

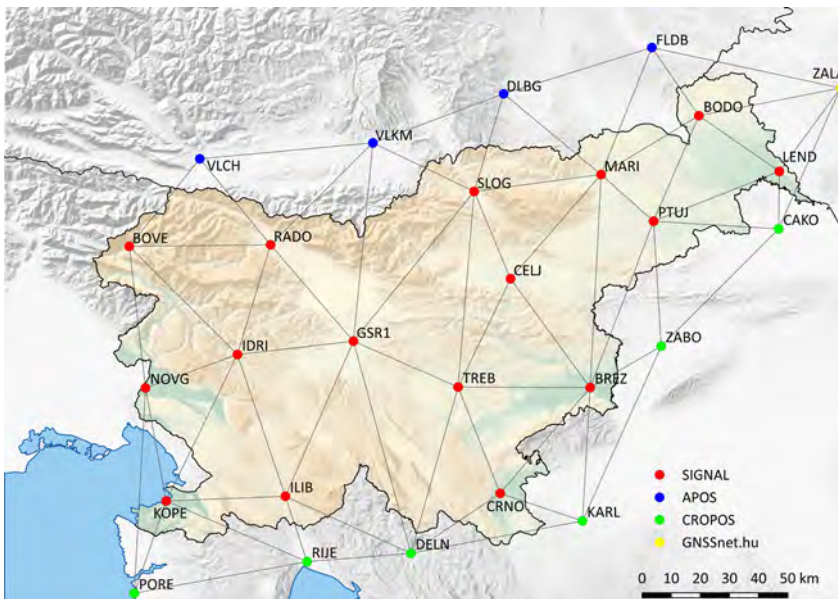
IZBOLJŠANJE DELOVANJA OMREŽJA SIGNAL OD LETA 2007

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF THE SIGNAL NETWORK FROM 2007

Klemen Ritlop, Niko Fabiani, Katja Oven, Mihaela Triglav Čekada

1 UVOD

Z razmahom globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (GNSS) se je končalo obdobje »klasičnih« geodetskih koordinatnih sistemov, ki so bili realizirani z astrogeodetskimi mrežami. Nadomestili so jih sodobni koordinatni sistemi, realizirani z omrežji stalno delujočih postaj GNSS (Stopar in Kuhar, 2001; Sterle in sod., 2009). V Sloveniji smo z vzpostavitvijo sodobnega koordinatnega sistema, ki temelji na tehnologiji GNSS, pričeli s prvimi EUREF GPS-izmerami v letih 1994–1996, leta 2000 pa se je začela izgradnja državnega omrežja stalno delujočih postaj GNSS, imenovanega SIGNAL, ki je postalo operativno 1. 1. 2007 (Radovan, 2007a in 2007b). Danes sestavlja jedro omrežja SIGNAL 16 stalno delujočih postaj. Za zagotovitev pokritosti celotnega ozemlja Slovenije je vanj dodatno vključenih še 11 tujih postaj (šest postaj hrvaškega omrežja CROPOS, štiri postaje avstrijskega omrežja APOS in ena postaja madžarskega omrežja GNSSnet.hu). Polno konfiguracijo omrežja tako sestavlja 27 stalno delujočih postaj GNSS (slika 1).



Slika 1: Polna konfiguracija omrežja SIGNAL od 1. 10. 2018.

Omrežje SIGNAL zagotavlja kakovostno realizacijo horizontalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema, ki je na voljo množičnim uporabnikom, obenem pa je, zaradi množične uporabe tehnologije GNSS v geodeziji, tudi najpogostejši način navezave na državni referenčni koordinatni sistem. Navezava v realnem času je omogočena s posredovanjem opazovanj GNSS posameznih referenčnih postaj oziroma uporabo mrežnih produktov VRS (angl. *virtual reference station*) in MAC (angl. *master-auxiliary concept*). Za naknadno obdelavo so na voljo opazovanja v obliki datotek RINEX, ki so shranjene v arhivu omrežja SIGNAL in jih lahko uporabniki naročijo prek portala RINEX (Režek, Perko in Fabiani, 2016).

Na podlagi navedenega lahko rečemo, da je omrežje SIGNAL eden izmed stebrov državne prostorske infrastrukture, zaradi česar mora biti njegovo delovanje kar se da nemoteno – zagotavljati mora opazovanja, storitve in produkte najvišje kakovosti. V službi za GNSS na Geodetskem inštitutu Slovenije se trudimo, da bi zagotovili čim bolj kakovostno in nemoteno delovanje omrežja, vendar to ni vedno mogoče. Zaradi različnih težav in (zunanjih) dejavnikov je v praksi nemogoče zagotoviti popolnoma nemoteno delovanje in nemoten dostop do njegovih storitev. Zato od začetka delovanja omrežja SIGNAL skrbno vodimo evidenco vseh težav v njegovem delovanju. V nadaljevanju članka je podan pregled evidentiranih težav v omrežju od 1. 1. 2007 (tj. od začetka operativnega delovanja omrežja) do 31. 12. 2017 in njihov vpliv na delovanje omrežja SIGNAL.

2 KONFIGURACIJA OMREŽJA SIGNAL

V primerjavi s sosednjimi omrežji stalno delujočih postaj GNSS (APOS 36, CROPOS 33 in GNSSnet. hu, 35 stalno delujočih postaj) lahko omrežje SIGNAL označimo za majhno, saj temelji na 16 stalno delujočih postajah. Kljub majhnosti pa gre za zapleten sistem strojne in programske opreme, sestavljen iz številnih komponent. Posamezna postaja omrežja SIGNAL je sestavljena iz (slika 2):

- sprejemnika GNSS in antene GNSS;
- telekomunikacijske opreme (modema in usmerjevalnika), ki zagotavlja povezavo sprejemnika s centrom službe za GNSS na Geodetskem inštitutu Slovenije;
- napajalne opreme (napajalnika in baterije sprejemnika GNSS ter brezprekinitvenega napajanja (UPS)).



Slika 2: Primer opreme na stalno delujoči postaji: 1 – sprejemnik GNSS, 2 – modem, 3 – usmerjevalnik, 4 – baterija sprejemnika, 5 – napajalnik sprejemnika, 6 – sistem UPS, 7 – antena GNSS.

Vse postaje so prek navideznega zasebnega omrežja (VPN, angl. *virtual private network*) povezane s strežniki omrežja SIGNAL v centru službe za GNSS. Na strežnikih je nameščena celovita programska rešitev *Trimble Pivot Platform*. Moduli in aplikacije programske opreme *Trimble Pivot Platform* omogočajo nadzor in upravljanje omrežja ter pripravo in posredovanje produktov uporabnikom za določitev položaja v realnem času ter naknadno obdelavo in arhiviranje opazovanj GNSS. Strežniško konfiguracijo omrežja SIGNAL sestavlja šest strežnikov:

- **produkcijski strežnik:** vse stalno delujoče postaje omrežja SIGNAL so v omrežju VPN povezane s produkcijskim strežnikom, na katerem deluje večina aplikacij in modulov programske opreme *Trimble Pivot Platform*. Produkcijski strežnik je zadolžen za sprejemanje podatkov stalno delujočih postaj in njihovo arhiviranje, izdelavo mrežnih produktov VRS in MAC za uporabo omrežja v realnem času, pripravo podatkov za naknadno obdelavo ter nadzor kakovosti delovanja samega omrežja;
- **distribucijski strežnik:** glavna naloga distribucijskega strežnika je posredovanje produktov omrežja SIGNAL končnim uporabnikom. Z modulom *Trimble NTRIP Caster App* je končnim uporabnikom omogočen dostop do produktov za določitev položaja v realnem času (opazovanja stalno delujočih postaj in mrežni produkti). Dodatno je na distribucijski strežnik nameščen modul *Trimble pivot Web*, ki med drugim administratorjem omrežja omogoča upravljanje uporabnikov sistema, končnim uporabnikom pa dostop do spletnega portala RINEX, prek katerega naročajo in prenašajo produkte za naknadno obdelavo opazovanj;
- **redundantni produkcijski strežnik:** dvojniki glavnega produkcijskega strežnika. Ob morebitni okvari glavnega produkcijskega strežnika ga nadomesti redundantni produkcijski strežnik;
- **redundantni distribucijski strežnik:** dvojniki glavnega distribucijskega strežnika. Ob morebitni okvari glavnega distribucijskega strežnika ga nadomesti redundantni produkcijski strežnik;
- **strežnik CSD:** strežnik CSD zagotavlja uporabnikom dostop do omrežja SIGNAL prek klicnega dostopa;
- **shramba podatkov:** mrežna podatkovna shramba (NAS, angl. *network-attached storage*), v katero se shranjujejo vsa opazovanja GNSS omrežja SIGNAL.

3 PREGLED EVIDENTIRANIH TEŽAV

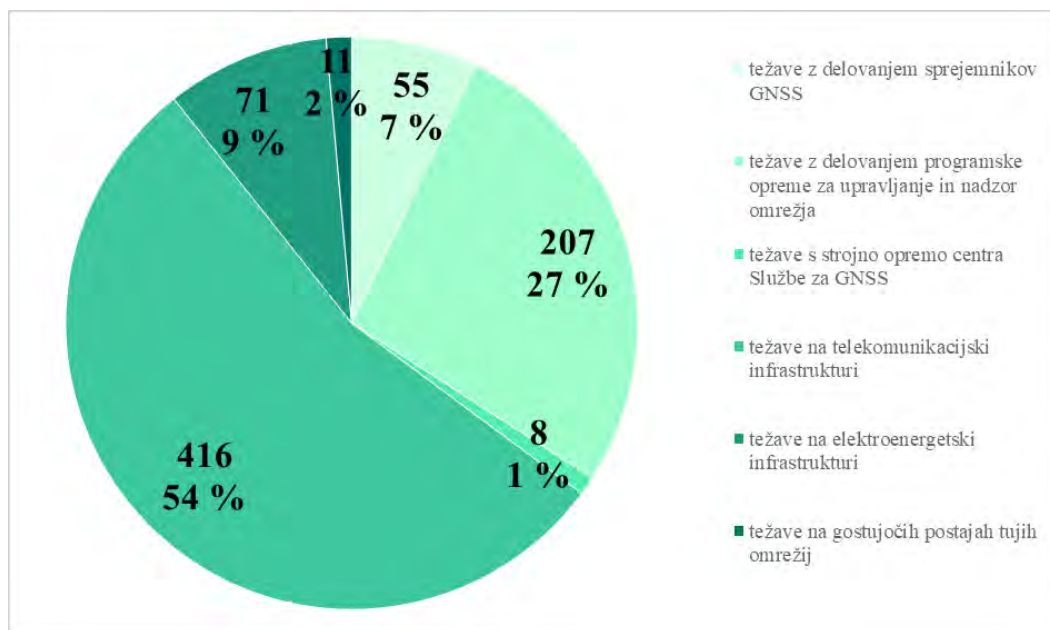
V analizo evidentiranih težav v delovanju omrežja SIGNAL smo zajeli 11 let delovanja omrežja, in sicer obdobje od 1. 1. 2007 do 31. 12. 2017. V celotnem obravnavanem obdobju smo zabeležili 768 težav, ki smo jih razdelili v šest večjih skupin:

- a) težave z delovanjem sprejemnikov GNSS,
- b) težave z delovanjem programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja,
- c) težave s strojno opremo centra službe za GNSS,
- d) težave s telekomunikacijsko infrastrukturo (težave z mrežno opremo posamezne postaje in centra službe za GNSS ter napake oziroma dela na samem telekomunikacijskem omrežju),
- e) težave z elektroenergetsko infrastrukturo (težave z napajalno opremo naprav stalno delujočih postaj in napake oziroma dela na samem elektroenergetskem omrežju),
- f) težave na gostujočih postajah tujih omrežij.

Preglednica 1: Število evidentiranih težav v delovanju omrežja SIGNAL po posameznih skupinah in posameznih letih

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Skupaj
Skupina (a)	8	1	8	3	1	15	0	12	3	0	4	55
Skupina (b)	20	56	22	7	16	10	13	21	14	24	4	207
Skupina (c)	0	0	1	0	2	3	1	0	1	0	0	8
Skupina (d)	66	68	68	85	58	24	18	13	7	7	2	416
Skupina (e)	10	12	6	5	4	6	6	6	3	6	7	71
Skupina (f)	0	3	4	0	1	1	0	0	1	0	1	11
Skupaj	104	140	109	100	82	59	38	52	29	37	18	768

V preglednici 1 je podano število težav po posameznih skupinah in posameznih letih obravnave. Število težav v omrežju SIGNAL se je skozi čas praviloma zmanjševalo. Od leta 2008, ko je bilo evidentiranih največ težav, in sicer kar 140, se je do leta 2017 postopoma zmanjšalo na vsega 18 evidentiranih težav. Grafična predstavitev deležev evidentiranih težav po posameznih skupinah za celotno analizirano obdobje je prikazana na sliki 3. V nadaljevanju poglavja bomo podrobneje predstavili težave iz posameznih skupin in njihov vpliv na delovanje omrežja SIGNAL.



Slika 3: Deleži evidentiranih težav v omrežju SIGNAL po posameznih skupinah za celotno obdobje analize.

3.1 Težave z delovanjem sprejemnikov GNSS

Težave z delovanjem sprejemnikov GNSS so lahko povezane z nepravilnim delovanjem sprejemnikove strojnoprogramske opreme (angl. *firmware*) ali nepravilnim delovanjem oziroma okvaro posamezne komponente sprejemnikove strojne opreme. Na nepravilno delovanje sprejemnika nas običajno opozori programska oprema za nadzor in upravljanje omrežja, ki takšen sprejemnik tudi izloči iz obdelave za pripravo mrežnih produktov. Število težav, povezanih z nepravilnim delovanjem sprejemnikov po posameznih letih, je prikazano na sliki 4.

a) Naključne napake v delovanju sprejemnika

Občasno se lahko pojavi naključna napaka v delovanju sprejemnikove strojnoprogramske opreme, ki se kaže v obliki različnih nepravilnosti v delovanju sprejemnika (na primer sprejemnik se preneha odzivati, ne sprejema signalov satelitov, pojavijo se številni izpadi signala ...). Napako odpravi ponovni zagon sprejemnika.

b) Nepravilno delovanje strojnoprogramske opreme sprejemnika

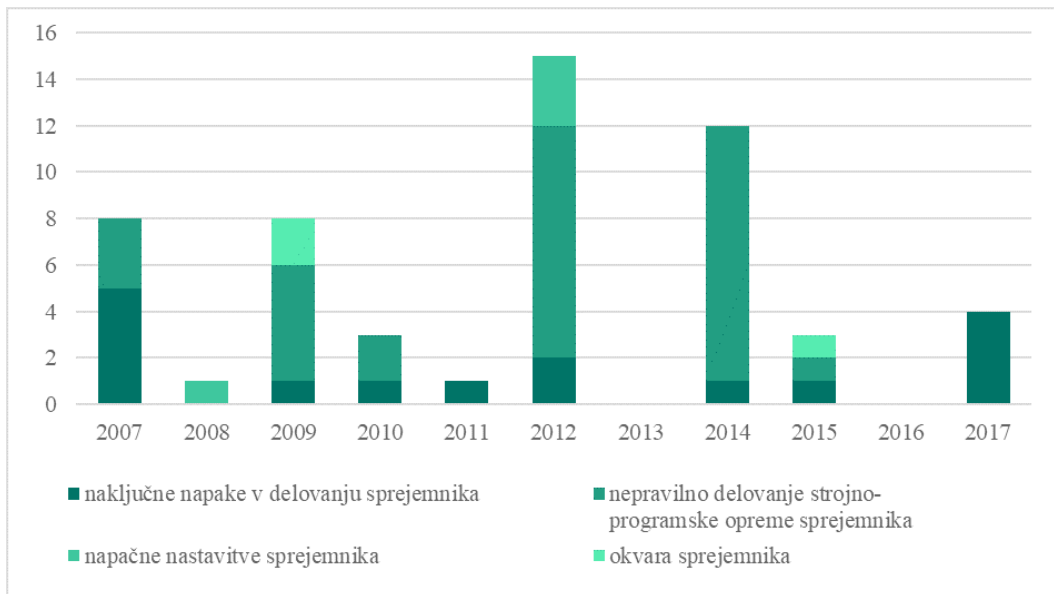
Nepravilno delovanje strojnoprogramske opreme sprejemnika je lahko posledica hrošča ali nezdržljivosti starejših različic strojnoprogramske opreme z novimi tehnologijami GNSS. V teh primerih je delovanje sprejemnika stalno nepravilno, težavo pa je mogoče odpraviti le z nadgradnjo strojnoprogramske opreme ali izklopom posamezne funkcionalnosti sprejemnika. Primeri težav, s katerimi smo se v preteklosti srečali v službi za GNSS, so: težave pri sprejemanju signala GPS L2C, težave pri sprejemanju signala satelitov sistema GLONASS, težave pri sprejemanju signala GPS L5. Težava se je vsakič pojavila, ker je bila na sprejemnikih nameščena stara različica strojnoprogramske opreme.

c) Napačne nastavitve sprejemnika

V teh primerih ne gre za dejansko napako na sprejemniku, temveč za človeško napako pri vnosu nastavitvev v sprejemnik. Enkrat je bil napačno nastavljen višinski kot za sprejem signalov satelitov, trikrat pa je bil izklopljen samodejni izbris opazovanj na sprejemniku, zaradi česar se je zapolnila njegova spominska kartica.

d) Okvara sprejemnika

Sprejemnik zaradi okvare ne deluje oziroma ne deluje pravilno. Treba ga je poslati na servis oziroma ga zamenjati.



Slika 4: Število evidentiranih težav z delovanjem sprejemnikov GNSS omrežja SIGNAL po posameznih podskupinah in obravnavanih letih.

3.2 Težave z delovanjem programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja

Težave v delovanju programske opreme so najpogosteje neposredno povezane z delovanjem programskega paketa *Trimble Pivot Platform*, včasih pa imajo izvor v operacijskem sistemu strežnika. Število težav, povezanih z nepravilnim delovanjem sprejemnikov po posameznih letih, je prikazano na sliki 5.

a) Napake v delovanju programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja

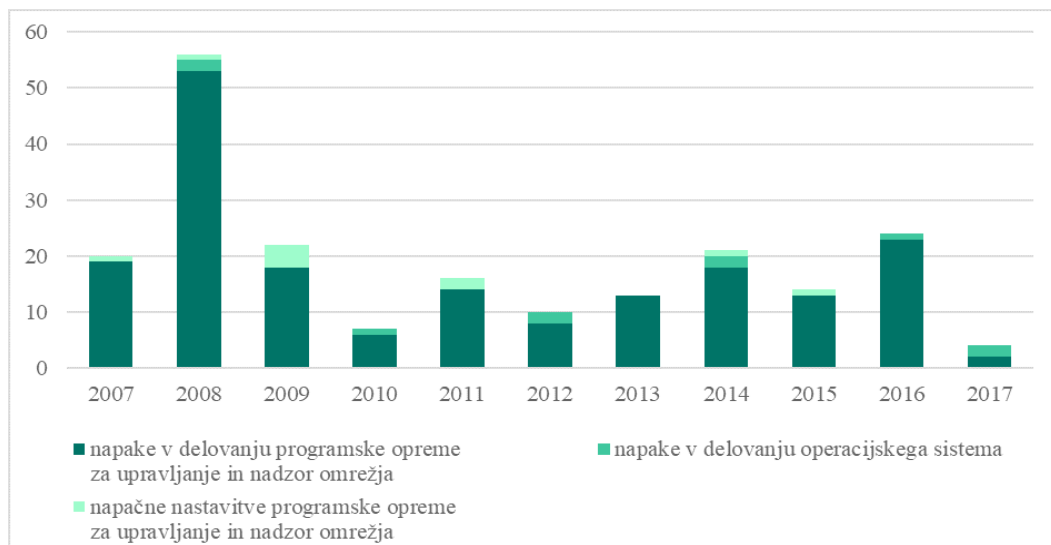
Običajno je posledica teh težav nedelovanje vsaj enega segmenta omrežja SIGNAL (nedostopnost mrežnih produktov, nedostopnost portala RINEX za pridobitev opazovanj za naknadno obdelavo). Najpogosteje evidentirane težave so bile: neodzivnost programa za nadzor in upravljanje omrežja (rešitev: ponovni zagon programa ali strežnika), prenos opazovanj s portala RINEX ni bil mogoč (rešitev: ponovni zagon ustreznega modula v *Trimble Pivot Platform*), podatki posamezne postaje omrežja se kljub vzpostavljeni internetni povezavi ne prenašajo v center službe za GNSS (rešitev: ponovni zagon ustreznega modula v *Trimble Pivot Platform*) ... Opisane rešitve niso rešitve v pravem pomenu besede, temveč le začasne rešitve za nepravilno delovanje programske opreme. Praviloma je težave mogoče odpraviti le s posodobitvami programske opreme, pri čemer je odvisno, kako visoko na proizvajalčevi prednostni lestvici je odprava posamezne težave.

b) Napake v delovanju operacijskega sistema

Tovrstni primeri niso neposredno povezani z delovanjem programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja, temveč s težavami v delovanju operacijskega sistema strežnikov, zaradi katerih preneha delovati tudi programska oprema za upravljanje in nadzor omrežja. Posledično celotno omrežje SIGNAL ne deluje oziroma je nedosegljivo za uporabnike. Kot rešitev je bil do sedaj vedno dovolj vnovični zagon strežnika.

c) Napačne nastavitve programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja

V to skupino spadajo primeri, ki so posledica človeške napake. Težave v delovanju omrežja SIGNAL so bile posledica napačnih nastavitvev programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja.

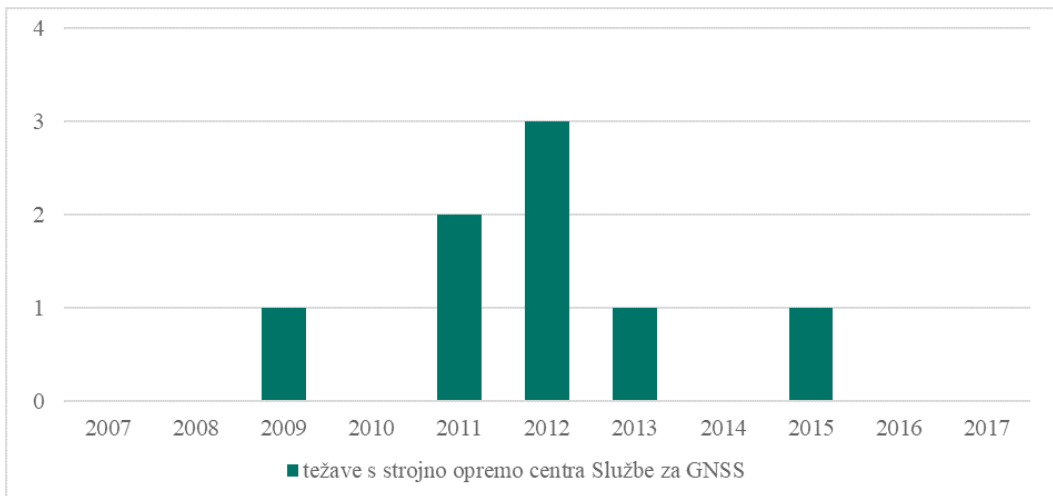


Slika 5: Število evidentiranih težav z delovanjem programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja SIGNAL po posameznih podskupinah in obravnavanih letih.

3.3 Težave s strojno opremo centra službe za GNSS

V to skupino spadajo okvare strežnikov omrežja SIGNAL oziroma njihovih komponent. V večini evidentiranih primerov se je pokvaril kateri izmed trdih diskov strežnikov oziroma kateri izmed trdih diskov shrambe podatkov. Zaradi uporabe polja RAID je bilo delovanje omrežja SIGNAL večinoma nemoteno. Dvakrat je bil okvarjen strežnik omrežja SIGNAL (enkrat produkcijski in enkrat distribucijski). V teh primerih omrežje ni delovalo oziroma je bilo delovanje moteno do vzpostavitve sistema na nadomestnem strežniku.

Od leta 2017 ima omrežje SIGNAL tudi redundantna strežnika, tako da ob morebitni okvari produkcijskega ali distribucijskega strežnika delovanje omrežja ni moteno, saj funkcijo okvarjenega strežnika prevzame pripadajoči redundantni strežnik. Število težav, povezanih s strojno opremo centra službe za GNSS po posameznih letih, je prikazano na sliki 6.



Slika 6: Število evidentiranih težav, povezanih z delovanjem strojne opreme centra službe za GNSS po posameznih podskupinah in obravnavanih letih.

3.4 Težave na telekomunikacijski infrastrukturi

Posledica težav na telekomunikacijski infrastrukturi je nedosegljivost posamezne postaje omrežja SIGNAL oziroma v najslabšem primeru nedosegljivost celotnega omrežja SIGNAL. Težave so lahko posledica nepravilnega delovanja mrežne opreme oziroma njene okvare ali napak oziroma del na telekomunikacijskem omrežju. Število težav na telekomunikacijski infrastrukturi po posameznih letih je prikazano na sliki 7.

a) Nepravilno delovanje mrežne opreme

V preteklosti so bile glavni razlog za motnje v delovanju omrežja težave z nestabilnim delovanjem mrežne opreme posameznih postaj omrežja SIGNAL. Stalno delujoče postaje so naključno izgubljale internetno povezavo s centrom službe za GNSS. Težave so bile odpravljene s ponovnim zagonom mrežne opreme, tj. modema in usmerjevalnika. Te težave so bile prisotne do vključno leta 2011, nato pa je njihovo število močno upadlo. Od leta 2015, ko je VPN vzpostavljen kot storitev Telekoma Slovenije, pa so tako rekoč izgubile.

b) Težave na telekomunikacijskem omrežju

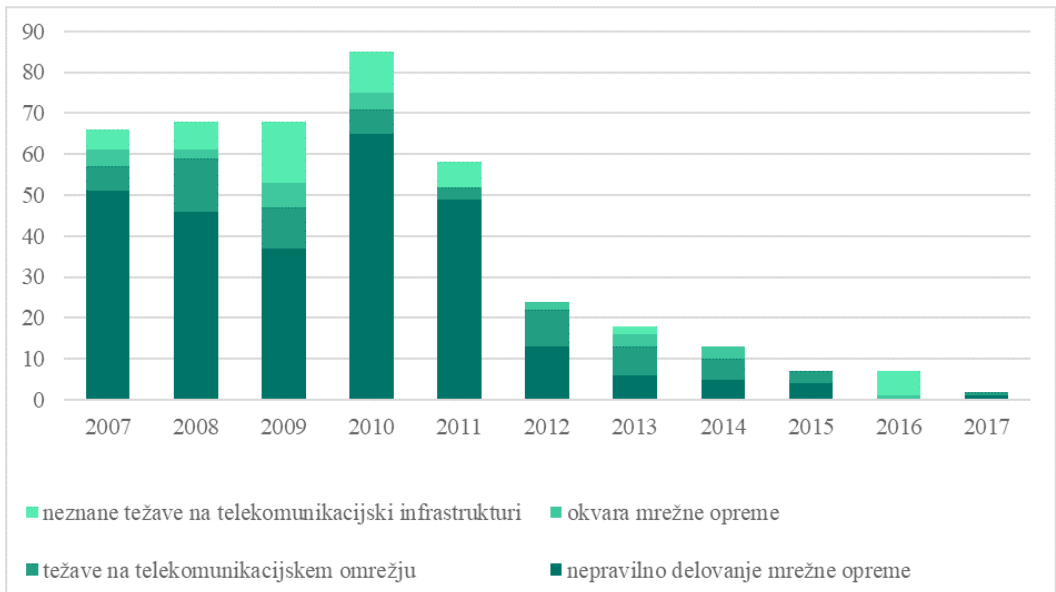
Težave na telekomunikacijskem omrežju so posledica napak (npr. pretrganega telekomunikacijskega kabla) ali vzdrževalnih del na telekomunikacijskem omrežju. Odvisno od kraja napake oziroma vzdrževalnih del je lahko prekinjena internetna povezava med eno oziroma več postajami in centrom službe za GNSS ali pa je nedosegljivo celotno omrežje SIGNAL.

c) Okvara mrežne opreme

Občasno se okvari modem ali usmerjevalnik posamezne stalno delujoče postaje. Ta do zamenjave okvarjene komponente nima internetne povezave s centrom službe za GNSS.

d) Neznane težave na telekomunikacijski infrastrukturi

V to skupino smo uvrstili vse težave, ki so povzročile prekinitev internetne povezave med posamezno postajo in centrom službe za GNSS. Vzrok posamezne težave ni bil znan (ali je šlo za težavo z mrežno opremo, težavo na telekomunikacijskem omrežju ...), včasih je izginila brez posredovanja oziroma so jo odpravili tehniki ponudnika telekomunikacijskih storitev, vzroka zanjo pa niso sporočili.



Slika 7: Število evidentiranih težav na telekomunikacijski infrastrukturi po posameznih podskupinah in obravnavanih letih.

3.5 Težave na elektroenergetski infrastrukturi

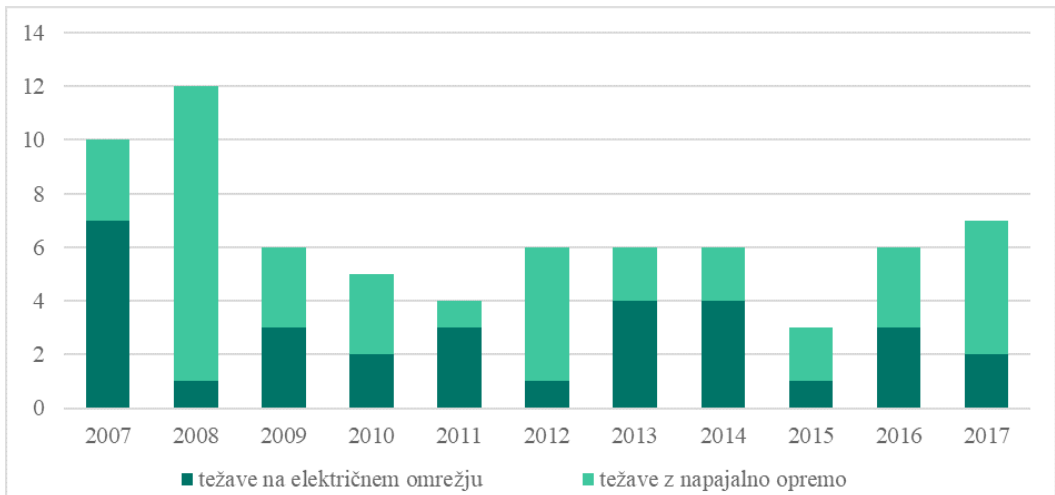
Podobno kot pri težavah na telekomunikacijski infrastrukturi je posledica težav na elektroenergetski infrastrukturi nedosegljivost posamezne postaje omrežja SIGNAL oziroma v najslabšem primeru nedosegljivost celotnega omrežja SIGNAL. Težave so lahko posledica okvare na napajalni opremi posamezne stalno delujoče postaje ali napak oziroma del na elektroenergetskem omrežju. Število težav na elektroenergetski infrastrukturi po posameznih letih je prikazano na sliki 8.

a) Težave na električnem omrežju

Težave na električnem omrežju zajemajo izpade električne energije, ki so posledica vzdrževalnih del ali napake na električnem omrežju. Kratkotrajne izpade (do nekaj ur) električne energije na posamezni postaji pokrije sistem UPS, tako da delovanje postaje ni moteno. Ob daljših izpadih, ki presegajo avtonomijo sistema UPS, preneha delovati mrežna oprema in se prekine povezava med postajo in centrom službe za GNSS. Sprejemnik še vedno deluje, saj ima pomožno baterijsko napajanje. Ob morebitnem izpadu električne energije na Geodetskem inštitutu Slovenije pa celotno omrežje SIGNAL deluje do izpraznitve sistema UPS Geodetskega inštituta Slovenije.

b) Težave z napajalno opremo

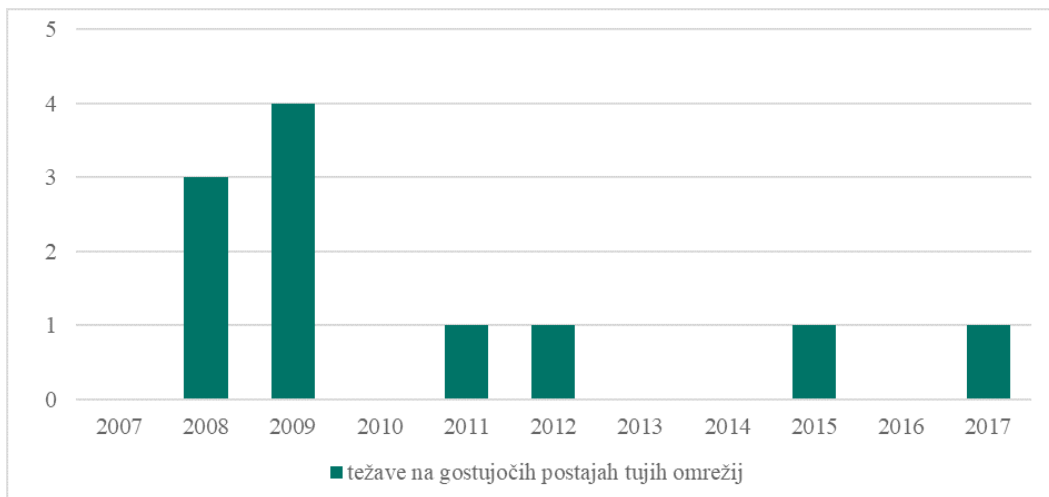
Gre za težave, povezane z napajalno opremo posamezne stalno delujoče postaje (napajalnik sprejemnika, baterija sprejemnika, sistem UPS). Čeprav se v zadnjih letih baterije sprejemnikov in sistemi UPS obravnavajo kot potrošni material z življenjsko dobo pet let in jih redno menjujejo, se še vedno zgodi, da nepredvideno odpove baterija oziroma sistema UPS. V takšnem primeru je delovanje postaje praviloma nemoteno, seveda pod pogojem, da ni napak na elektroenergetskem omrežju. Če odpove napajalnik sprejemnika, kar se zgodi zelo redko, sprejemnik preklopi na baterijsko napajanje, postaja pa deluje, dokler se ne izprazni baterija.



Slika 8: Število evidentiranih težav na elektroenergetski infrastrukturi omrežja SIGNAL po posameznih podskupinah in obravnavanih letih.

3.6 Težave na gostujočih postajah tujih omrežij

Obmejne postaje tujih omrežij (trenutno jih je 11) so v omrežje SIGNAL vključene pasivno – center službe za GNSS od njih prejema le podatkovni tok z opazovanji GNSS, nad njihovim delovanjem pa nima nadzora. V vseh evidentiranih primerih je šlo za nedosegljivost posamezne gostujoče postaje tujega omrežja ali nedosegljivost tujega omrežja v celoti. Najpogostejši razlog za nedosegljivost gostujočih postaj tujih omrežij so težave na telekomunikacijski infrastrukturi. Število težav na gostujočih postajah tujih omrežij po posameznih letih je prikazano na sliki 9. Glede na število gostujočih postaj je skupno število težav na teh postajah zelo majhno.



Slika 9: Število evidentiranih težav v omrežju SIGNAL na gostujočih postajah tujih omrežij APOS, CROPOS in GNSSnet.hu po obravnavanih letih.

4 RAZPRAVA IN SKLEP

V začetku leta 2019 bo omrežje SIGNAL praznovalo dvanajsto obletnico delovanja. V teh dvanajstih letih sta tako omrežje SIGNAL kot služba za GNSS prehodila lepo razvojno pot, kar kaže tudi vsakoletno zmanjševanje težav v delovanju omrežja. Skupno število težav v posameznem letu se je znižalo s 140 leta 2008 na vsega 18 v letu 2017. Napredek na vseh področjih je res velik. Seveda ne moremo reči, da ja bila v preteklosti oprema (strojna in programska) omrežja SIGNAL slaba, le tehnološki razvoj v teh dvanajstih letih je bil tako nagel, da sta oprema iz prvih let delovanja in današnje stanje dva popolnoma različna svetova. Tako na primer prva programska rešitev, ki se je uporabljala za upravljanje in nadzor omrežja SIGNAL, sploh ni tekla kot servis, temveč kot navadna aplikacija, njeno delovanje pa je bilo opazno manj stabilno, delovanje mrežne opreme stalno delujočih postaj v prvih nekaj letih ni bilo popolnoma zanesljivo, starejši sprejemniki so imeli težave z novejšimi tehnologijami GNSS ...

Kljub občutnemu zmanjšanju števila težav pa delovanje omrežja SIGNAL seveda ni popolno. Zaposleni v službi za GNSS se skupaj z lastnikom omrežja, Geodetsko upravo Republike Slovenije, neprestano trudimo, da bi še izboljšali njegovo kakovost in zanesljivost. Ob nastajanju tega prispevka je tako ravno v teku posodobitev strežniške infrastrukture ter programske opreme za upravljanje in nadzor omrežja *Trimble Pivot Platform*. V prvih mesecih leta 2019 bodo tri sprejemnike *Trimble NetR5*, ki so med najstarejšimi v omrežju, zamenjali najnovejši sprejemniki *Trimble Alloy*. Za konec pa še najpomembnejše – od 1. 4. 2018 se izvaja projekt *CRP V2-1729: Povečanje zanesljivosti javnih omrežij GNSS SIGNAL in 0. red*, vodita ga partnerja Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Cilj projekta je razviti metodologijo, s katero bomo v prihodnosti še dodatno izboljšali zanesljivost in kakovost delovanja omrežja SIGNAL in 0. red.

Zahvala

Raziskava je bila opravljena v okviru projekta V2-1729 Ciljnega raziskovalnega programa, ki ga sofinancirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Geodetska uprava Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Literatura in viri:

- Radovan, D. (2007a). Razvoj omrežja SIGNAL in tržna vrednost določanja položaja. *Geodetski vestnik*, 51 (4), 793–802.
- Radovan, D. (2007b). Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja. V K. Kozmus (ur.), M. Kuhar (ur.), *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006*. Zbornik predavanj, str. 21–28. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Režek, J., Perko, K., Fabiani, N. (2016). Nove storitve omrežja stalnih GNSS-postaj SIGNAL. *Geodetski vestnik*, 60 (1), 114–120.
- Sterle, O., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Stopar, B. (2009). Definicija, realizacija in vzdrževanje modernih koordinatnih sistemov. *Geodetski vestnik*, 53 (4), 679–694.
- Stopar, B., Kuhar, M. (2001). Moderni geodetski koordinatni sistemi in astrogeodetska mreža Slovenije. *Geodetski vestnik*, 45 (1–2), 11–26.

Klemen Ritlop, mag. inž. geod. geoinf.
Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: klemen.ritlop@gis.si

Niko Fabiani, univ. dipl. inž. geod.
Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: niko.fabiani@gis.si

Mag. Katja Oven, univ. dipl. inž. geod.
Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: katja.oven@gis.si

Doc. dr. Mihaela Triglav Čekada
Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: mihaela.triglav@gis.si

in
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija