úvod

Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) přijal záměr vybudovat síť CZEPOS v roce 2002, kdy již obdobné sítě fungovaly v některých evropských zemích, u našich sousedů to byla německá síť SAPOS a rakouská APOS. Obdobně jako v České republice (ČR) se připravovalo vybudování slovenské sítě SKPOS i polské ASG-EUPOS. Metody GNSS již byly tehdy postupně využívány i pro praktické aplikace, avšak neměl-li uživatel k dispozici permanentní stanici resp. síť permanentních stanic, musel pro určení přesné polohy používat dva přijímače GNSS, z nichž jeden musel umístit na určovaném bodě, druhý pak současně na bodě se známými souřadnicemi v Evropském terestrickém referenčním systému 1989 (ETRS89), a určení polohy tak bylo technologicky i časově náročné. Vybudování CZEPOS bylo proto logickým vývojem přinášejícím zrychlení a celkové zefektivnění využití metod GNSS. Koncept sítě CZEPOS definoval dva základní cíle [1]: poskytování služeb a produktů uživatelům k praktickému dosažení řádově centimetrové přesnosti určované polohy a současně plnění funkce referenčního rámce souřadnicových systémů užívaných na území ČR. V roce 2003 schválil ČÚZK realizační projekt na vybudování sítě, který vypracoval Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK) společně se ZÚ se záměrem zprovoznit první část sítě CZEPOS již v roce 2004 [2].

2. Původní konfigurace sítě CZEPOS

Původní konfigurace CZEPOS zahrnovala 26 stanic, které byly postupně zprovozněny ve třech etapách rozprostře-

ných do tří pololetí, od 2. pololetí 2004 do konce roku 2005. Původní konfiguraci s časovým postupem zapojení ukazuje schéma na **obr. 1** [3].

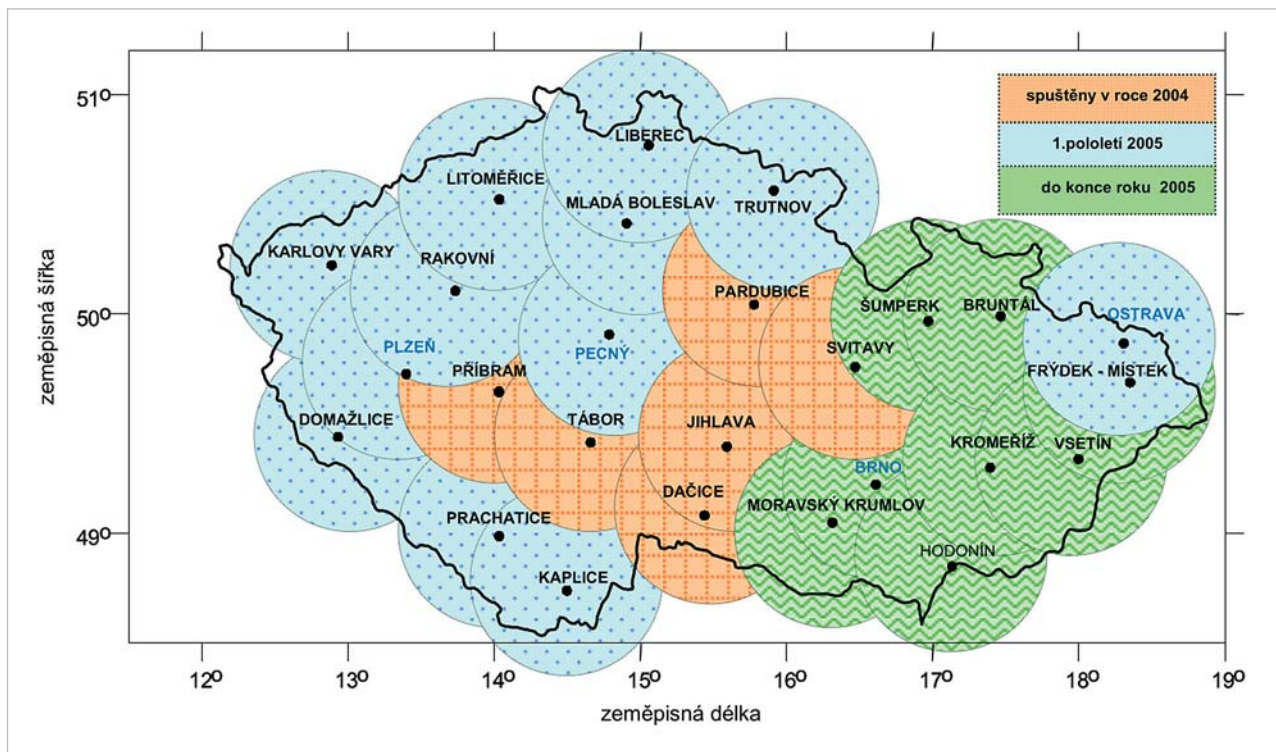
Stanice byly rozmístěny ve vzájemných vzdálenostech cca 60 km, což zajistilo, že na 95 % území ČR byla nejbližší stanice umístěna vždy do 40 km, na zbylých 5 % pak do 50 km od uživatele CZEPOS.

V pražském sídle ZÚ bylo v rámci první etapy zřízeno řídicí centrum CZEPOS zahrnující obslužný personál a serverovou infrastrukturu se software zajišťujícím správu stanic, výpočet zpřesňujících korekcí a jejich poskytování veřejnosti.

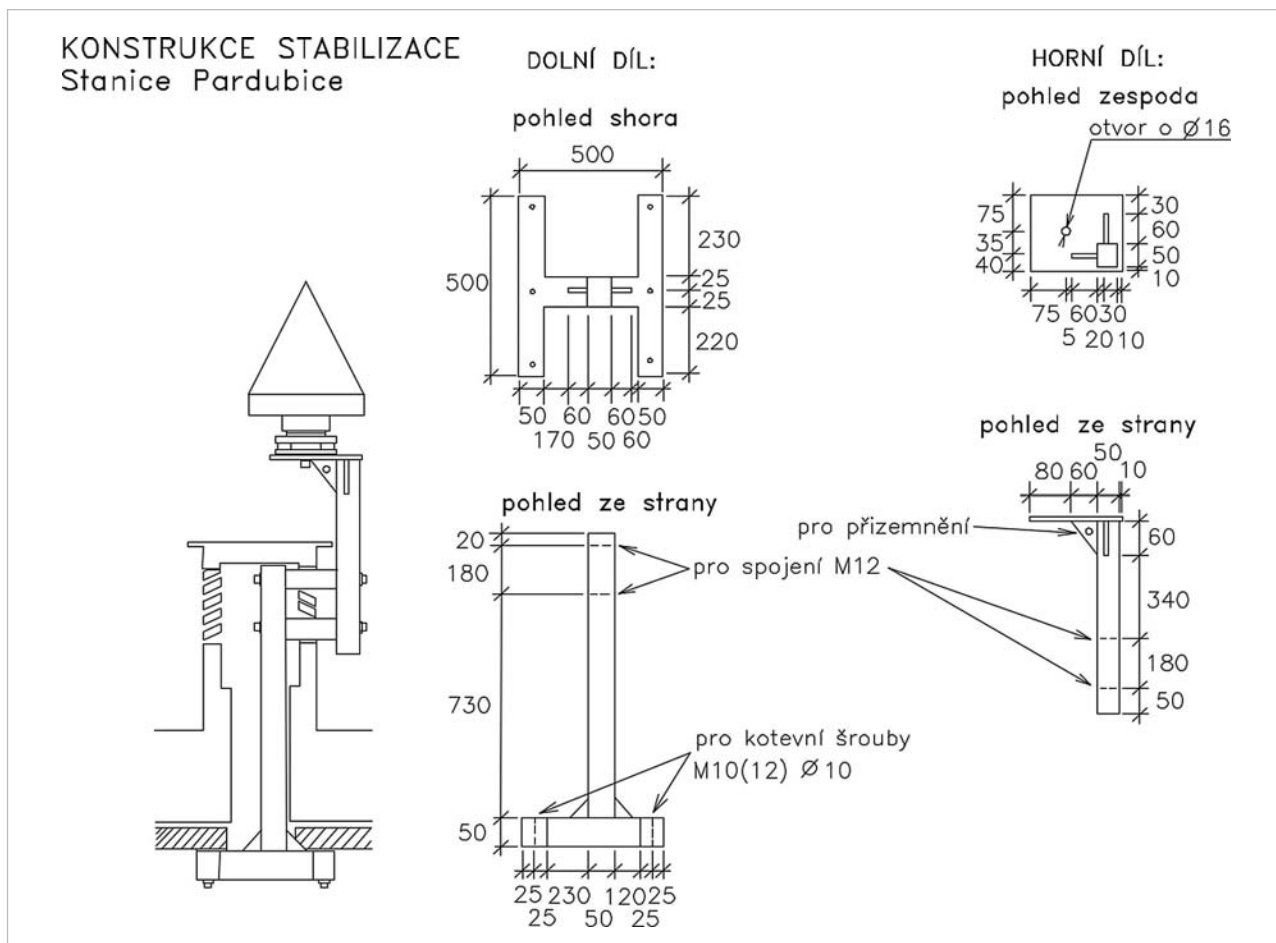
2.1 Konfigurace stanic

Celkem 21 stanic bylo postupně instalováno na katastrálních úřadech. Na základě výběrového řízení byly pořízeny a postupně instalovány stanice výrobce Leica Geosystems, sestávající se z přijímačů typu GRX1200 Pro a antén typu AT504 opatřených sněžným krytem (radomem) a kalibrovaných na kalibračním robotu. Pro každou stanici byl v řídicím centru předem zpracován projekt lokalizace obsahující výčet nutných prací potřebných pro instalaci stanice v místě (**obr. 2**). Antény byly stabilizovány na konstrukci připevněné k pevným částem budov, přijímače pak v ideálním případě přímo v serverovně katastrálního úřadu nebo v její blízkosti.

Výhoda umístění v budovách katastrálních úřadů spočívala především v možnosti využití resortní počítačové sítě WAN pro přenos dat z jednotlivých stanic do řídicího centra i v možnosti rychlého řešení případných problémů na stanicích ve spolupráci s lokálními administrátory na katastrálních úřadech.



Obr. 1 Postup instalace stanic CZEPOS [3]



Obr. 2 Zákres konstrukce antény z projektu lokalizace stanice Pardubice

Po dohodě se zástupci VÚGTK a oslovených vysokých škol byly do sítě postupně zapojeny také 4 tzv. externí stanice: Pecný (VÚGTK), Brno (Vysoké učení technické v Brně), Ostrava (Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava) a Plzeň (Západočeská univerzita v Plzni) provozované v rámci Výzkumné a experimentální sítě pro observace s GNSS (VESOG) spravované VÚGTK.

Všechny stanice CZEPOS provádějí nepřetržité observace GNSS s intervalem záznamu 1 vteřina.

2.2 Řídící centrum CZEPOS a poskytované služby

Infrastruktura řídicího centra CZEPOS původně zahrnovala 3 fyzické servery, které zajišťovaly provoz sítě a poskytování služeb registrovaným uživatelům (obr. 3). Úlohou řídicího serveru bylo zajišťovat vzdálenou správu stanic a generování služeb. Zbylé dva servery se pak staraly o distribuci služeb uživatelům: server NTRIP (pozn. označení internetového protokolu pro poskytování dat GNSS v reálném čase) poskytoval služby v reálném čase, webový server pak služby post-procesní. Uvedené procesy zajišťovaly společně software GPS Spider (GPS značí globální polohový systém) výrobce Leica Geosystems a software GNSMART výrobce Geo++®.

V rámci druhé etapy prací bylo v 1. pololetí 2005 zahájeno poskytování služeb CZEPOS registrovaným uživatelům aparatur GNSS. Služby byly od počátku poskytovány výhradě prostřednictvím internetu a lze je rozdělit do kategorií, které jsou zachovány v podstatě dodnes.

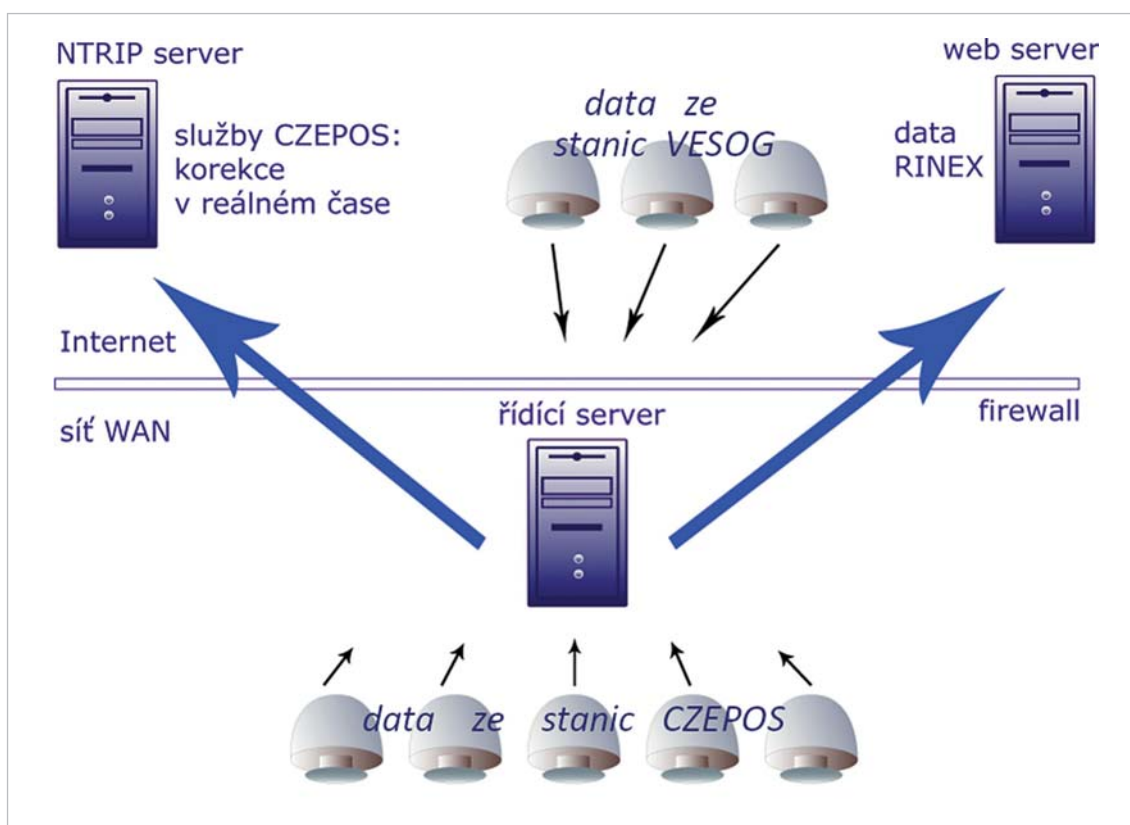
Uživatelům s přístupem k mobilnímu internetu byly zpřístupněny 3 kategorie služeb umožňující přesnou lokalizaci v reálném čase:

- služby **kategorie RTK** (kinematika v reálném čase) umožňující lokalizaci s centimetrovou přesností prostřednictvím korekčních dat ze zvolené stanice (uživatel si výběrem služby zvolí stanici CZEPOS, ze které bude data odebírat – prakticky stanici nacházející se nejbližší uživateli),
- služby **kategorie VRS** (virtuální referenční stanice) umožňující lokalizaci s centimetrovou přesností prostřednictvím korekčních dat z tzv. virtuální referenční stanice, kterou systém generuje do bezprostřední blízkosti uživatele na základě dat z okolních stanic CZEPOS (tento proces se označuje síťové řešení; po připojení ke službě zašle uživatelská aparatura GNSS systému přibližnou pozici, pro kterou se korekční data generují),
- služby **kategorie DGPS** (diferenční GPS) umožňující lokalizaci s navigační (decimetrovou) přesností prostřednictvím dat ze zvolené stanice CZEPOS.

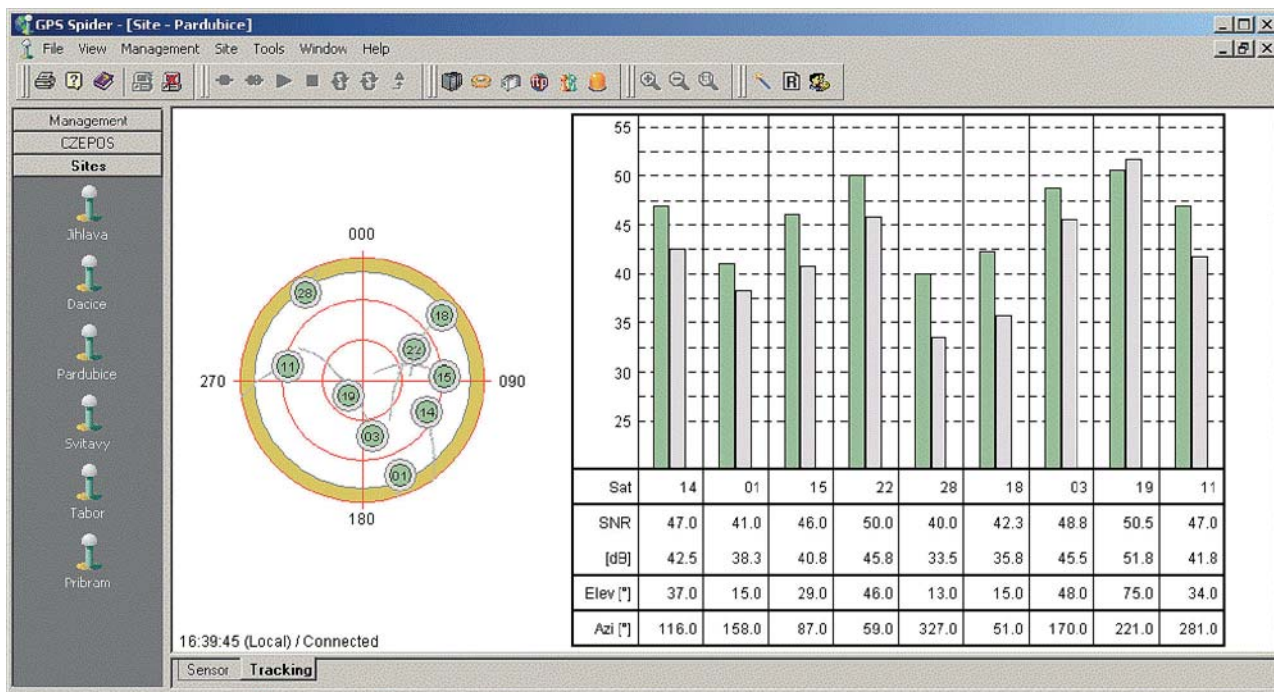
Služby v reálném čase byly poskytovány ve standardním formátu RTCM (původně ve verzi 2) s datovým tokem o intervalu záznamu 1 vteřiny. Služby VRS byly zpočátku poskytovány buď formou tzv. pseudo-referenční stanice (PRS) generované systémem do vzdálenosti cca 5 km od uživatele, případně formou plošných parametrů (FKP, Flächekorrekturparameter) přidávaných k datům nejbližší referenční stanice.

Uživatelům bez přístupu k mobilnímu internetu, popřípadě uživatelům vyžadujícím přesnější aplikace, byly zpřístupněny 2 kategorie služeb pro post-procesní aplikace umožňující lokalizaci s centimetrovou až sub-centimetrovou přesností, a to:

- **data RINEX** (pozn. označení standardního formátu dat pro předávání výsledků měření různými aparaturami GNSS), tj. data ze zvolené stanice,



Obr. 3 Infrastruktura CZEPOS při zahájení provozu sítě



Obr. 4 Příjem družic na stanici Pardubice v lednu 2005; grafické znázornění konfigurace družic a síly signálu prostřednictvím software Leica GPS Spider

- **data virtuální RINEX**, tj. data z virtuální referenční stanice vygenerované do pozice zadané uživatelem.

Post-procesní služby byly zprovozněny ve formátu RINEX verze 2 a umožňovaly uživateli zvolit si interval záznamu buďto 1 sekunda, jako u služeb v reálném čase, popřípadě řidší interval. Uživatel si z webového serveru stáhl data pro daný interval, ve kterém prováděl měření GNSS uživatelskou aparaturou. Uložená data registrovaná aparaturou se následně zpřesnila užitím specializovaného software pomocí post-procesních dat CZEPOS, čímž došlo ke zpětnému určení přesné pozice uživatelské aparatury.

Zatímco výše uvedené členění služeb a princip jejich užití platí v síti CZEPOS prakticky dodnes, totéž nelze říci o obsahu služeb, který byl v počátku provozu sítě v porovnání se současným stavem výrazně omezen. V roce 2004 přijímaly stanice CZEPOS výhradně data amerického GNSS označeného GPS NAVSTAR a pouze pro tento systém byla také poskytována korekční data. To odpovídalo tehdejšímu stavu rozvoje GNSS, kdy byl GPS NAVSTAR prakticky jediným systémem využitelným pro praktické aplikace. Postupně se již začaly rozvíjet aplikace pro druhý z GNSS – ruský GLONASS, jehož komerční využití a kompatibilita uživatelských aparatur však byly tehdy ještě minimální. V dnešní době je už těžko uvěřitelný nízký počet přijímaných družic, který ilustruje obr. 4 v případě stanice Pardubice (9 družic). Na straně uživatele pak byl počet přijímaných družic obvykle ještě nižší, v závislosti na zákrytech obzoru v dané lokalitě (stromy, budovy, ...).

V roce 2005, ještě v průběhu budování sítě, byly služby CZEPOS poskytovány uživatelům v rámci testovacího provozu zdarma. Následně od roku 2006, po dokončení stavby celé sítě, byly služby zpoplatněny.

Provoz CZEPOS byl personálně zajištěn zaměstnanci řídicího centra CZEPOS sestávajícího se ze 4 zaměstnanců provádějících kontrolu chodu systému, zálohu dat, registraci uživatelů, jejich podporu (telefonicky a e-mailem),

i provádění vyúčtování. Podpora uživatelům byla zajištěna v pracovních dnech od 8 do 17 hod., mimo tuto dobu pak byla zavedena pro řešení problémů mobilní linka CZEPOS hotline, denně od 8 do 21 hod. Uvedené složení týmu i provozní doba jsou zachovány dodnes.

3. Rozvoj CZEPOS v průběhu 20 let

Od vybudování sítě CZEPOS se postupně měnila konfigurace stanic, jejich vybavení, poskytované služby a v neposlední řadě i typ uživatelů.

3.1 Změna v konfiguraci sítě CZEPOS

K rozšíření původně plánovaného počtu 26 stanic došlo nejprve v roce 2006, kdy se ukázalo potřebné zřídit stanice také na území Hlavního města Prahy. V roce 2011 pak byla do sítě zapojena další v pořadí 28. stanice, a to externí stanice Polom ve správě Vojenského geografického a hydro-meteorologického úřadu. V roce 2024 byla zprovozněna 29. stanice v Olomouci, kde byla analyzována potřeba doplnění konfigurace sítě s ohledem na plynulost a kvalitu výpočtu síťového řešení v jednotlivých lokalitách ČR. V roce 2025 je dále plánováno doplnění o 30. stanici, jejíž vhodné umístění bude určeno na základě obdobné analýzy provedené již s novou konfigurací sítě, tj. včetně stanice Olomouc.

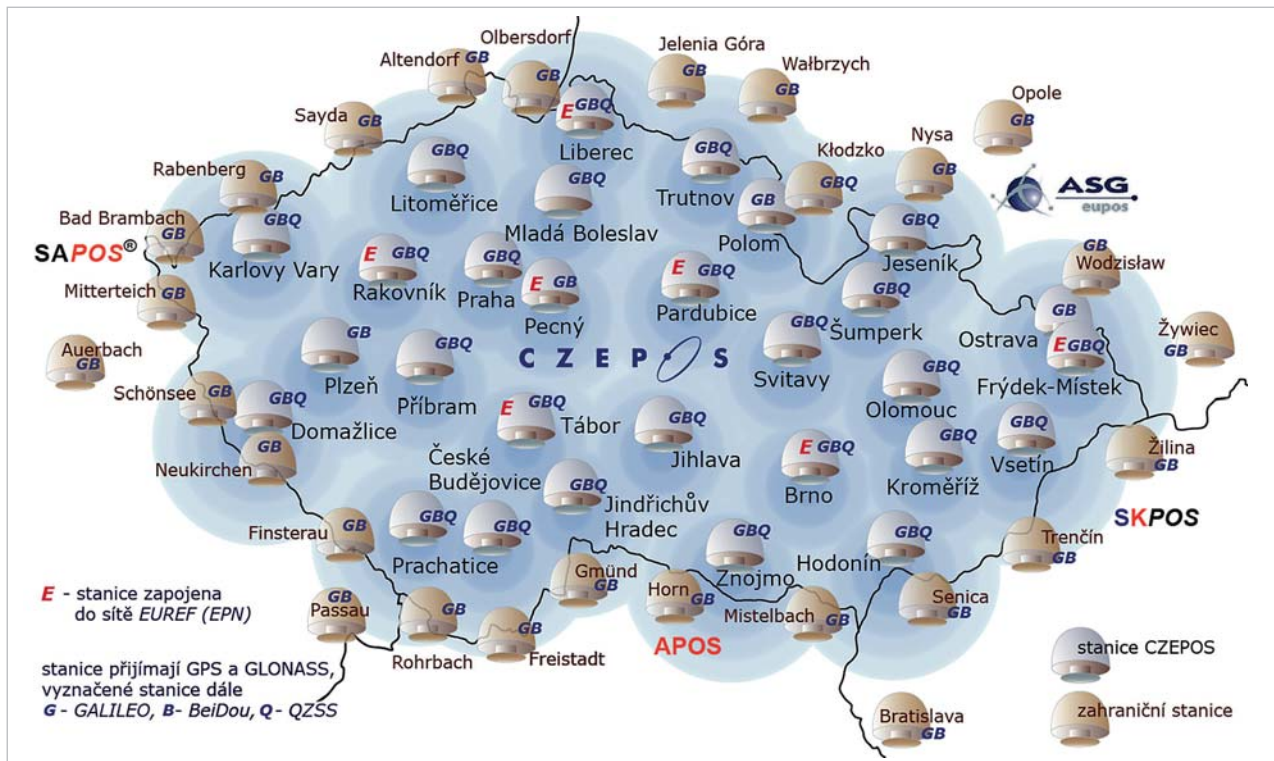
Významným vylepšením konfigurace CZEPOS bylo začlenění celkem 27 příhraničních stanic státních sítí sousedních států – rakouské APOS, polské ASG-EUPOS, německé SAPOS a slovenské SKPOS, ke kterému došlo v letech 2008 a 2009 dle smluv se správci zahraničních sítí. Recipročně jsou odesílána data z příhraničních stanic CZEPOS do uvedených sítí.

V důsledku dislokace některých katastrálních úřadů resp. pracovišť pak byly prováděny také změny umístění některých stanic, konkrétně v roce 2009 z Moravského Krumlova do Znojma, v roce 2012 z Bruntálu do Jeseníku, v roce 2013 z Kaplice do Českých Budějovic a konečně v roce 2015 z Dačic do Jindřichova Hradce. Ke změně umístění došlo v roce 2015 také u externí stanice Plzeň, a to na jinou budovu v rámci Západočeské univerzity.

Aktuální konfiguraci CZEPOS ukazuje **obr. 5**.

3.2 Upgrade stanic CZEPOS

Až do roku 2010 umožňovala CZEPOS pouze příjem signálů jednoho GNSS – amerického GPS NAVSTAR. V roce 2011 bylo přistoupeno k upgrade stanic CZEPOS na tzv. duální, tj. kompatibilní také se druhým v té době již funkčním GNSS – ruským GLONASS. Upgrade spočíval v úpravě přijímačů a výměně antén (**obr. 6**). Všem přijímačům CZEPOS byla v autorizovaném servisu postupně vymě-



Obr. 5 Aktuální konfigurace sítě CZEPOS



Obr. 6 Princip upgrade stanic CZEPOS v letech 2011 a 2012

něna základní deska, čímž byl stávající typ Leica GRX1200 Pro povýšen na duální Leica GRX 1200+ GNSS. Současně byla provedena výměna stávajících antén Leica AT 504 za nové duální typy Leica AR 25.

K upgrade docházelo postupně tak, aby byl zachován provoz sítě. K přerušení provozu došlo v daný den vždy jen na jediné upgradované stanici na co možná nejkratší dobu (řádově desítky minut), kdy byl stávající přijímač nahrazen již upgradovaným přijímačem a dále zde byla vyměněna anténa. Jakmile byl na deinstalovaném přijímači proveden upgrade v autorizovaném servisu, bylo přistoupeno k výměně na další stanici. Bezprostředně po provedení upgrade byl na dané stanici zahájen duální příjem a poskytování duálních služeb z této stanice. Kompletní upgrade všech stanic byl dokončen v 1. pololetí roku 2012. Sít' CZEPOS tak umožňovala příjem obou zmíněných GNSS a současně byla připravena na příjem třetího z připravovaných GNSS – evropského Galileo. Na příjem signálů Galileo bylo však potřeba ještě několik let počkat až do zprovoznění tohoto GNSS, neboť první dostupnost otevřených služeb Galileo byla vyhlášena až v prosinci 2016. Na stanicích CZEPOS byl příjem Galileo zahájen až v roce 2017, kdy byly vydány potřebné aktualizace software CZEPOS a tento byl upgradován potřebnými licencemi. Současně s příjmem Galileo byl zahájen i příjem dalšího GNSS – čínského BeiDou, jehož rychlý rozvoj oproti očekávání předčil Galileo. Poskytování prvních služeb uživatelům kompatibilních s Galileo/BeiDou pak bylo zahájeno v návaznosti na upgrade software CZEPOS až o rok později.

K dalšímu upgrade stanic CZEPOS bylo přistoupeno v roce 2018, kdy se jednalo pouze o výměnu přijímačů.

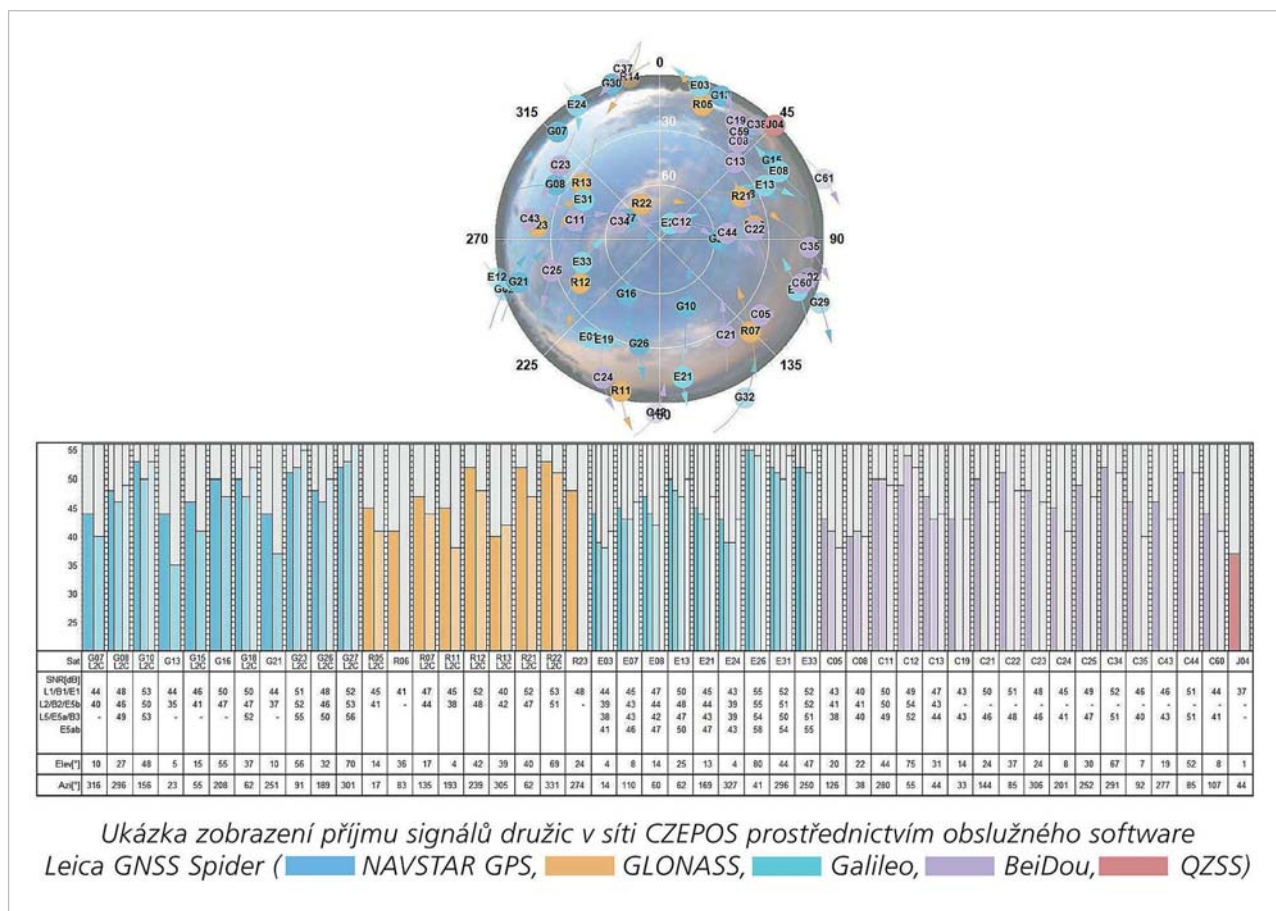
Stalo se tak poté, co výrobce ukončil podporu přijímačů Leica GRX 1200+ GNSS a k obslužnému firmwaru těchto přijímačů již přestávaly být vydávány aktualizace. Stávající přijímače navíc již nebyly schopny přijímat všechny aktuálně vysílané frekvence signálů Galileo/BeiDou. Přijímače byly proto postupně nahrazeny novějším (tzv. „multifrekvenčním“) typem Leica GR30. Ten umožňuje kromě aktuálních frekvencí Galileo/BeiDou ještě příjem dalšího GNSS – japonského Quasi-Zenith (QZSS), který však nemá na území ČR praktický přínos vzhledem k počtu a dráhám přijímaných družic. Upgrade přijímačů byl dokončen v prvním pololetí roku 2019.

Díky provedeným upgrade se počet přijímaných signálů GNSS, zejména ve srovnání s počátečním provozem CZEPOS (obr. 4) rapidně zvýšil, jak ukazuje obr. 7.

3.3 Poskytované služby a uživatelé

S postupným rozvojem GNSS se rozvíjel také obslužný software CZEPOS a s ním i škála poskytovaných služeb uživatelům.

Od roku 2009 začala být postupně sjednocována technologie poskytovaných služeb, kdy byly služby poskytované prostřednictvím softwaru GNSMART výrobce Geo++® postupně nahrazovány softwarem Leica GNSS Spider (nástupce stávajícího GPS Spider), jehož nové verze již podporovaly i duální příjem a služby, zatímco stávající verze software GNSMART, podporující pouze GPS NAVSTAR, již nebyla na nové duální verze aktualizována.



Obr. 7 Současný příjem signálů GNSS v síti CZEPOS

3.3.1 Služby pro aplikace v reálném čase

V případě služeb v reálném čase bylo nejprve v roce 2009 zahájeno poskytování služeb CZEPOS v novějším formátu RTCM verze 3 a o rok později bylo pod novou technologií převedeno i poskytování služeb ve starším formátu RTCM 2, který byl zachován z důvodu kompatibility služeb se staršími typy uživatelských přijímačů GPS.

V roce 2011 v návaznosti na prováděný upgrade stanic bylo zahájeno i poskytování duálních služeb. Nejprve to byly služby kategorie RTK, následně došlo i ke spuštění duálního síťového řešení a bylo zahájeno poskytování služeb kategorie VRS novou technologií MAX resp. iMAX vyvinutou v Leica Geosystems. Služby kategorie RTK byly ještě doplněny o službu poskytující korekce z nejbližší stanice (RTK-NS). Jedná se o data z konkrétní stanice, kterou si však uživatel předem nevybírám, ale systém mu ji sám přidělí na základě pozice uživatele.

S ohledem na zajištění kompatibility s co možná nejširší škálou uživatelských aparatur byla v roce 2013 doplněna možnost poskytování služeb v proprietárních formátech Trimble CMR (Compact Measurement Record) resp. CMR+ a Leica LB2 (Leica Binary 2). Dále byla v roce 2016 doplněna možnost poskytovat služby kategorie VRS stejnojmennou technologií VRS, která byla oproti původním standardům Leica MAX/iMAX bližší dříve poskytovanému formátu PRS.

Začlenění signálů Galileo a BeiDou do služeb CZEPOS bylo umožněno implementací nové verze standardu služeb RTCM 3.2 MSM (Multiple Signal Messages). Tyto nové signály byly zahrnuty nejprve v roce 2018 do služeb kategorie RTK, následně v roce 2019 i do služeb kategorie VRS.

Změny v konfiguraci služeb v reálném čase byly vždy realizovány jako rozšíření služeb stávajících, a to z důvodu zachování kompatibility služeb se staršími uživatelskými přijímači GNSS. Současný poměr využití služeb podle kategorie a podle poskytovaných systémů GNSS ukazuje **obr. 8**. Z hlediska kategorie jsou nejvíce využívány přesné služby kategorie VRS (78 %), své uživatele však mají také přesné služby kategorie RTK (22 %) a nejméně jsou využívány méně přesné služby kategorie DGPS (0,04 %). Z hlediska počtu družicových systémů jsou nejvíce využívány služby se všemi přijímanými GNSS (MSM, 68 %), poměrně vysoký

poměr využití zaujímají ještě duální služby (GG, 28 %) a minimum uživatelů stále využívá i služby pouze s korekcemi NAVSTAR GPS (4 %).

3.3.2 Služby post-procesní

Sjednocení technologií po roce 2009 a přechod na duální systém se týkal i post-procesních služeb, jejichž poskytování bylo nově zprovozněno prostřednictvím webové aplikace SpiderWeb výrobce Leica, která nahradila původní aplikaci GnWeb výrobce Geo++®. V této souvislosti byla v roce 2012 spuštěna i nová výpočetní služba CZEPOS umožňující automatický post-procesní výpočet pozice uživatele na základě dat z uživatelské aparatury GNSS, která uživatel vložil do webové aplikace.

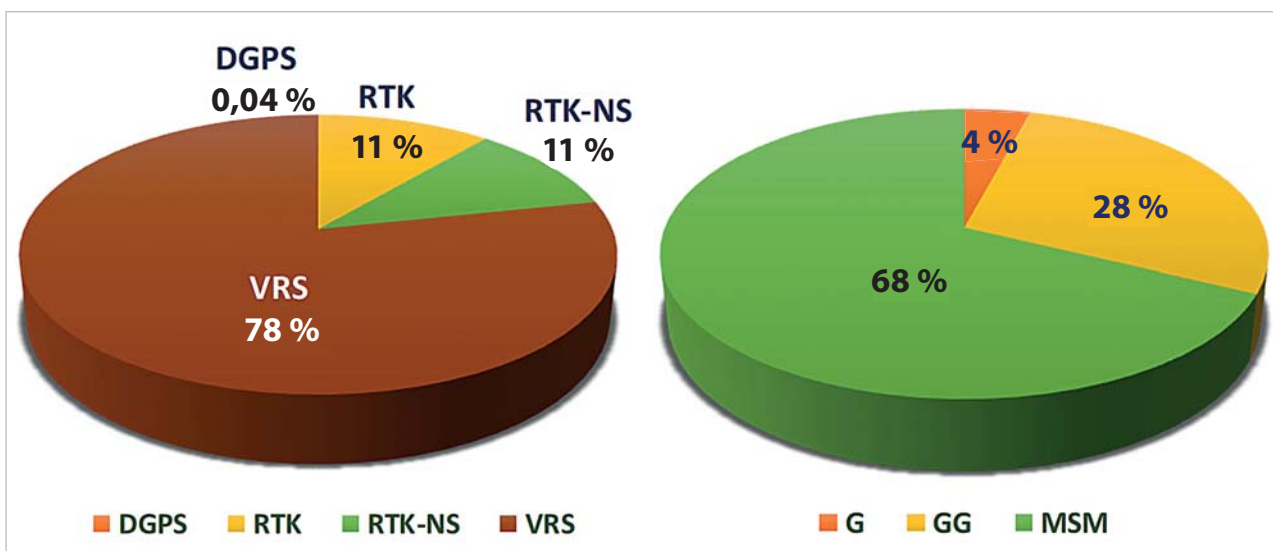
V roce 2021 byla aplikace SpiderWeb nahrazena zcela novou aplikací Leica X-Pos, která umožnila poskytovat také signály Galileo a BeiDou. Výraznou změnou aplikace X-Pos byl přechod od standardu RINEX verze 2 na verzi 3, po kterém již přestala být starší verze 2 podporována.

V současnosti jsou post-procesní služby využívány minimálně, celkový roční poměr využití představují služby v reálném čase, které jsou využívány z 95 %, zatímco služby post-procesní pouze z 5 %. Důvod je zřejmý, služby v reálném čase jsou rychlejší, odpadá při nich post-procesní zpracování, také cena RTK přijímačů je s rozvojem technologií GNSS stále příznivější.

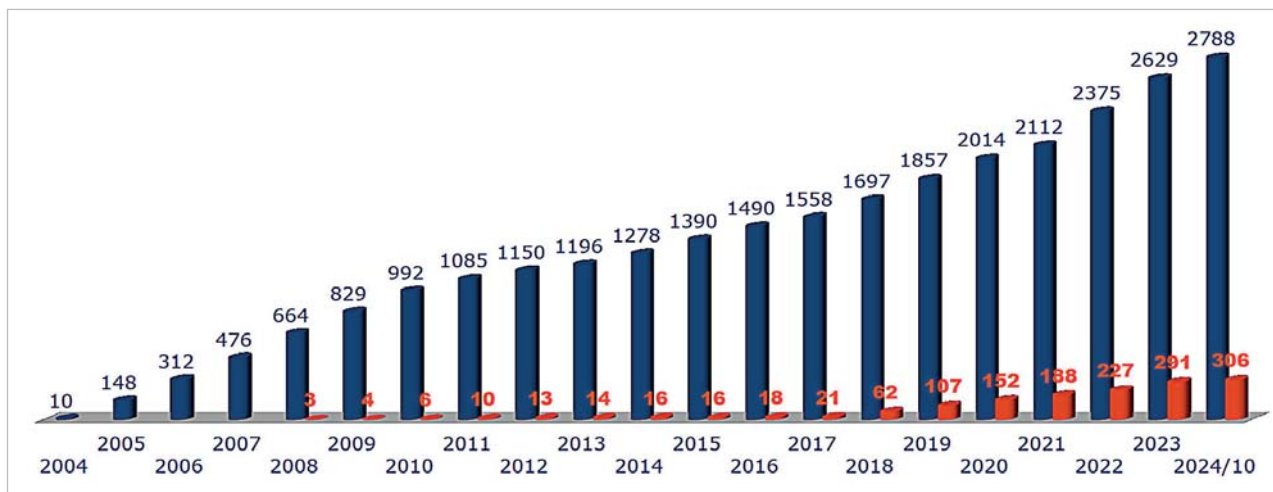
3.3.3 Uživatelé CZEPOS

V současnosti je v CZEPOS registrováno cca 2 800 uživatelů, z toho cca dvě třetiny aktivních. Nárůst uživatelů v uplynulých letech byl postupný, jak ukazuje **obr. 9**.

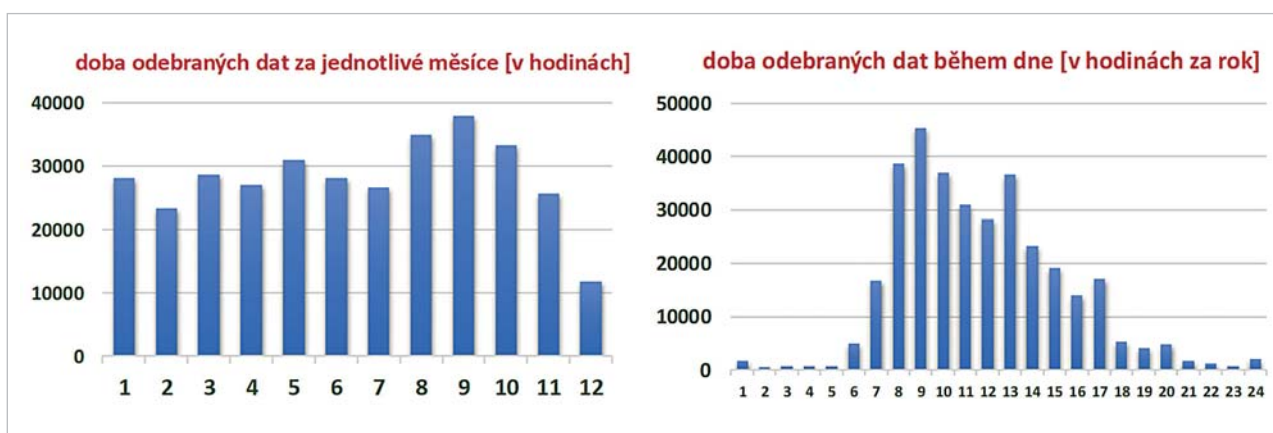
Významná změna ve způsobu poskytovaných služeb nastala v roce 2017, kdy bylo umožněno také jejich zprostředkování, ať už prodejcem uživatelských zařízení GNSS, tak i provozovatelům tzv. virtuálních sítí permanentních stanic, kteří přijímají data z jednotlivých stanic CZEPOS, avšak provozují vlastní software pro poskytování služeb svým zákazníkům. Zprostředkování formou virtuálních sítí bylo zavedeno jednak jako podpora metod precizního



Obr. 8 Současné využití služeb CZEPOS z hlediska kategorie (vlevo) a počtu přijímaných signálů (vpravo)



Obr. 9 Nárůst uživatelů CZEPOS v uplynulých letech (červeně zemědělství uživatelé)



Obr. 10 Využití služeb CZEPOS během roku (vlevo) a během dne (vpravo)

zemědělství, jednak jako podpora globálních sítí GNSS. V případě precizního zemědělství může provozovatel virtuální síť poskytovat uživatelům kromě služeb přesné navigace i nadstandardní služby – např. instalaci koncových zařízení a provádění jejich údržby na místě přímo v zemědělském přístroji. V případě globálních sítí GNSS může provozovatel poskytovat homogenní služby ve více zemích světa bez ohledu na státní hranice. Takovým provozovatelem globální sítě je v současnosti síť Hexagon SmartNET, která na území ČR přebírá data ze sítě CZEPOS.

Poskytování služeb zemědělským uživatelům změnilo i charakter využití služeb CZEPOS v průběhu dne. Zatímco geodetičtí uživatelé využívají služby převážně v průběhu dne za denního světla, v případě precizního zemědělství a sezónních prací je zemědělský uživatel připojen i během celé noci. Rozložení využití služeb během roku resp. během dne ukazuje obr. 10.

Těto skutečnosti, která zvyšuje nároky na dostupnost služeb CZEPOS, bylo nutné i přizpůsobit provádění údržby software. Zatímco upgrade software byl dříve prováděn v nočních hodinách, kdy mohl být chod software na čas přerušen, v současnosti je potřeba provádět upgrade software tak, aby prakticky nezpůsobil žádný výpadek. Proto je v rámci upgrade software provozován na zdvojené serverové infrastruktuře, kdy je nová verze instalována na nezávislé serverové lince, na níž jsou po dokončení up-

grade uživatelé přesměrováni tak, aby prakticky nedošlo k výpadku poskytovaných služeb.

Kromě geodetických uživatelů a uživatelů precizního zemědělství využívají aktuálně CZEPOS také uživatelé stavebních strojů (tzv. nivelačních systémů pro řízení stavebních strojů), dronů disponujících RTK modulem pro přesné určení pozice a další uživatelé, např. nejnověji i uživatelé automatických sekaček na trávu.

4. Určení souřadnic stanic CZEPOS, kontroly kvality služeb a monitoring

Pro poskytování přesných služeb bylo nezbytné nejprve určit přesné souřadnice stanic CZEPOS a přesnost služeb dále ověřit.

4.1 Určení souřadnic stanic CZEPOS a nezávislý monitoring

První určení souřadnic ETRS89 provedl ZÚ měřičky v letech 2004 a 2005, kdy bylo pomocí aparatur GNSS měřeno na nejbližších trigonometrických bodech sítě DOPNUL se známými souřadnicemi ETRS89. Následně byly trans-

formací určeny také souřadnice stanic v Souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). V roce 2008 pak provedl ZÚ určení nadmořských výšek stanic ve Výškovém systému Baltském – po vyrovnání (Bpv) pomocí velmi přesné nivelace a trigonometrického určení výšek.

V roce 2009 byly současně do CZEPOS zavedeny zpřesněné souřadnice stanic v ETRS89 určené na základě zpracování časových řad observací z let 2004 až 2009, které provedl VÚGTK s navázáním na body Sítě permanentních stanic GNSS EUREF (EPN). Od roku 2009 současně zahájil VÚGTK nezávislý monitoring permanentních stanic na území ČR využívající denní řešení v režimu postprocessingu, které vychází ze standardů EPN. Cílem tohoto nezávislého monitoringu je posouzení stability stanic, které v daném dni vychází z porovnání souřadnic stanice ETRS89 vypočtených a platných dříve ověřených [4]. Pravidelně probíhá také periodické měřické ověřování nadmořských výšek stanic v Bpv, které provádí ZÚ v rozsahu cca 6 stanic ročně.

Významnou změnou bylo zavedení tzv. nové realizace ETRS89 v ČR k 1. 1. 2011. Souřadnice ETRS89 stanic CZEPOS, do té doby vztažené k rámci ETRF89, určil VÚGTK k novému rámci ETRF2000 na základě kampaně označené EUREF-Czech-2009. Zpracování časových řad observací bylo opět navázáno na body sítě EPN a kromě stanic CZEPOS zahrnovalo další pomocné stanice na území ČR. Výsledky kampaně byly přijaty na sympóziu Subkomise Mezinárodní geodetické asociace pro evropský referenční rámec (EUREF) v roce 2010 do databáze zhušťovacích kampaní EUREF. Rozdíl souřadnic ETRS89 stanic mezi oběma realizacemi vykazoval posun 9,9 mm v severojižním směru. Podrobnosti o kampani EUREF-Czech-2009 jsou dostupné v článku [5].

Aktuální souřadnice a výšky stanic jsou uvedeny na internetových stránkách CZEPOS [6], včetně historie změn souřadnic vyplývajících jak ze změny realizace, tak i z výsledků nezávislého monitoringu.

4.2 Kontroly kvality služeb CZEPOS

V roce 2006 provedl ZÚ společně s katastrálními úřady pomocí GNSS měřické testování přesnosti služeb CZEPOS v celkem 25 lokalitách na cca 150 trigonometrických bodech se známými souřadnicemi ETRS89. Výslednou přesnost pro jednotlivé kategorie služeb ukazuje **tab. 1**, která obsahuje střední chyby 1 měření GNSS, a to střední souřadnicovou chybu v poloze a střední chybu ve výšce. Princip testu je popsán na webu [6], podrobný postup testování je uveden v [7].

Obdobným postupem, avšak již v omezeném rozsahu (pouze ve 2 lokalitách Praha a Olomouc), provedl ZÚ v roce 2009 ověření přesnosti nově spuštěných duálních služeb, které potvrdilo, že přesnost duálních služeb koresponduje s přesností již poskytovaných služeb.

V roce 2007 zahájil ZÚ kontrolu kvality síťového řešení spojenou s kontrolou stability stanic. Zdrojem těchto kontrol byly hodinové časové řady souřadnic stanic CZEPOS kontrolně určených na základě výpočtu síťového řešení softwarem Geo++[®] GNSMART. Cílem kontroly bylo detekovat výskyty případné nedostupnosti síťového řešení a současně kontrolovat stabilitu jednotlivých stanic CZEPOS [8]. Výsledky byly publikovány na webu CZEPOS formou grafů a přehledných tabulek (**obr. 11**).

S přechodem na novou generaci software Leica GNSS Spider v roce 2009 přestala být uvedena kontrola prováděna. Kontrolu stability již od roku 2009 prováděl nezávislý monitoring VÚGTK (viz část 4.1).

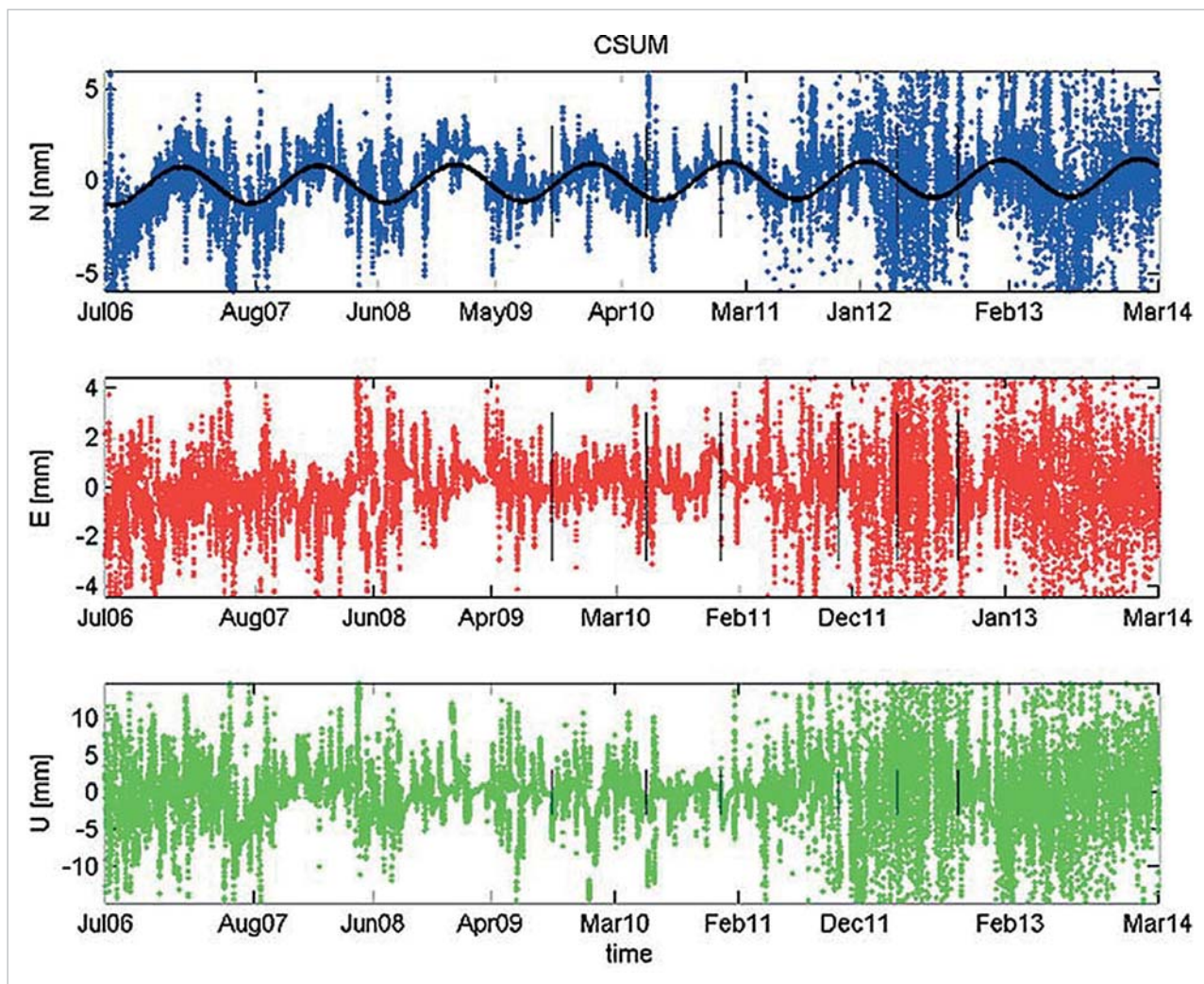
V síti CZEPOS byly v roce 2010 zprovozněny 2 aplikace pro provádění kontrol v reálném čase, které publikují výsledky na web, a to Kontrola přesnosti síťového řešení CZEPOS a Monitoring dostupnosti služeb CZEPOS [4]. Kontrola přesnosti byla založena na software M.L.S. (Mervart-Lukeš software) vyvinutém na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického. Software M.L.S. simuluje pozici uživatele v síti CZEPOS pomocí přijímaných efemerid družic a přijímané služby CZEPOS kategorie VRS. Pro účely kontroly byla síť CZEPOS rozdělena Delaunayovou triangulací na síť trojúhelníků, jejichž vrcholy tvoří jednotlivé stanice. Pozice virtuálního uživatele se pak postupně přesouvá do těžišť jednotlivých trojúhelníků, přičemž se v každém trojúhelníku porovnávají správné délky těžnic (spojnic těžiště s jednotlivými vrcholy) vůči délkám těchto těžnic určených pomocí služby kategorie VRS.

Aplikace Kontrola dostupnosti služeb CZEPOS průběžně testuje dostupnost služeb v reálném čase a výsledky kontrol publikuje na webu CZEPOS ve formě grafů a textových výpisů pro uživatelem zvolené časové období (**obr. 12**).

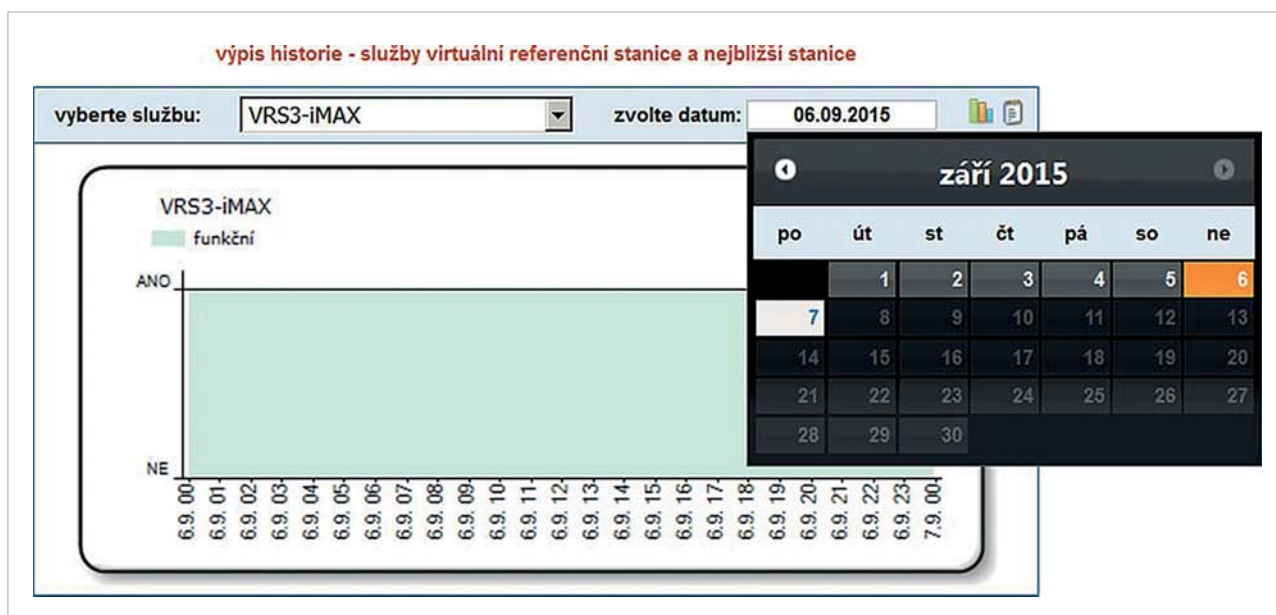
Kromě těchto kontrol se v CZEPOS provádí automatické kontroly kvality post-procesních dat softwarem Leica GNSS QC, které byly pro registrované uživatele původně dostupné se zprovozněním webové aplikace Leica Spider Web. Nyní jsou dostupné v rámci aplikace Leica X-Pos. Kromě přehledu dostupnosti dat je uživateli umožněno prohlédnout si také přehled kvalitativních parametrů v grafické i tabulkové podobě. Graficky jsou kromě počtu satelitů a fázových skoků zobrazeny např. hodnoty parametrů přesnosti polohy (PDOP), parametrů geometrické přesnosti (GDOP), nebo střední kvadratické chyby vícecestného šíření signálu (multipath).

Tab. 1 Výsledky testování přesnosti služeb CZEPOS v roce 2006, střední chyby jednoho měření GNSS [6]

služba CZEPOS	mxy	Mh	délka měření
DGPS	23 cm	45 cm	20 sekund – 60 sekund
VRS (PRS)	1,3 cm	4,4 cm	20 sekund – 60 sekund
VRS (FKP)	1,3 cm	4,3 cm	20 sekund – 60 sekund
RTK	1,4 cm	4,5 cm	20 sekund – 60 sekund



Obr. 11 Graf stability stanice CZEPOS Olomouc [4]



Obr. 12 Kontrola dostupnosti služeb CZEPOS – grafické rozhraní služby

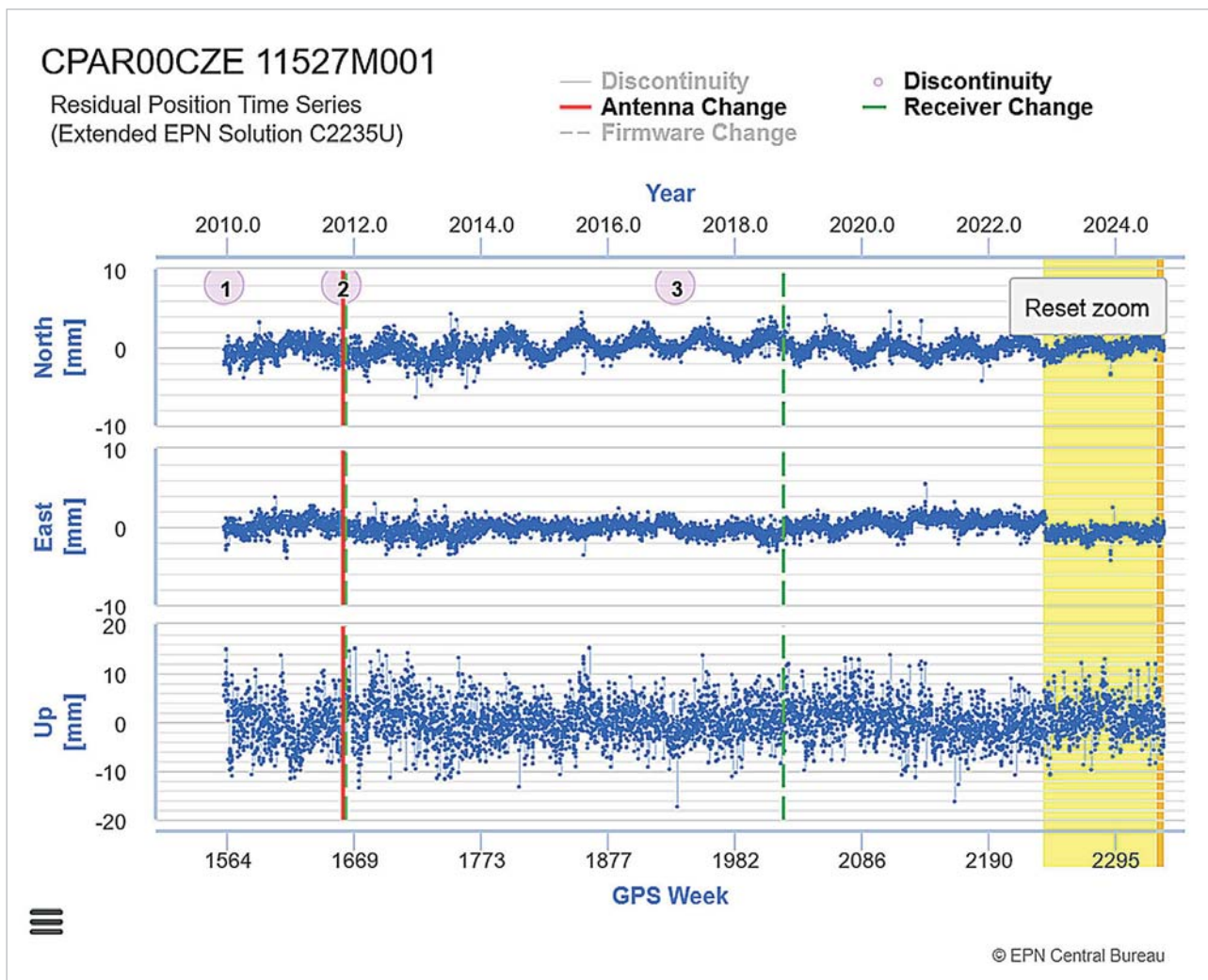
5. Zapojení do mezinárodních struktur a projektů

K prvnímu sdílení dat sítě CZEPOS mimo území ČR bylo přistoupeno v rámci reciproční výměny dat se státními sítěmi permanentních stanic okolních států, která byla zahájena v letech 2008 a 2009 a týkala se pouze příhraničních stanic (viz část 3.1). Jejím účelem je zlepšení konfigurace služeb v příhraničních oblastech.

Významným krokem mezinárodní spolupráce v geodetických základech bylo zapojení vybraných stanic CZEPOS do sítě EPN v roce 2009. Jednalo se o 5 stanic: Frýdek-Místek, Liberec, Pardubice, Rakovník a Tábor (obr. 5), které vykazovaly dobrou stabilitu v rámci prováděné kontroly stability. Uvedené stanice tak v EPN doplnily další 2 externí stanice CZEPOS (Pecný a Brno), jejichž data již do EPN poskytoval VÚGTK. V současné době zpracovává v rámci sítě EPN data z uvedených stanic osm specializovaných mezinárodních center: ve Francii Institut national de l'information géographique et forestière, na Slovensku Slovenská technická univerzita v Bratislave, v Rakousku Bundesamt für Eich und Vermessungswesen, v Německu Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, v Polsku Politechnika Warszawska a Wojskowa Akademia Techniczna, v Srbsku Republičky geodetski zavod a v Maďarsku Kozmikus Geodeziai Observatorium. Data sítě CZEPOS se tak významně podílí na celoevropské definici referenčního rámce ETRS89.

Zpracování časových řad EPN slouží navíc jako nezávislá kontrola stability stanic (obr. 13). Symposia EUREF se konají jednou ročně a zástupci ZÚ se jich pravidelně účastní.

Od svého vzniku v roce 2004 je CZEPOS současně zařazen v rámci iniciativy Evropské sítě permanentních stanic (EUPOS), která sdružuje sítě permanentních stanic GNSS zemí střední a východní Evropy. EUPOS se řídí jednotnými technickými podmínkami a standardy. Jednou z aktivit EUPOS je zhuštění Mezinárodního terestrického referenčního rámce (ITRF) integrací týdenních produktů národních sítí permanentních stanic GNSS ve výměnném formátu pro předávání výsledků zpracování měření GNSS (SINEX). Horizontální a vertikální posuny stanic, které byly určeny ze společného vyrovnání, jsou zobrazovány pomocí směrových vektorů. Společné vyrovnání bylo nejprve prováděno pouze ze stanic EUPOS, od roku 2014 se již provádí ze všech dostupných evropských stanic [4]. Data SINEX jsou pro síť CZEPOS generována ve VÚGTK jako jeden z výstupů nezávislého monitoringu permanentních stanic. Od roku 2014 je v rámci EUPOS prováděna také kontrola kvality služeb EUPOS prostřednictvím aplikace vyvinuté v Geodetickém a kartografickém ústavu Bratislava, která ověřuje přesnost služeb poskytovaných v reálném čase na principu virtuálního uživatele podobně, jako je tomu v případě aplikace Kontrola přesnosti síťového řešení CZEPOS. Do kontroly kvality služeb EUPOS byly



Obr. 13 Grafické znázornění časových řad stanice Pardubice, zdroj EPN

zapojeny vybrané stanice CZEPOS v roce 2019. Jednání pracovní skupiny EUPOS se konají jednou ročně a zástupci ZÚ se jich pravidelně účastní. Jedno z úvodních jednání EUPOS organizoval ČÚZK v Praze v roce 2005, tedy ještě v době budování sítě CZEPOS, další jednání EUPOS se pak konalo v Praze v roce 2016.

V roce 2014 vznikla v rámci evropské iniciativy Euro-Geographics pracovní skupina Positioning Knowledge Exchange Network (PosKEN), sdružující znalostní síť expertů EUREF, EUPOS, Rady evropských zeměměřičů (CLGE), Agentury pro evropský GNSS (GSA) a dalších institucí se zaměřením na metody přesného určování polohy pomocí GNSS a jejich využití národními mapovacími agenturami. Jednání pracovní skupiny PosKEN se konala jednou ročně a zástupci ZÚ se jich pravidelně účastnili. Jedno z úvodních jednání PosKEN organizoval ČÚZK v Praze v roce 2016, v návaznosti na jednání skupiny EUPOS. Od roku 2019, v souvislosti s reorganizací EuroGeographics byla pracovní skupina PosKEN transformována v Positioning Forum, se stejným cílem, avšak komunikující pouze prostřednictvím webového fóra.

Data CZEPOS byla zahrnuta také do některých dalších mezinárodních projektů. Od roku 2016 byla na základě spolupráce s VÚGTK poskytována data pro projekt Evropského Observačního Systému (EPOS) zaměřeného na podporu mezioborového výzkumu a pozorování procesů spojených s pevnou Zemí. Projekt byl v rámci ČR koordinován prostřednictvím projektu národního konsorcia CzechGeo [9], který byl ukončen v roce 2019. Data pro projekt EPOS pak byla prostřednictvím VÚGTK distribuována ještě do roku 2023.

V roce 2022 byla na základě spolupráce s VÚGTK zpřístupněna data CZEPOS do mezinárodního projektu GISCAD-OV [10], zaměřeného na rozvoj metod absolutního určení přesné polohy (PPP, precise point positioning) a jejich aplikací v prostředí katastru nemovitostí. V této souvislosti poskytl ZÚ součinnost zástupcům CLGE při provádění ověřovacích měření na území ČR, které se provádělo speciálně upravenými aparaturami GNSS ve 4 lokalitách: Praha, Hradec Králové, Nová Paka a Rokytnice nad Jizerou. Testována byla jednak metoda PPP s využitím služby Galileo High Accuracy Service (HAS) umožňující určení pozice zcela bez užití sítě permanentních stanic, dále pak metoda PPP-RTK, která data ze sítě permanentních stanic využívá, avšak nevyžaduje takovou hustotu permanentních stanic, jako je tomu u stávajících metod RTK. V každé lokalitě byla měření prováděna na několika dříve určených podrobných bodech katastru nemovitostí a na jednom trigonometrickém bodě se známými souřadnicemi ETRS89. Testování na trigonometrických bodech přineslo zajímavé výsledky porovnáním daných a určených souřadnic ETRS89. Střední chyba v poloze byla v případě metody PPP dosažena 33 cm, v případě metody PPP-RTK pak 2,9 cm. Nevýhodou metod však byla doba fixace na každém bodě, která dosahovala až 10 min., dále pak nutnost použít k těmto účelům speciálně upravený přijímač GNSS.

6. Legislativa

Prakticky od svého vzniku se CZEPOS stala moderní složkou geodetických základů, která umožňovala integraci klasických geodetických základů reprezentovaných bodovými poli a jejich zapojení do mezinárodních rámců. Klasické pojetí geodetických základů bylo dlouhodobě ukotve-

no také v legislativě, zejména v Zákoně č. 200/1994 Sb. o zeměměřičství a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením (dále jen „zeměměřický zákon“) [11] a v jeho prováděcí vyhlášce – Vyhlášce ČÚZK č. 31/1995, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřičství a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením (dále jen „zeměměřická vyhláška“) [12]. Konkrétně **základní bodové pole** bylo definováno v zeměměřickém zákoně jako „soubor bodů tvořících geodetické základy polohové, výškové a tíhové na území České republiky“. Obdobně tomu bylo v zeměměřické vyhlášce, do jejíž novely účinné od 1. 10. 2009 byl však zaveden pojem **permanentní stanice** definovaný jako „soubor technických zařízení, který provádí souvislý záznam dat ze signálů globálních navigačních družicových systémů a umožňuje poskytovat tato data nebo případně další služby a výstupy, které z těchto dat vycházejí, jednotlivým uživatelům“.

Nové pojetí definice geodetických základů přinesla koncepce geodetických základů ČÚZK z roku 2008 [13], ve které byly geodetické základy definovány jako „soubor zařízení a služeb pro jednoznačnou prostorovou a časovou lokalizaci prostorových informací v závazných referenčních systémech s definovanou přesností, kde soubor zařízení tvoří zejména základní bodová pole, popřípadě z nich vytvořené soubory geodetických bodů účelově sestavených do geodetických sítí, katalogová data, matematické vztahy a konstanty“.

K významné změně legislativy došlo s novelou zmíněných právních předpisů účinnou k 1. 7. 2023. V zeměměřickém zákoně jsou po novele definovány **geodetické základy** jako „soubor zařízení, technických parametrů geodetických referenčních systémů, katalogových dat a matematických vztahů a konstant, které slouží k jednoznačné prostorové a časové lokalizaci prostorových informací v závazných geodetických referenčních systémech, kde zařízení zahrnují základní bodová pole a státní síť permanentních stanic pro přesné určování polohy“ a do novely zákona byla převzata i definice permanentní stanice dříve uvedená v zeměměřické vyhlášce (viz výše).

Mezi **zeměměřické činnosti ve veřejném zájmu** definované v zeměměřickém zákoně, které dosud zahrnovaly „budování, obnovu a údržbu bodových polí“ a další činnosti, pak nově patří také „budování, obnova a údržba státní sítě permanentních stanic pro přesné určování polohy“. Formální změnu přinesla také novela zeměměřické vyhlášky. Ceny síťových služeb CZEPOS, které byly dosud vedeny v ceníku ZÚ, jsou nově stanoveny přímo zeměměřickou vyhláškou (k úpravě cen nicméně nedošlo).

S účinností od 1. 7. 2023 bylo vydáno také zcela nové Nařízení vlády č. 159/2023 Sb. o stanovení geodetických referenčních systémů závazných na celém území České republiky, databází geodetických a geografických údajů a státních mapových děl vytvářených pro celé území České republiky a zásadách jejich používání [14]. V uvedeném nařízení jsou mezi **databázemi geodetických údajů** výslovně zahrnuty „databáze bodových polí a databáze státní sítě permanentních stanic pro přesné určování polohy“.

7. Závěr

Zřízení sítě CZEPOS v roce 2004 bylo logickým vyústěním vývoje v oblasti rozvoje technologií GNSS. Služby sítě původně kompatibilní pouze s americkým NAVSTAR GPS

se postupem času rozšířily na multifrekvenční kompatibilní prakticky se všemi aktuálně provozovanými GNSS. Změnila se i struktura uživatelů. Původní uživatelská základna sestávající se pouze z geodetů se rozšířila také o uživatele precizního zemědělství, či stavebních strojů, nejnověji se však také jedná o uživatele dronů. To s sebou přináší i zvýšené nároky na dostupnost služeb – prakticky 24 hodin denně. ZÚ proto průběžně udržuje a obnovuje infrastrukturu CZEPOS s cílem poskytovat kvalitní a dostupné služby kompatibilní se všemi poskytoványi frekvencemi signálů GNSS.

LITERATURA:

- [1] ČERNOHORSKÝ, J.: Dvacet let Zeměměřického úřadu. Geodetický a kartografický obzor, 59/101, 2013, č. 7, s. 137–167.
- [2] ČERNOHORSKÝ, J.–ŠÍMA, J.: Historický vývoj zeměměřických činností ve veřejném zájmu a státních orgánů v civilní sféře (1918–2018), 2. rozšířené a pozmeněné vydání. Český úřad zeměměřický a katastrální, 2018.
- [3] ŘEZNÍČEK, J.: Postup budování a současný stav České sítě permanentních stanic pro určování polohy – CZEPOS. Geodetický a kartografický obzor, 51/93, 2005, č. 9, s. 200–204.
- [4] ŠNAJDOVÁ, M.–ŘEZNÍČEK, J.–FILLER, V.–NÁGL, J.–MERVART, L.–LUKEŠ, Z.: Kontroly kvality a dostupnosti služeb a produktů Sítě permanentních stanic GNSS pro určování polohy CZEPOS. Geodetický a kartografický obzor, 31/103, 2015, č. 10, s. 217–231.
- [5] DOUŠA, J.–FILLER, V.–ŠÍMEK, J.–KOSTELECKÝ, Jan–KOSTELECKÝ, Jakub–NOVÁK, P.: Nová implementace ETRS89 v České republice: Kampaň EUREF-Czech-2009. Geodetický a kartografický obzor, 57/99, 2011, č. 2, s. 30–41.
- [6] Zeměměřický úřad. Webové stránky Státní sítě pro přesné určování polohy (CZEPOS). [online]. Dostupné na: <https://czepos.cuzk.gov.cz>.
- [7] VILÍMKOVÁ, M.: Testování přesnosti CZEPOS. Geodetický a kartografický obzor, 53/95, 2007, č. 4, s. 61–66.
- [8] VILÍMKOVÁ, M.–ŘEZNÍČEK, J.: Kontrola kvality síťového řešení CZEPOS. Geodetický a kartografický obzor, 54/96, 2008, č. 9, s. 161–166.
- [9] BEZDĚKA, P.–DOUŠA, J.: Evropský observační systém a zapojení geodetických dat a služeb z národní infrastruktury CzechGeo. Geodetický a kartografický obzor, 64/106, 2018, č. 7, s. 137–144.
- [10] Webové stránky projektu GISCAD-OV. [online]. Dostupné na: <https://www.giscad-ov.eu>.
- [11] Zákon č. 200/1994 Sb. o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, v platném znění.
- [12] Vyhláška ČÚZK č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, v platném znění.
- [13] Koncepce správy geodetických základů České republiky. Zpracoval Zeměměřický úřad. Vydal Český úřad zeměměřický a katastrální. č. j. ČÚZK 50/2008-22.
- [14] Nařízení vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání, v platném znění.

Do redakce došlo: 30. 7. 2024

Lektoroval:
Ing. Jiří Černohorský,
Praha