



# wlan ljubljana

odprto brezžično omrežje Ljubljane

## nodewatcher

### sistem za vzpostavitev in vzdrževanje brezžičnih omrežij

Jernej Kos

## 1 Uvod

V postavljanju odprtega brezžičnega omrežja *wlan ljubljana*, kjer z uporabo splošno razširjenih brezžičnih tehnologij z inovativnim pristopom pokrivamo območje Ljubljane z brezžičnim računalniškim omrežjem, smo kar kmalu po začetku postavljanja omrežja v praksi ugotovili, da je za dobro in kvalitetno brezžično omrežje na širšem geografskem področju in razpršenih lokacijah nujno potreben dober informacijski sistem, ki pomaga pri vzpostavljanju takšnega omrežja na vseh korakih: od samega načrtovanja nove WiFi točke v omrežju, preko avtomatičnega programiranja in po vzpostavitvi tudi pri vzdrževanju.

Namreč bolj omrežje raste, več je rutinskih opravil, ki jih je potrebno opravljati, da se zagotavlja delovanje omrežja. Hkrati, da bi pa omrežje raslo še naprej, pa je potrebno, da je tudi postopek vzpostavitve nove točke čimbolj enostaven. Zato je smiselno, da se vsi ti koraki čimbolj avtomatizirajo in poenostavijo z uporabo informacijskih tehnologij in sistemov.

To je še posebej pomembno v omrežju kot je *wlan ljubljana*, ki deluje izključno na prostovoljni osnovi in kjer prostovoljci vlagamo svoj čas in energijo v to, da gradimo omrežje. Tako je potrebno optimizirati čas in energijo prostovoljcev, ki je na voljo, za čimvečjo rast in kvaliteto omrežja, kar pomeni, da informacijski sistem, ki prevzame nase rutinska opravila in opravila, ki jih je ročno težko oziroma potratno izvajati (recimo redno spremljanje pravilnega delovanja omrežja), omogoči prostovoljcem, da se

ukvarjajo le z opravili, ki jih drugačne ni možno izvesti, hkrati pa so ta opravila zato tudi raznolika in zato bolj zanimiva.

Posledica razvoja takšnega sistema je tudi, da vsebuje veliko znanja in izkušenj, kar pomeni, da je tako potrebno manj tehničnega znanja za vzpostavitev tipičnih WiFi točk omrežja, kar ponavadi predstavlja večino točk širše zastavljenega omrežja (saj sistem omogoča enostavno nastavljanje novih konfiguracij tipičnih točk). V *wlan ljubljana* omrežju to pomeni, da lahko omrežje gradijo in pri njem sodelujejo tudi prostovoljci brez tehničnega znanja, saj sistem sam poskrbi za vse potrebne tehnične korake in je prostovoljcu potrebno le priklopiti sprogramiran WiFi usmerjevalnik na željeni lokaciji.

Seveda pa takšen sistem zmanjša tudi direktne stroške vzpostavitve in vzdrževanja brezžičnega omrežja v primeru komercialnih omrežij, saj zahteva manj zaposlenih, dovoljuje njihovo nižje tehnično znanje in manj vzdrževalnih stroškov vzdrževanja same opreme in omrežja, zaradi oddaljenega vzdrževanja in zmožnosti vnaprejšnjega zaznavanja morebitnih težav. To je še toliko pomembneje v današnjih na tehnologiji temelječih poslovnih procesih, kjer se kaže dober in enostaven sistem za vzdrževanje informacijske opreme podjetja vedno bolj ključen, saj ni pomembna le vzpostavitev informacijske opreme in sistemov, ampak tudi njeno njeno nadaljnje delovanje in vzdrževanje, kar se še prepogosto zanemari.

Sistem nodewatcher tako izvira iz prakse in izkušenj *wlan ljubljana* omrežja kako narediti nizko-cenovno a robustno in kvalitetno WiFi brezžično omrežje na širšem področju, ki pa mora biti enostavno za vzpostavitev in vzdrževanje, da ne zahteva odvečnega dela po sami vzpostavitvi. Hkrati je sistem načrtovan modularno, z možnostjo grafičnega prilagajanja in prevodov, tako da se lahko uporablja v širšem mednarodnem kontekstu za vzpostavljanje na njem temelječih brezžičnih omrežij z možnostjo enostavnega prilagajanja specifičnosti vsakega omrežja. K temu prispeva tudi njegova odprtost in prosto dostopnost ter odprt razvoj, kar še toliko bolj olajša uporabnost takšnega sistema za enostavno postavljanje brezžičnih računalniških omrežij tudi drugje ter predstavlja alternativo obstoječim podobnim dragim komercialnim izdelkom, ki pa, vsaj po našem vedenju, niti ne podpirajo vsega, kar omogoča nodewatcher sistem.

## 2 Tehnično ozadje in izvedba

Sistem nodewatcher je zasnovan modularno z skladu z različnimi funkcionalnostmi samega sistema. Vsi moduli so zasnovani robustno, enostavno

nadgradljivo in prilagodljivo, predvsem pa skalabilno, tako, da lahko podpirajo tudi velika omrežja sestavljena iz velikega števila točk in uporabnikov. V ta namen so moduli različni procesi, med seboj povezani s čakalnimi vrstami (za kar se uporablja *beanstalkd*<sup>1</sup>) in še delovanje vsakega izmed njih je paralelizirano, v kolikor je to smiselno. Pri razvoju je bil dan velik poudarek na kvaliteti kode in programskih rešitev, kjer ni zadosti le narediti delujočo rešitev, ampak ta mora biti tudi kvalitetna in domišljena<sup>2</sup>.

Sama programska oprema WiFi usmerjevalnikov, ki se uporablja in nastavlja preko *nodewatcher* sistema, temelji na Linux operacijskem sistemu in njegovi *OpenWrt*<sup>3</sup> distribuciji, tako da deluje na široki paleti strojne WiFi opreme, ki podpira Linux.

## 2.1 Spletni vmesnik

Spletni vmesnik je zasnovan na odprtokodnem *Django*<sup>4</sup> frameworku za izdelavo spletnih aplikacij in združuje upravljanje z moduli sistema in pregledovanje njihovih informacij v enotnem vmesniku. Na takšen način je hkrati enostaven za uporabo in omogoča oddaljen dostop do njega. Sam vmesnik je zasnovan tudi modularno in omogoča prilagajanje, grafično oblikovanje in prevajanje. Spisan je v programskem jeziku Python in je s tem enostavno prenosljiv in namestljiv.

Podpira različne uporabnike z različnimi vlogami, ki imajo tako različne pravice do upravljanja z omrežjem preko spletnega vmesnika. Recimo v *wlan ljubljana* omrežju dovoljujemo, zaradi odprte narave omrežja, da lahko vsak pristopi k sodelovanju v omrežju in njegovem soupravljanju, za kar je potrebno le registrirati uporabniško ime in uporabnik že lahko poskusi registrirati recimo testno točko, sprogramirati svoj WiFi usmerjevalnik z zgenerirano firmware sliko in lahko vidi, kako se le-ta poveže v *wlan ljubljana* omrežje in kako deluje točka kot njena interakcija z *nodewatcher* sistemom. Uporabnike spodbujamo, da to poskusijo, saj jih mogoče prepriča, da se polno pridružijo *wlan ljubljana* omrežju, pokvariti česa pa s tem ne morejo. Tako lahko uporabnik skrbi za vse povezano s točkami, ki jih upravlja. Seveda pa so možne tudi druge uporabniške vloge, recimo za upravljanje in vzdrževanje stvari povezanih z omrežjem kot celoto.

Spletni vmesnik podpira tudi več podomrežij oziroma podprojektov, recimo geografsko razpršenih po različnih mestih ali za razdeljeno upravljanje

---

<sup>1</sup><http://kr.github.com/beanstalkd/>

<sup>2</sup><http://wlan-lj.net/wiki/OOmrezju/Filozofija>

<sup>3</sup><http://www.openwrt.org/>

<sup>4</sup><http://www.djangoproject.com/>

in vzdrževanje celotnega omrežja. Na takšen način se lahko nodewatcher sistem uporablja tudi kot krovni sistem za upravljanje in vzdrževanje večjega omrežja, saj olajša vzpostavitev novega brezžičnega (pod)omrežja, saj je možno uporabiti že obstoječo infrastrukturo informacijskega sistema, potrebna je le sama fizična postavitev WiFi točk na recimo novi geografski lokaciji.

Upravljanje z omrežjem in točkami v njem ter spremljanje delovanja omrežja in točk se tako vrši preko spletnega vmesnika. Preko spletnega vmesnika se tako recimo registrira novo točko, se ji določi tip strojne opreme, WiFi usmerjevalnika, lokacijo na zemljevidu na področju postavljanja brezžičnega omrežja (kar kasneje služi za vizualizacijo omrežja in povezav med točkami) in druge parametre delovanja, sam spletni vmesnik pa s pametnimi privzetimi vrednostmi pomaga skrbniku, da se mu ni potrebno spuščati v tehnične podrobnosti. Seveda, če se želi oziroma konfiguracija točke to zahteva, pa omogoča tudi to. Spletni vmesnik na podlagi poznanih nastavitvev točk lahko delovanje omrežja in točk prikaže na različne načine ter tako omogoči vpogled v stanje omrežja.

Pomemben del nastavitvev točk so, tako kot v vsakem računalniškem omrežju, tudi omrežne nastavitve, saj le-te zagotavljajo pravilno delovanje točke v omrežju in tudi omrežje kot celote. Pri velikem številu omrežnih naprav v računalniškem omrežju pa postane vzdrževanje in usklajevanje vseh teh nastavitvev težavno opravilo. V računalniških omrežjih se lahko v ta namen uporablja dinamično nastavljanje omrežnih naprav, recimo DHCP, ampak ta pristop žal ni mogoč v fizično razdrobljenem in nehomogenem omrežju, kot so ponavadi brezžična omrežja, ki pokrivajo večje področje in pogosto gostujejo v najrazličnejših podomrežjih, ki gostijo točke. Rešitev tega problema je, da se omrežne nastavitve prepusti nodewatcher sistemu samemu, ki na podlagi vnaprej podanih pravil ustrezno nastavlja omrežne nastavitve točk. To omogoča pravilnejše nastavitve in predvsem manj truda za njih in njih vzdrževanje, prav tako pa tudi boljšo izrabo IP naslovnega prostora, ki je na voljo. Seveda pa skrbnikom omrežja še vedno omogoča tudi ročno nastavljanje omrežnih nastavitvev v primeru posebnih zahtev konfiguracije točke. Hkrati sistem tudi skrbi, da se ne pojavljajo konflikti v nastavitvah in ker pozna vse omrežne nastavitve vseh naprav v omrežju, lahko preverja, če delujejo pravilno in so pravilno nastavljene.

Pomembno je tudi izpostaviti, da so vse nastavitve vseh točk za skrbnika enotne oblike in strukture, ne glede na strojno opremo, na kateri bo konkretna točka delovala. Na takšen način se skrbnikom ni potrebno ukvarjati z različnimi načini nastavljanja različne strojne opreme, ampak za to skrbi nodewatcher sistem sam. Hkrati pa to omogoča tudi enostavnejšo

nadgradnjo obstoječe točke z novo strojno opremo, saj sistem sam poskrbi za prenos starih nastavitvev v obliko potrebno za novo strojno opremo.

## 2.2 Spremljanje delovanja omrežja

Osrednji modul nodewatcher sistema, ki zagotavlja pravilno delovanje brezžičnega omrežja, je modul za aktivno spremljanje delovanja točk in omrežja kot celote. Deluje centralno na enem izmed strežnikov v omrežju in periodično zbira podatke vseh točk v omrežju o njihovem trenutnem delovanju, nastavitvah, prijavljenih končnih uporabnikih na omrežje, prenesenemu prometu in druge statistične podatke o delovanju točk in s tem omrežja. Ob podatkih pridobljenih neposredno iz točk pa strežnik oziroma modul na njem izmeri različne parametre delovanja omrežja kot celote, kot so recimo dostopni časi do posamičnih točk in morebitne izgube paketkov na povezavah do njih. Hkrati pa tudi oceni kvalitete povezav na podlagi podatkov pridobljenih iz usmerjevalnih tabel dinamičnega usmerjevalnega protokola OLSR<sup>5</sup>. Iz njih pa dobi tudi podatke o številu sosednjih WiFi točk, ki jih posamična točka vidi, in nastavitve podomrežij, ki jih točke oglašujejo in ki predstavljajo podomrežja, kamor se prijavljajo končni uporabniki.

Na podlagi tako zbranih podatkov, lahko modul ugotovi, če so se v delovanju omrežja oziroma posamičnih točk pojavile težave oziroma napake in če omrežje deluje tako, kot je bilo načrtovano. Namreč v postopku načrtovanja omrežja in posamičnih točk se določijo s pomočjo nodewatcher sistema različni parametri nastavitvev točk in omrežja, ki se jih kasneje preverja in tako ugotavlja pravilnost samega načrta kot tudi ustreznost delovanja na podlagi delovanja omrežja v praksi. Seveda pa se zaznajo tudi same napake v delovanju zaradi napak v programski in strojni opremi ali pa tudi zunanjih motenj.

V primeru zaznanih težav nadzorni sistem prikaže preko spletnega vmesnika ustrezna opozorila in pogosto tudi napotka, kako težavo najverjetneje odpraviti. Možno pa je tudi spremljanje različnih dogodkov, ki predstavljajo vse pomembne spremembe delovanja omrežja, kot so priključitev točk v omrežje in njihov izpad (izguba povezljivosti), reboot točke in široko paleto dogodkov ob različnih načinih nepravilnega delovanja posameznih točk. Na vse dogodke se je mogoče preko spletnega vmesnika naročiti (dostavljeni so preko elektronske pošte), prav tako pa vmesnik ponuja povzetek zadnjih dogodkov v standardnem RSS formatu. Ti dogodki so tako osnova skrbnikom točk za uspešno in hitro reakcijo ob morebitnih težavah.

---

<sup>5</sup><http://www.olsr.org/>

Takšen sistem spremljanja omogoča v *wlan ljubljana* omrežju tudi, da lahko skrbniki z manj tehničnega znanja skrbijo za pravilno delovanje svojih točk, saj jih nodewatcher sistem opozarja v primeru težav in s tem jim samim ni potrebno znati testirati pravilnega delovanja točk. Prav tako pa omogoča tudi novim skrbnikom, ki se še učijo sodelovati v omrežju s svojimi točkami, da prepustijo načrtovanje in nastavitve njihovih točk popolnoma sistemu, hkrati pa jih ta opozori, če so pri vzpostavitvi točk naredili kakšno napako, ki je povzročila nepravilno delovanje le-teh. Tako jim ni potrebno skrbeti, če so vse pravilno nastavili in če njihove točke res pravilno delujejo, čeprav mogoče še nimajo dovolj izkušenj in znanja. Na takšen način je uvajanje novih skrbnikov veliko bolj enostavno in postopno, kar ponovno olajša delo na omrežju kot celoti.

Zbrani podatki se tudi shranjujejo v podatkovno bazo za analize delovanja omrežja skozi čas, k čemur prispevajo izrisi potekov različnih izmerjenih vrednosti skozi čas v obliki grafov za različna časovna obdobja, za kar se uporablja program RRDtool<sup>6</sup>. Ti grafi so prav tako prikazani preko spletnega vmesnika in omogočajo spremljanje delovanja skozi čas in odkrivanje morebitnih težav pri delovanju točk in omrežja, ki jih mogoče ni enostavno opaziti, se pa opazijo na grafih.

Arhitektura modula je zastavljena tako, da je mogoče testiranje delovanja in obdelava več točk paralelno. To je pomembna lastnost, saj omogoča skalabilnost sistema. Sicer bi se pri naraščanju števila točk v omrežju kaj hitro zgodilo, da sistem znotraj dodeljenega intervala meritev in osveževanja podatkov (v *wlan ljubljana* omrežju je ta trenutno nastavljen na 5 minut) ne bi mogel zbrati in obdelati vseh podatkov (težavo bi še dodatno povečale slabe povezave do katere izmed točk, na katerih odgovor je potrebno čakati nekaj časa).

Za predobdelavo podatkov o delovanju točk in za testiranje delovanja točk na operacijskem sistemu točk samem z različnimi testi, teče na točkah v omrežju poseben dodatek k operacijskemu sistemu, ki tako omogoča centralnemu strežniku zbiranje podatkov na enoličen način, neodvisen od same programske in strojne opreme na točki. Protokol komunikacije med tem dodatkom in centralnim strežnikom je zasnovan tako, da je razširljiv in robusten, a da hkrati čimmanj obremenjuje samo omrežje in točke. Ta dodatek pridobiva različne kazalce o delovanju točk in jih predobdelava, centralni strežnik pa jih prenese in nadalje obdelava. Ti kazalci so naprimer trenutne vrednosti vzpostavljenega brezžičnega omrežja, obremenitev procesorja na točki in število procesov, poraba pomnilnika, število in podatki

---

<sup>6</sup><http://oss.oetiker.ch/rrdtool/>

o odjemalcih prijavljenih na točko, promet na posameznih mrežnih vmesnikih točke ... V primeru zaznave težav v delovanju s testi, pa se k podatkom namenjenim centralnemu strežniku dodajo še podatki o zaznanih težavah. Hkrati pa se nekatere znane napake poskušajo tudi same odpraviti.

Tako modul kot dodatek k točkam sta zasnovana z mislijo na razširljivost in robustnost, tako da je možno enostavno dodajanje novih funkcionalnosti tako enemu kot drugemu, recimo novih kazalcev delovanja in novih podatkov (recimo v primeru priklopa kakšne dodatne naprave na WiFi točko) ter seveda različni načini obdelave in prikaza zbranih podatkov.

## 2.3 Generator firmware slik

Za čimvečjo avtomatizacijo postopka postavitve nove točke vsebuje nodewatcher sistem modul, ki zna na podlagi nastavitve nastavljenih preko spletnega vmesnika pripraviti celotno firmware sliko, katero se nato naloži neposredno na strojno opremo, WiFi usmerjevalnik, in ob vklopu ima ta tako že nameščeno vso potrebno programsko opremo, kot je tudi že popolnoma nastavljen, da deluje kot točka v omrežju. Zato na lokacijo namestitve nove točke ni potrebe za terminalsko ali drugo opremo za nastavitve strojne opreme, prav tako pa to tudi pomeni, da lahko namestitev izvaja oseba brez tehničnega znanja nastavljanja strojne opreme. V primeru *wlan ljubljana* omrežja to pomeni veliko večji nabor prostovoljcev, ki lahko pomagajo. V komercialnih brezžičnih omrežjih pa lažje kadrovanje, saj je namestitev WiFi točke večinoma montažersko delo, medtem ko, v primeru tradicionalne WiFi opreme brez nodewatcher sistema, nastavljanje zahteva tudi računalniško znanje.

Celoten sistem izgradnje temelji na OpenWrt Linux distribuciji za vgradne naprave, podpira pa široko paleto naprav, kot so tudi WiFi usmerjevalniki. Osrednji del te distribucije je tudi orodje, ki omogoča izgradnjo firmware slike za željeno podprto napravo s privzetimi nastavitvami, žal pa zahteva kar nekaj tehničnega znanja, da se pravilno uporablja in da vse deluje, saj je zaradi svoje velikosti in podpore za vse te različne naprave vse prej kot enostaven sistem.

Modul za generiranje firmware slik nodewatcher sistema ponese ta kvaliteten sistem s široko podporo napravam še korak dlje. Zna namreč sam zgenerirati nastavitve za posamezne komponente naprave (mrežne nastavitve, nastavitve VPN tunela, nastavitve požarnega zidu, nastavitve portala za obvestila in prijavo v omrežje ob prijavi končnega uporabnika na točko, nastavitve dinamičnega usmerjevalnega protokola OLSR ...) in ga skupaj z operacijskim sistemom in ustrezno programsko opremo s pomočjo OpenWrt

orodja sestavi v firmware sliko popolnoma delujočega prednastavljenega operacijskega sistema za željeno vgradno napravo.

Vsak skrbnik točke lahko preko spletnega vmesnika poda zahtevo za izgradnjo firmware slike, za čemer jo ta modul zgenerira in obvesti skrbnika preko elektronske pošte o tem, da je slika na voljo ter mu poda nadaljnja navodila. Na takšen način je enostavna nadgradnja tudi že obstoječih točk omrežja, saj je s tako pripravljeno prednastavljeno firmware sliko možno oddaljeno nadgraditi točko, ki je po nadgradnji že takoj pripravljena na uporabo in delovanje znotraj brezžičnega omrežja, z vsemi posodobitvami in s starimi ali morebitnimi novimi nastavitvami.

## 2.4 Omejevanje pasovne širine

V omrežju se posamične točke združujejo v skupno omrežje preko WiFi povezav ampak da se poenostavi izgradnja omrežja (tako se lahko brezžično omrežje gradi na več koncih hkrati), za pospešitev delovanja omrežja in za redundanco, je dobro uporabljati tudi obstoječo infrastrukturo računalniških omrežij, ki se povezujejo med seboj preko Interneta. Zato se točke lahko povežejo med seboj tudi preko VPN povezav na VPN strežnik, ki jih vzpostavijo preko obstoječih povezav gostujočih omrežij v Internet.

Ker pa je Internetna povezava gostujočega omrežja lahko tudi zelo omejena oziroma skrbniki gostujočega omrežja ne želijo ponuditi celotne pasovne širine, ki je na voljo, ta modul omogoča, da skrbniki točk nastavijo omejitev uporabljene pasovne širine za VPN povezavo. Tako je točka lahko prijazen gost v gostujočem omrežju.

Omejitve prenosa podatkov iz točke je možno enostavno nastaviti na točki sami. Omejitev prenosa podatkov v smeri proti točki pa je seveda mogoče zagotoviti le na samem VPN strežniku. Namreč ko so podatki enkrat preneseni na točko, je bila povezava že uporabljena in nam zavračanje paketkov v tej fazi ne koristi<sup>7</sup>. V ta namen vsebuje nodewatcher sistem modul, ki teče na posameznih VPN strežnikih in zna na podlagi nastavitvev preko spletnega vmesnika generirati ustrezna pravila za Linuxov vmesnik, ki omogoča omejevanje pasovne širine. Tudi na tem mestu je potrebno paziti na skalabilnost sistema, saj je teh pravil lahko zelo veliko, za vsako točko eno. Zato modul uporablja v pravilih dvojno zgoščevalno tabelo, ki omogoča da se vsak paketek umesti v pravilni razred (različni razredi predstavljajo različne hitrosti prenosa podatkov) z le konstantno mnogo

---

<sup>7</sup>V resnici s takšnim zavračanjem na sami točki lahko vplivamo na hitrost TCP povezav, vendar ta rešitev ne deluje za ostale tipe prometa, naprimer UDP.



poizvedb v tabelo. To pomeni, da bo tudi v primeru velikega števila pravil/točk sistem deloval hitro.

### 3 Povezave

Ker je predstavljeni sistem računalniške narave in deluje preko javno dostopnega spletnega vmesnika, sledi nekaj povezav povezanih s sistemom.

Sama delujoča namestitvev sistema v produkcijskem okolju, ki je v uporabi *wlan ljubljana* omrežja, je dostopna na:

<https://nodes.wlan-lj.net>

Ta namestitev je direktno povezana z omrežjem in prikazuje realne podatke omrežja. Na njej je možno videti v delovanju vse prej omenjene funkcionalnosti.

Vsa izvorna koda programske opreme nodewatcher sistema in WiFi točk ter dodatne informacije o uporabljenih tehnologijah so prosto dostopni na spletni strani omrežja:

<http://wlan-lj.net>

Spletna stran vsebuje tudi več dokumentacije o samem razvoju sistema in načrt preteklega in bodočega razvoja, saj hkrati služi kot sistem za razvoj programske opreme omrežja.

nodewatcher sistem je bil predstavljen tudi mednarodni skupnosti brezžičnih omrežij v Rimu, 28. novembra 2009, kjer je navdušil druga omrežja s svojo inovativnostjo reševanja pogostih skupnih problemov in poenostavitvi le-teh:

<http://wiki.ninux.org/NinuxDay2009en>

Kot rezultat se je tudi sprožila iniciativa poenotenja osnovnih gradnikov takšnih sistemov med omrežji na mednarodnem nivoju, da se zagotovi lažjo integracijo novih sistemov, kot je tudi nodewatcher sistem, v obstoječe prakse brezžičnih omrežij. Namreč pogost problem je ravno prehod na nov, čeprav boljši, sistem zaradi vezanosti na sisteme, ki so že v uporabi. S poenotenimi gradniki bi se takšen prehod zelo olajšal:

<http://interop.wlan-lj.net>

## 4 Zahvala

Zahvaljujem se vsem ostalim članom odprtega brezžičnega omrežja *wlan ljubljana*, ki so mi pri razvoju nodewatcher sistema stali ob strani in me podpirali, še posebej Mitru Milutinoviću, ki je na podlagi svojih praktičnih izkušenj z vzpostavljanjem omrežja pomagal pri načrtovanju sistema in Luki Čehovinu, ki ga je grafično oblikoval.