

Krunoslav Cazin, mag. ing. el., univ. spec. el.

SINKRONIZACIJA SDH MREŽE HŽ INFRASTRUKTURE d.o.o.

1. Uvod

Razvoj javnih i funkcionalnih telekomunikacijskih mreža tekao je od analognih mreža prema digitalnima. S porastom važnosti digitalnih mreža kroz njih su se, osim govora, sve više prenosili i digitalni podaci te su tako nastale prve integrirane mreže bazirane na pleziokronoj digitalnoj hijerarhiji (*Plesiochronous Digital Hierarchy* – PDH). S obzirom na to da je unutar integriranih mreža sve više prevladavala potreba za prijenosom podataka, PDH više nije mogao zadovoljiti potrebe operatora, što je na kraju dovelo do pojave sinkrone digitalne hijerarhije (*Synchronous Digital Hierarchy* – SDH). SDH jest transportni sloj koji se u područjima tradicionalnih arhitektura i tehnologija modernih javnih telekomunikacijskih mreža smatra ključnom tehnologijom. To je univerzalna tehnologija za prijenos i multipleksiranje raznih servisa. Mreža temeljena na SDH-u fleksibilna je, otporna na pogreške i velike pouzdanosti. Da bi SDH mreža funkcionirala ispravno i bez smetnji, ona zahtijeva kvalitetnu sinkronizaciju svih elemenata u mreži. Sinkronizacija SDH mreže vrlo je složena, a posljedica je njezine loše izvedbe gubitak informacija koji može biti izražen na različite načine:

- govor: moguća je pojava *clicka*, gubitka signalizacije, problema prilikom uspostave poziva ili prekida poziva u mobilnim i fiksnim mrežama
- faks: gubitak određenoga broja linija ili smanjenje propusnosti (produljenje vremena slanja)
- multimedija: „smrzavanje“ videosignala u određenome intervalu, a prilikom audioprijenosa moguća je pojava šuma
- digitalni podaci: gubitak podataka, što uzrokuje potrebu za njihovim ponovnim slanjem; također može doći do smanjenja propusnosti
- moguć je potpuni prekid prometa.

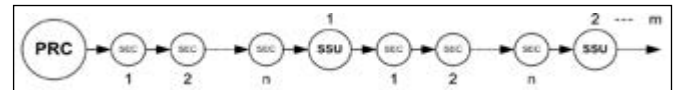
Svi ti problemi, uz još mnoge druge, posljedica su loše sinkronizacije mreže. Problemi mogu znatno rasti s rastom složenosti mreže. Upravo zbog svega navedenoga prilikom projektiranja SDH mreže posebnu pozornost treba pokloniti sinkronizaciji.

U sklopu modernizacije telekomunikacija u HŽ Infrastrukturi SDH prijenosni sustav odabran je za okosnicu prijenosne tehnologije. U nastavku prikazan je način na koji je riješena sinkronizacija SDH mreže HŽ Infrastruk-

ture. SDH mreža gradila se u etapama, pa je i sinkronizacija mreže prolazila kroz razne faze. Posljedice toga bile su promjene u konfiguraciji sinkronizacije mreže i određeni problemi u njezinoj sinkronizaciji.

2. Izvori sinkronizacijskoga signala

Zadatak je mrežne sinkronizacije distribucija referentnoga takta do svih mrežnih elemenata koji zahtijevaju sinkronizaciju. Distribucija sinkronizacijskoga signala prikazana je uz pomoć referentnoga sinkronizacijskog lanca (slika 2.1.).



Slika 2.1. Referentni sinkronizacijski lanac

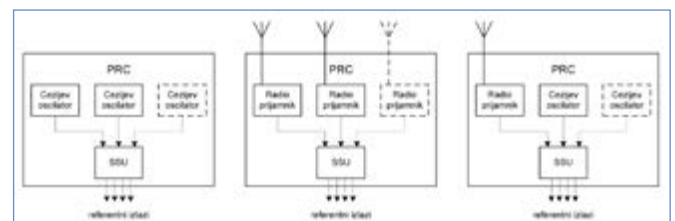
Kao što se može vidjeti na slici 2.1., postoje tri glavne razine, odnosno izvora sinkronizacijskoga signala: primarni referentni generator takta (*Primary Reference Clock* – PRC), jedinica za distribuciju sinkronizacijskoga signala (*Synchronisation Supply Unit* – SSU) i mrežni elementi koji sadrže vlastite izvore sinkronizacijskoga takta (*SDH Equipment Clock* – SEC).

Prva i najviša razina u hijerarhiji upravljanja sinkronizacijom jest primarni generator takta koji omogućuje dugoročnu stabilnost referentne frekvencije. U normalnome radu u određenome sinkronizacijskome području aktivan je samo jedan PRC, no zbog pouzdanosti svako sinkronizacijsko područje treba imati barem još jedan rezervni PRC koji preuzima upravljanje sinkronizacijom u slučaju ispada prvoga PRC-a. Prema preporuci G.703, na svojim izlazima PRC mora imati sučelja za 2048 kbit/s i signale od 2048 kHz.

Ovisno o izvedbi postoje dvije vrste PRC-a:

- samostalni PRC s jednim ili više (do tri) cezijeva oscilatora ugrađena u PRC
- radio-kontrolirani PRC koji koristi udaljene cezijeve oscilatore, koje se obično nalaze u satelitima GPS navigacijskoga sustava.

Osnovne konfiguracije PRC-a prikazane su na slici 2.2., dok su svojstva PRC-a navedena u tablici 2.1. HŽ Infrastruktura u svojoj SDH mreži koristi radio-kontrolirani PRC s prijemnicima GPS signala.



Slika 2.2. Konfiguracije PRC-a

Tablica 1.1. Svojstva PRC-a

Ulazna sučelja	
nema ih (samostalni PRC)	
radioprijemnik (zemaljski ili satelitski)	
Izlazna sučelja	
2048 kHz ITU-T G.703	
2048 kbit/s HDB3 kodirano ITU-T G.703	
Točnost slobodnog takta	
tipično $\pm 1 \times 10^{-11}$	
cezij: $\pm 1 \times 10^{-12}$	
GPS: $\pm 1 \times 10^{-13}$	

Druga i treća razina u hijerarhiji upravljanja sinkronizacijom jest SSU. Postoje dva specifična tipa SSU-a: tranzitni (više kvalitete, druga razina) i lokalni (niže kvalitete, treća razina). Zadaci SSU-a jesu:

- odabir referentnoga sinkronizacijskog signala (ako ih ima više)
- nadzor odabranoga (aktivnoga) referentnog signala i rezervnih referentnih signala
- zadržavanje kvalitete izlaza kada su svi referentni ulazi u kvaru, odnosno tada određenome dijelu sinkronizacijske mreže služi kao izvor referentnoga sinkronizacijskog signala
- filtriranje *jittera* i *wandera* akumuliranih u prijenosnome putu
- distribuiranje informacije o sinkronizaciji.

Obično SSU nije izravno povezan na promet kroz SDH mrežu, već mrežni elementi iz prometa izvlače sinkronizacijski signal i dostavljaju ga u SSU. Nakon što se odabere najbolji sinkronizacijski signal, on se unutar SSU-a regenerira i šalje dalje kroz mrežu kao referentni signal. U tablici 2.2. navedena su svojstva SSU-a.

Tablica 2.2. Svojstva SSU-a

Ulazna sučelja		
2048 kHz ITU-T G.703		
2048 kbit/s HDB3 kodirano ITU-T G.703		
Izlazna sučelja		
2048 kHz ITU-T G.703		
2048 kbit/s HDB3 kodirano ITU-T G.703		
Zadržavanje točnosti		
	tranzitni	lokalni
početni pomak	5×10^{-10}	10^{-9}
starenje po danu	2×10^{-10}	10^{-9}

Zadnja razina u sinkronizaciji mreže jest mrežni element SEC. Mrežni elementi imaju vlastite izvore sinkronizacijskoga takta koji čine četvrtu razinu u hijerarhiji upravljanja sinkronizacijom. On nije izravno povezan s ulaznim i izlaznim signalima mrežnoga elementa, već preko sučelja prometa ili specifičnoga sinkronizacijskog sučelja. U sinkroniziranome radu mrežnoga elementa njegov generator takta sinkronizira se na takt sinkronizacijskoga signala, odnosno što bliže frekvenciji sinkronizacijskoga signala. U slučaju kvara svih referentnih ulaza SEC može raditi kao izvor referentnoga sinkronizacijskog signala za dio mreže koji se nalazi iza njega. Svojstva SEC-a navedena su u tablici 2.3.

Tablica 2.3. Svojstva SEC-a

Ulazna sučelja	
T1, izveden iz SDH ITU-T G.707	
T2, izveden iz 2048 kHz ITU-T G.703	
T3, izveden iz 2048 kbit/s HDB3 kodirano ITU-T G.703	
Izlazna sučelja	
T4, vanjski referentni signali:	
2048 kHz ITU-T G.703	
2048 kbit/s HDB3 kodirano ITU-T G.703	
Točnost slobodnoga takta	
minimum $\pm 4,6 \times 10^{-6}$	
Zadržavanje točnosti	
početni pomak	5×10^{-8}
starenje po danu	10^{-8}
temperaturno starenje	$2 \times 10^{-6} / 10^{\circ}\text{C}$

3. Distribucija sinkronizacijskoga signala

ITU-T preporukom G.803 određen je maksimalan broj pojedinih elemenata u referentnome sinkronizacijskom lancu (slika 2.1.). U najgoremu slučaj broj mrežnih elemenata (SEC) između dvaju SSU-ova ograničen je na $n = 20$, dok maksimalan broj SSU-ova u sinkronizacijskome lancu ne smije biti veći od $m = 10$. Ukupni broj slijednih taktova (SEC i SSU) u sinkronizacijskome lancu ne smije prijeći 60. S obzirom na to da se prethodno navedeni brojevi odnose na najgori slučaj, u praksi se preporučuje da n iznosi maksimalno od 10 do 15.

U velikim se mrežama mogu pojaviti dugi lanci pomoćnih taktova. To dovodi do degradacije sinkronizacijskoga signala zbog:

- *jittera* i *wandera*
- šuma takta
- povećanja prekida u lancu, moguće odspojenosti velikoga dijela mreže od PRC-a.

Prethodno navedeni učinci mogu se izbjeći prilikom projektiranja sinkronizacije:

- ugradnjom pomoćnih, visokokvalitetnih izvora takta, koji mogu biti samostalni ili mogu biti integrirani u mrežne elemente, na određena mjesta u mreži
- kreiranjem podmreža s mrežnim elementima koji podržavaju kontrolirane mehanizme automatske rekonfiguracije bazirane na porukama o sinkronizacijskom statusu (*Synchronization Status Message – SSM*)
- koliko je to moguće, planiranjem sinkronizacije mreže tako da svaki mrežni element prima referentni signal iz barem dvaju izvora.

Danas se za distribuciju visokokvalitetnoga sinkronizacijskog signala do mrežnih elemenata koriste dvije metode te kombinacija tih dviju metoda:

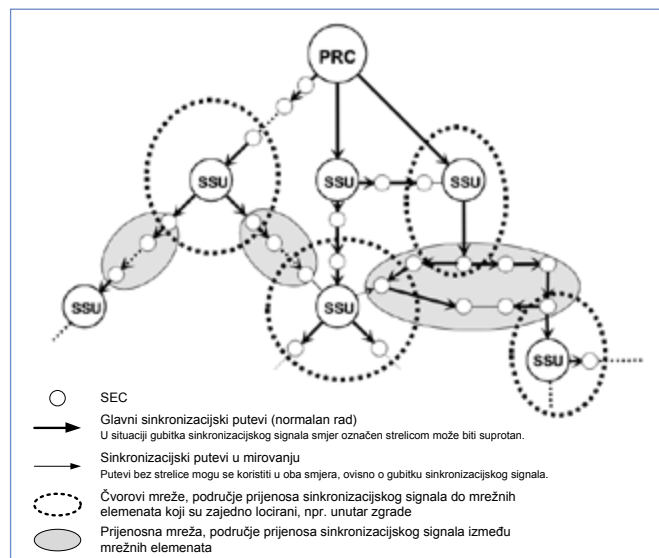
- tradicionalna *master-slave* metoda sinkronizacije mreže, koja koristi telekomunikacijsku mrežu za prijenos sinkronizacijske informacije od PRC-a do mrežnih elemenata
- metoda izravne distribucije sinkronizacijskoga signala, koja se temelji na radio-kontroliranoj distribuciji PRC signala do mrežnih elemenata. Izvor sinkronizacijskoga signala može biti zemaljski odašiljač ili, kako je to uobičajeno u praksi, GPS signal.

3.1. Master-slave metoda distribucije sinkronizacijskoga signala

PRC kao najviša hijerarhijska razina u sinkronizaciji mreže omogućuje distribuciju primarnoga referentnog signala do svih SSU-ova koji pripadaju drugoj hijerarhijskoj razini sinkronizacije. Svaki SSU nakon filtriranja primarnoga referentnog signala proslijeđuje odgovarajućoj podmreži ili više njih referentni sinkronizacijski signal, a može poslužiti i kao sekundarni izvor referentnoga signala za neki drugi SSU. Ako SSU izgubi sve dolazne referentne signale, prelazi u režim zadržavanja točnosti i služi kao izvor referentnoga signala podmrežama i SSU-ovima koji su spojeni na njega. Metoda *master-slave* distribucije prikazana je na slici 3.1.

Prednosti su te metode sljedeće:

- Svaki operator telekomunikacijske mreže može imati svoj PRC te tako imati kontrolu nad sinkronizacijom mreže.
- Medij za distribuciju sinkronizacijskoga signala dostupan je izgradnjom mreže i ne postoji opasnost od interferencije.



Slika 3.1. Master-slave metoda distribucije sinkronizacijskoga signala

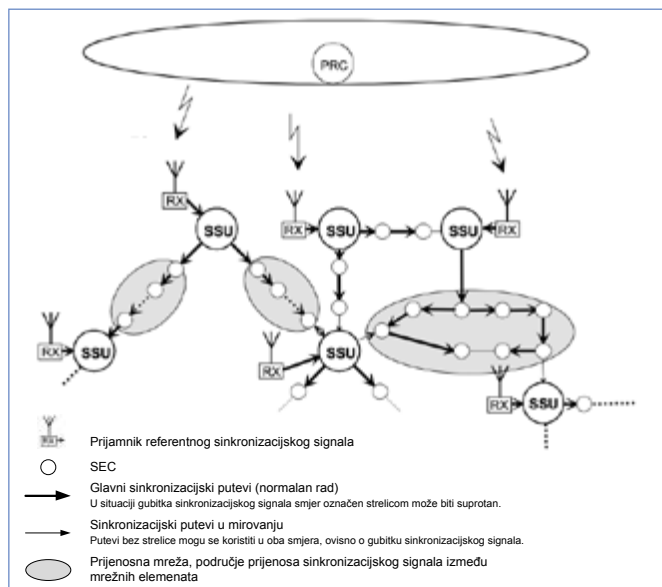
Nedostaci su te metode sljedeći:

- Sinkronizacijska je mreža vrlo složena, što za posljedicu ima dugačke sinkronizacijske lance.
- Kod planiranja mreže potrebna je velika stručnost kako bi se izbjegle sinkronizacijske petlje.
- Za distribuciju sinkronizacije potreban je prijenosni signal, odnosno na kraju puta mora biti moguće obnoviti signale zbog *jittera* i *wandera*.

3.2. Metoda izravne distribucije sinkronizacijskoga signala

Metoda izravne distribucije sinkronizacijskoga signala alternativa je *master-slave* metodi i omogućuje izravnu distribuciju informacije o referentnome sinkronizacijskom signalu do svakoga izvora takta u mreži. Ekonomski je isplativa samo radiodistribucijom signala (GPS signal) jer bi distribucija signala žičanom vezom zahtijevala novu mrežu i bila bi preskupa. Također nije ekonomski isplativo to da je svaki mrežni element opremljen prijarnikom GPS signala radi primanja informacije o referentnome sinkronizacijskom signalu. Tu informaciju prima samo SSU, a informacija na nižu hijerarhijsku razinu (prema SEC-u) prenosi se kao kod *master-slave* metode.

Na slici 3.2. prikazana je distribucija sinkronizacijskoga signala bazirana na GPS-u. GPS sustav predstavlja PRC, a *master-slave* distribucijski lanac do SSU-a zamijenjen je satelitskim signalom. Prijamnik procesira GPS signal i iz njega izvlači referentni signal za SSU. Distribucija sinkronizacijskoga signala nakon SSU-a istovjetna je *master-slave* metodi.



Slika 3.2. Izravna distribucija sinkronizacijskoga signala

Prednosti su te metode sljedeće:

- Referentni sinkronizacijski signal dostupan je širom svijeta.
- Ne postoji opasnost od formiranja sinkronizacijskih petlji.
- *Jitter* i *wander* zanemarivi su i mogu biti filtrirani u GPS prijammiku i/ili SSU-u.
- Planiranje je mreže jednostavnije.

Nedostaci su te metode sljedeći:

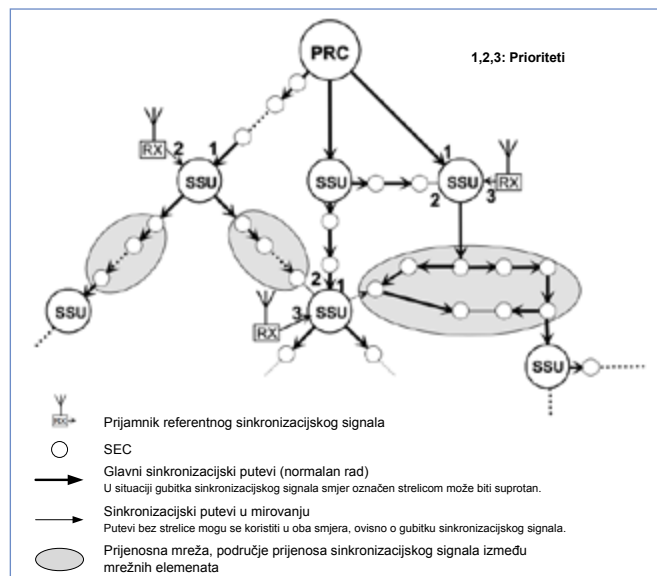
- Ovisna je o operatoru (vlasniku) GPS sustava. Iako ne postoje ugovori o korištenju sustava, signal je međunarodno dostupan svim korisnicima bez naknade, a vlasnik (*The U.S. Department of Defense – DOD*) uvijek može blokirati signal u dijelu svijeta prema svojim (uglavnom vojnim) potrebama.
- Zahtijeva prijammike i antene.
- Postoji rizik od interferencije, npr. s mobilnim mrežama ili televizijskim sustavima.
- Ovisna je o vremenskim uvjetima (grmljavina, kiša itd.).

3.3. Mješovita metoda distribucije sinkronizacijskoga signala

U mješovitoj su metodi distribucije sinkronizacijskoga signala prednosti prethodnih dviju metoda kombinirane te se povećava raspoloživost referentnoga sinkronizacijskog signala u svim dijelovima sinkronizirane mreže. To se postiže tako da se GPS prijammici instaliraju u ona mrežna čvorišta (SSU) do kojih nije moguće

osigurati rezervne referentne sinkronizacijske signale ili pak u mrežna čvorišta za koja operator procijeni da ima potrebe (slika 3.3.).

Kombiniranjem prethodnih dviju metoda kombiniraju se njihove prednosti i nedostaci.



Slika 3.5. Mješovita distribucija sinkronizacijskoga signala

3.4. SSM poruke

Budući da je SDH transmisijski sustav predviđen za sinkroni rad, svaki mrežni element mora znati kvalitetu sinkronizacijskih signala na svojim ulazima. Na temelju informacije o kvaliteti i postavljenim prioritetima u samome mrežnom elementu, mrežni element odabire sinkronizacijski signal najveće kvalitete i najvećega prioriteta kao referentni sinkronizacijski signal.

Da bi to bilo moguće, arhitektura sinkronizirane mreže mora biti takva da se, ne samo u normalnim radnim uvjetima, već i u uvjetima raznih nepravilnosti, omogući to da svaki mrežni element prima informaciju o referentnome sinkronizacijskom signalu iz izvora koji je najmanje na istoj hijerarhijskoj razini. Na taj se način izbjegava sinkronizacijska petlja koja može izazvati nestabilnost sinkronizacije u mreži. Za prijenos informacije o referentnome sinkronizacijskom signalu koristi se bajt S1, koji se nalazi u zaglavlju SDH signala. Ta se informacija nalazi u bitovima 5, 6, 7 i 8 koji pripadaju bajtu S1 i on se naziva porukom o sinkronizacijskome statusu ili SSM poruka. Razine kvalitete definirane su u tablici 3.1.

Ako mrežni element prima više istih informacija o kvaliteti sinkronizacijskoga signala, redosljed se korištenja određuje prioritetima. Ako se neki signal ne želi koristiti, na njegov se ulaz postavlja oznaka da se ne koristi za sinkronizaciju (*Do Not Use – DNU*).

Tablica 3.1. Razine kvalitete sinkronizacijskoga signala

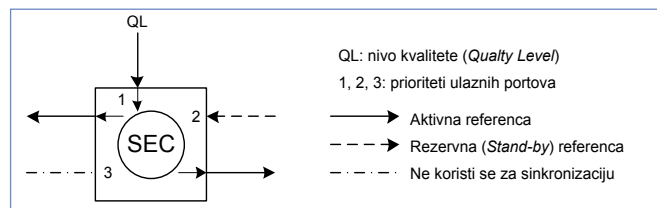
Bitovi 5, 6, 7 i 8	ITU-T preporuka	Razina kvalitete
0000	-	Nepoznat
0001	-	Rezervirano
0010	G.811	QL1
0011	-	Rezervirano
0100	G.812A	QL2
0101	-	Rezervirano
0110	-	Rezervirano
0111	-	Rezervirano
1000	G.812B	QL3
1001	-	Rezervirano
1010	-	Rezervirano
1011	G.813	QL4
1100	-	Rezervirano
1101	-	Rezervirano
1110	-	Rezervirano
1111	-	DNU (ne koristiti)

4. Restauracija sinkronizacijskoga signala i sinkronizacijske petlje

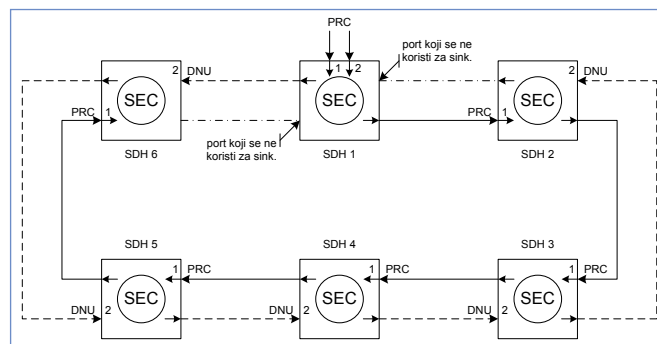
Tijekom rada određeni dio SDH mreže može ostati bez referentnoga sinkronizacijskog signala. U tome slučaju prvi SDH multipleksor u dijelu mreže koja je izgubila sinkronizaciju odabire idući izvor sinkronizacijskoga signala, koji ima najveću kvalitetu i prioritet, kao glavni izvor sinkronizacije za sebe i za dio mreže koji se nalazi iza njega. Nakon povratka referentni sinkronizacijski signal se restaurira, odnosno vraća se na početne postavke sinkronizacije.

Da bi se objasnili mehanizam restauracije sinkronizacijskoga signala uz pomoć SSM poruka i slučajevi kada se upravo zbog SSM poruka mogu pojaviti sinkronizacijske petlje, koristi se model. U modelu je SDH multipleksor, odnosno njegov izvor sinkronizacijskoga takta SEC, prikazan simbolom (slika 4.1.). I tokovi sinkronizacijskoga signala modela prikazani su simbolima kao na slici 4.1.

Na modelu prikazanome na slici 4.2. prstenasta mreža u normalnome radu koristi SSM poruke i prioritete na ulazima kako bi SDH multipleksor, odnosno SEC, mogao odabrati ulazni signal koji će koristiti kao referentni sinkronizacijski signal. Na slici 4.2. može se primijetiti to da se ulazi u SDH 1 iz smjera SDH 2 i SDH 6 ne koriste za sinkronizaciju kako bi se izbjegla pojava sinkronizacijske petlje.



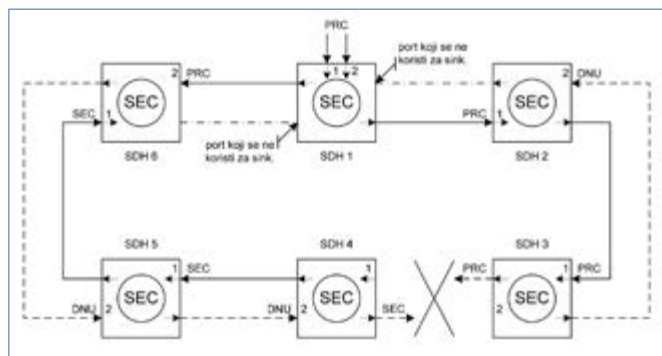
Slika 4.1. Model SEC izvora sinkronizacijskoga takta



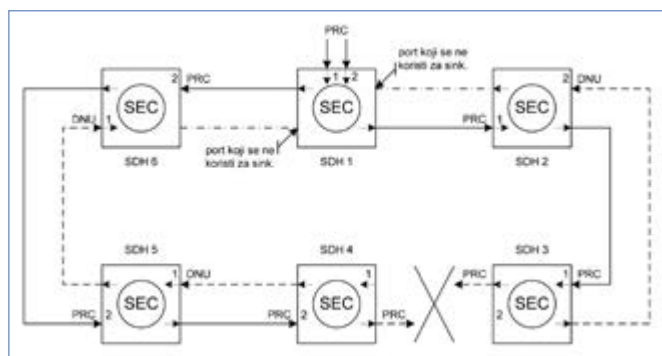
Slika 4.2. Model prstenaste mreže s protekcijom petlje u normalnome radu

Kao što je to prikazano na slici 4.2., SDH multipleksor SDH 1 preko svojih izlaza prosljeđuje referentni sinkronizacijski signal PRC kvalitete s ulaza prioriteta 1 dalje unutar prstenaste mreže. Budući da ostali SDH multipleksori primaju sinkronizacijski signal PRC kvalitete na svim svojim ulazima, oni na temelju prioriteta odabiru koji će ulaz koristiti za sinkronizaciju, a na sve ostale postavljaju oznaku DNU. Nakon što uz pomoć SSM poruka i prioriteta svaki SDH multipleksor odabere ulaz s kojeg prima referentni sinkronizacijski signal, uspostavlja se tok sinkronizacijskoga signala SDH 1 → SDH 2 → SDH 3 → SDH 4 → SDH 5 → SDH 6.

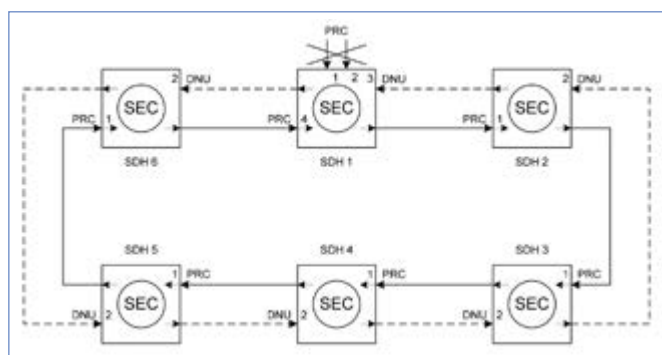
Početak restauracije sinkronizacijskoga signala nakon prekida između čvorišta SDH 3 i SDH 4 prikazan je na slici 4.3., a završetak na slici 4.4. Kao što je vidljivo na slici 4.3., prilikom prekida čvorište SDH 3 prema čvorištu SDH 4 i dalje šalje sinkronizacijski signal PRC kvalitete. Čvorište SDH 4 na izlaze šalje sinkronizacijski signal SEC kvalitete te se uspostavlja tok SDH 4 → SDH 5 → SDH 6. S obzirom na to da na ulaz s prioritetom 1 čvorište SDH 6 prima sinkronizacijski signal SEC kvalitete, aktivira se ulaz s prioritetom 2 na koji stiže sinkronizacijski signal PRC kvalitete. Nakon što je na ulazu s prioritetom 2 čvorište SDH 6 primilo sinkronizacijski signal PRC kvalitete, ono poruke iste kvalitete šalje na svoje izlaze. Nakon toga čvorišta SDH 5 i SDH 4 aktiviraju ulaze s prioritetom 2 jer na njima imaju sinkronizacijske signale više kvalitete u odnosu na ulaze s prioritetom 1. Konačni tok referentnoga sinkronizacijskog signala prikazan je na slici 4.4., a sastoji se od dvaju dijelova: SDH 1 → SDH 2 → SDH 3 i SDH 1 → SDH 6 → SDH 5 → SDH 4.



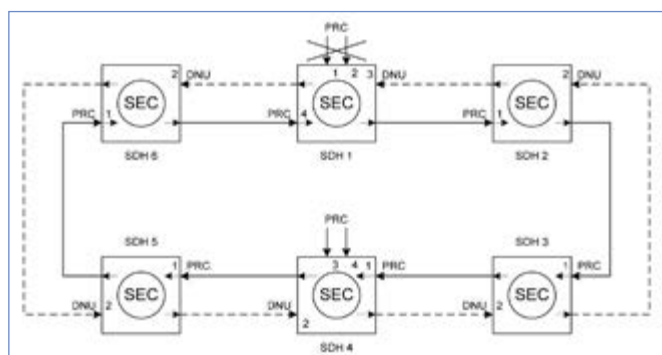
Slika 4.3. Model prstenaste mreže s protekcijom petlje – početak restauracije



Slika 4.4. Model prstenaste mreže s protekcijom petlje – kraj restauracije



Slika 4.5. Model prstenaste mreže bez protekcije petlje – jedan ulaz



Slika 4.6. Model prstenaste mreže bez protekcije petlje – dva ulaza

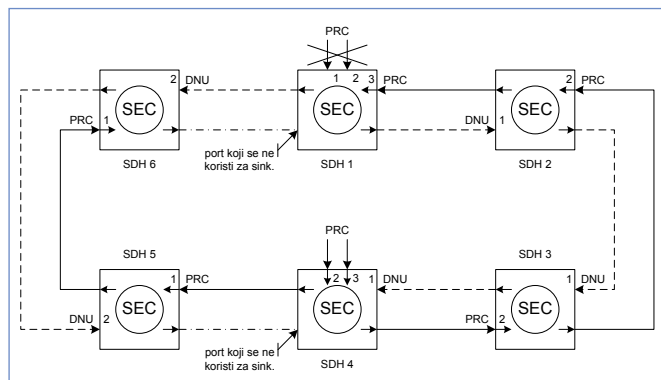
Na slikama 4.5. i 4.6. prikazani su modeli prstenaste mreže kod kojih prilikom određivanja tokova sinkronizacijskoga signala nije predviđena zaštita od pojave sinkronizacijske petlje. Model na slici 4.5. ima jedno čvorište koje je ulaz referentnoga sinkronizacijskoga signala u prsten, a model na slici 4.6. ima dva čvorišta koji su ulazi referentnoga sinkronizacijskoga signala u prsten.

Kada model prikazan na slici 4.5. izgubi vezu s izvorom referentnoga sinkronizacijskoga signala PRC kvalitete, pojavljuje se sinkronizacijska petlja jer nisu blokirani ulazi u čvorište SDH 1 s prioritetima 3 i 4. U normalnome radu čvorište SDH 1 odabire sinkronizacijski signal PRC kvalitete s ulaza s prioritetom 1 te se uspostavlja tok referentnoga sinkronizacijskoga signala SDH 1 → SDH 2 → SDH 3 → SDH 4 → SDH 5 → SDH 6. Nakon što izgubi signal na ulazima s prioritetima 1 i 2, aktivira ulaz s prioriteta 4 jer na njemu ima sinkronizacijski signal PRC kvalitete te se uspostavlja tok referentnoga sinkronizacijskoga signala SDH 1 → SDH 2 → SDH 3 → SDH 4 → SDH 5 → SDH 6 → SDH 1.

Kod modela prikazanog na slici 4.6. također se pojavljuje sinkronizacijska petlja. Iako postoje dva čvorišta koja služe kao ulaz referentnoga sinkronizacijskoga signala PRC kvalitete, zbog toga što ulazi referentnoga sinkronizacijskoga signala na čvorištu SDH 4 imaju prioritete 3 i 4, oni neće biti izabrani prilikom prekida veze na ulazima s prioritetima 1 i 2 čvorišta SDH 1 te se uspostavlja tok referentnoga sinkronizacijskoga signala SDH 1 → SDH 2 → SDH 3 → SDH 4 → SDH 5 → SDH 6 → SDH 1.

U ta se dva slučaja sinkronizacijska petlja pojavljuje upravo zbog korištenja SSM poruka. Kvalitetu sinkronizacijskoga signala SDH multipleksor raspoznaje isključivo na temelju SSM poruke koja dolazi s njim. U trenutku kada čvorište SDH 1 na ulazima s prioritetima 1 i 2 izgubi sinkronizacijski signal, ono automatski na ostalim ulazima traži sinkronizacijski signal koji ima SSM poruku najveće kvalitete i pronalazi ga na ulazu s prioritetom 4. SSM poruka te kvalitete postoji na tome ulazu jer je šalje čvorište SDH 6, koje ju je dobilo od čvorišta SDH 5 pa tako sve do čvorišta SDH 1, koji je nakon gubitka signala na ulazima s prioritetima 1 i 2 dobiva iz čvorišta SDH 6 i tako ukруг. Iz primjera prikazanih na slikama 4.5. i 4.6. može se vidjeti to kako pogreške prilikom planiranja sinkronizacije SDH mreže zajedno sa SSM porukama uzrokuju pojavu sinkronizacijske petlje.

Kraj restauracije sinkronizacije prstenaste SDH mreže s protekcijom sinkronizacijske petlje prikazan je na slici 4.7. Kao što se može vidjeti u odnosu na sliku 4.6., postoji razlika u konfiguraciji prstena. Čvorište SDH 1 ne može primiti sinkronizacijski signal od čvorišta SDH 6, a čvorište SDH 4 ne može primiti



Slika 4.7. Model prstenaste mreže s protekcije petlje – dva ulaza

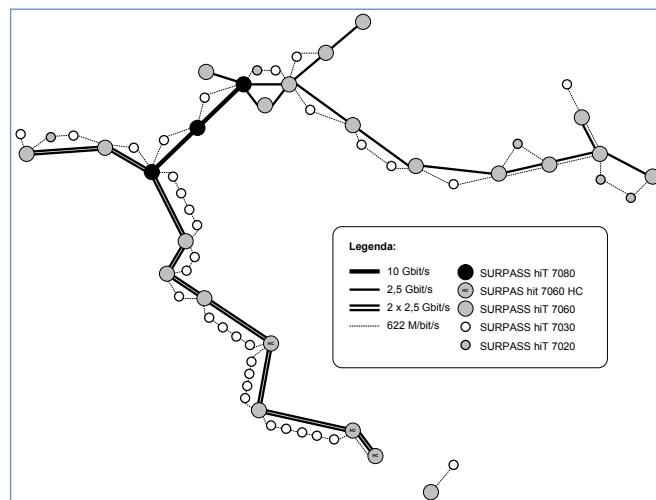
sinkronizacijski signal od čvorišta SDH 5. Također su ulazima referentnoga sinkronizacijskog signala na čvorištu SDH 4 dodijeljeni prioriteta 2 i 3. Kada čvorište SDH 1 na ulazima s prioritetima 1 i 2 izgubi referentni sinkronizacijski signal, ono će kroz svoje izlaze u prsten poslati sinkronizacijski signal SSM porukom o SEC kvaliteti. Kada ta poruka stigne do čvorišta SDH 4, ono će na temelju kvalitete i prioriteta odabrati referentni sinkronizacijski signal s ulaza prioriteta 2 te će na svoje izlaze poslati sinkronizacijski signal SSM porukom o PRC kvaliteti. Na kraju restauracije sinkronizacije uspostavljena su dva toka referentnoga sinkronizacijskog signala SDH 4 → SDH 3 → SDH 2 → SDH 1 i SDH 4 → SDH 5 → SDH 6.

Model prstenaste mreže na slici 4.7. prikazuje kako se uz pomoć pravilne konfiguracije tokova sinkronizacijskoga signala i SSM poruka može izbjeći pojava sinkronizacijskih petlji. Naravno, koliko se god pozornosti posveti konfiguriranju tokova sinkronizacijskih signala, to ne znači da ponekad pojedini dijelovi mreže neće ostati bez referentnoga sinkronizacijskog signala, no barem se može izbjeći pojava sinkronizacijskih petlji.

5. SDH mreža HŽ Infrastrukture d.o.o.

Topologija SDH mreže HŽ Infrastrukture slijedi topologiju mreže željezničkih pruga. S obzirom na to da se SDH mrežom povezuje relativno mali broj međusobno udaljenih korisnika u odnosu na javne telekomunikacijske mreže, u izgradnju SDH mreže trebalo je uložiti znatna sredstva. Posljedica takve topologije mreže jest njezina složena sinkronizacija. Na slici 5.1. prikazana je topologija SDH mreže HŽ Infrastrukture početkom 2014.

SDH mreža HŽ Infrastrukture sastavljena je od niza podatkovnih prstenova koji se nadovezuju i zvjezdasto šire od Zagreba. Najveći je nedostatak mreže postojanje samo jednoga fizičkog prstena, i to onoga oko Zagreba, jer s prekidom optičkoga kabela pojedini dijelovi mreže mogu ostati nepovezani do njegova popravka.



Slika 5.1. Topologija SDH mreže HŽ Infrastrukture početkom 2014.

Tijekom svojega razvoja mreža je prolazila od faze nesinkroniziranosti preko faze kada je sinkronizacijski E1 signal stizao iz Mađarske do sadašnjega stanja kada sinkronizaciju mreže osiguravaju tri SSU jedinice za distribuciju sinkronizacijskoga signala s prijateljima signala sustava globalnoga pozicioniranja (*Global Positioning System* – GPS).

Kao što se vidi na slici 5.1., na krajnjemu jugu postoje dva SDH multipleksora koja nisu povezana s ostatkom SDH mreže. To su SDH multipleksori u Pločama i Metkoviću.

S kupnjom dviju SSU jedinica s prijateljima GPS signala (treća jedinica kupljena je poslije) HŽ Infrastruktura dobila je dva izvora sinkronizacijskoga signala PRC kvalitete. U normalnome radu sinkronizacija SDH mreže trebala je teći po *master-slave* metodi iz SSU-a Zagreb. U slučaju kvara SSU-a Zagreb ili gubitka GPS signala mreža bi i dalje bila sinkronizirana *master-slave* metodom, ali iz SSU-a Knin. Prilikom prekida optičkoga kabela bilo gdje između Zagreba i Knina SDH mreža bila bi sinkronizirana metodom izravne distribucije sinkronizacijskoga signala. Tada bi dio mreže bio sinkroniziran iz SSU-a Zagreb, a dio iz SSU-a Knin.

U početku svoje eksploatacije SDH mreža služila je samo za međusobno povezivanje telefonskih centrala i udaljenih korisnika preko signala E1. S obzirom na to da su se unutar signala E1 prenosili isključivo govorni kanali koji su relativno robusni po pitanju nesinkroniziranosti, djelomično i zbog tadašnje organizacije HŽ Infrastrukture, nisu primjećivani problemi u sinkroniziranosti SDH mreže. S promjenom organizacije unutar HŽ Infrastrukture formirana je jedna služba za područje cijele Hrvatske koja brine, među ostalim, i o SDH mreži te sve većem broju servisa na bazi IP protokola koji se prenose SDH mrežom. Uočeni su nedostaci u

konfiguraciji i sinkronizaciji mreže. Na temelju uočenih nedostataka pristupilo se analizi tadašnje konfiguracije sinkronizacije mreže kako bi se otklonili uočeni problemi i dali prijedlozi za buduća proširenja SDH mreže.

6. Analiza sinkronizacije SDH mreže HŽ Infrastrukture d.o.o.

Prilikom analize postavki sinkronizacije SDH mreže u HŽ Infrastrukturi posebna pozornost dana je restauraciji sinkronizacijskoga signala u slučaju prekida pojedinih veza (tokova sinkronizacijskoga signala), mogućoj pojavi sinkronizacijskih petlji te broju koraka u kojemu svaki pojedini SDH multipleksor dobiva referentni sinkronizacijski signal kako u normalnome radu tako prilikom prekida pojedinih veza.

Ako bi se prilikom simuliranja prekida pojedinih veza u nekome dijelu SDH mreže pojavile sinkronizacijske petlje, to bi značilo da postavke sinkronizacije u tome dijelu mreže nisu dobro konfigurirane.

Prekid pojedinih tokova sinkronizacijskoga signala simuliran je na dva načina:

- brisanjem reference iz tablice upravljanja sinkronizacijom pojedinoga SDH multipleksora
- promjenom kvalitete reference u tablici upravljanja sinkronizacijom pojedinog SDH multipleksora.

Analiza broja koraka rađena je na temelju teorije grafikona, uz pomoć matrice susjedstva i njezinih potencija. Čvorišta grafikona prikazuju elemente SDH mreže, SDH multipleksore i izvore sinkronizacijskoga signala (PRC ili SSU). Veze između čvorišta grafikona jesu sinkronizacijske veze. S obzirom na to da većina SDH multipleksora može primati referentni sinkronizacijski signal iz više smjerova, prilikom kreiranja matrice susjedstva uzimane su u obzir samo one sinkronizacijske veze koje imaju najveću kvalitetu i najviši prioritet. Sinkronizacijske veze među pojedinim elementima SDH mreže manje kvalitete i/ili nižega prioriteta uzimane se u obzir samo u slučaju kada je simuliran prekid veze veće kvalitete i višega prioriteta ili kada je ta veza označena kao ona koja se ne koristi. Što je broj kojim se označava kvaliteta i/ili prioritet veći, to je sinkronizacijska veza manje kvalitete i/ili nižega prioriteta.

Analizom je izračunan broj koraka u kojemu svaki pojedini SDH multipleksor prima sinkronizacijski signal od SSU-a. Također je naznačeno to od kojega SSU-a stiže signalizacijski signal. Aplikacija za izračun broja koraka napisana je u *Microsoft Accessu* te su matrice susjedstva prikazane kao tablice u bazi podataka. Matrica susjedstva, odnosno tablica, ima N redova i

stupaca, pri čemu je N ukupan broj SDH multipleksora koji sinkronizacijski signal primaju iz toga izvora uvećan za 1, odnosno za izvor sinkronizacijskoga signala. U slučaju više izvora sinkronizacijskoga signala unutar SDH mreže za svaki se izvor kreira posebna matrica susjedstva.

Razlika između početne konfiguracije sinkronizacije i konfiguracije nakon provedene analize te prednost predloženih konfiguracija prikazani su uz pomoć sljedećih vrijednosti:

- A_{\max} – maksimalan broj koraka sinkronizacije
- $\sum A$ – ukupan broj koraka sinkronizacije jest zbroj koraka sinkronizacije svih SDH multipleksora koji sinkronizacijski signal primaju iz pojedinog SSU-a
- N – broj SDH multipleksora koje sinkronizira pojedini SSU
- $\bar{A} = (\sum A)/N$ – srednji broj koraka sinkronizacije.

6.1. Analiza početnih postavki sinkronizacije

Kao što je izneseno, nakon što su početni podaci uneseni u aplikaciju, dobiveni su rezultati koji su pokazivali to da svi SDH multipleksori sinkronizacijski signal PRC kvalitete dobivaju iz SSU-a Zagreb.

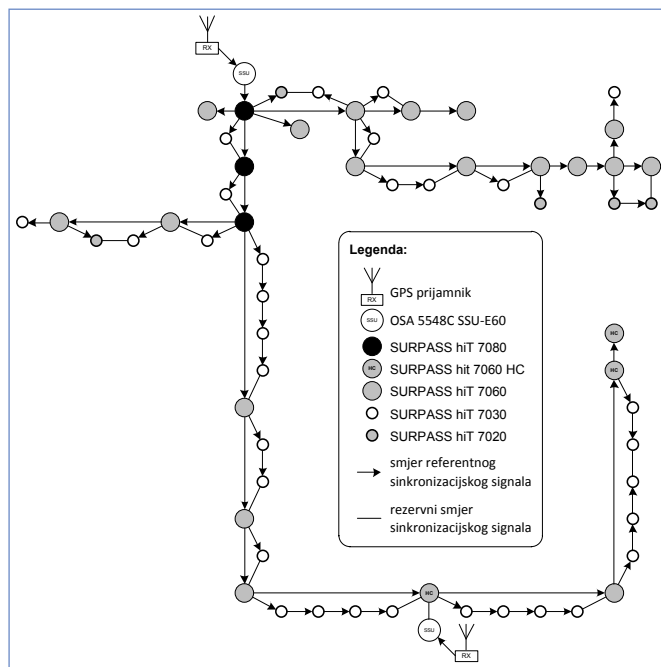
Izračunom koraka sinkronizacije dobivene su sljedeće vrijednosti koje su karakterizirale početnu konfiguraciju:

$$A_{\max} = 11, \sum A = 365, N = 61, \bar{A} = 5,98$$

Na temelju dobivenih vrijednosti za početne postavke vidljivo je to da maksimalan broj koraka sinkronizacije iznosi jedanaest, što je u granicama propisanim ITU-T preporukom G.803. Iako je maksimalan broj koraka sinkronizacije u propisanim granicama, zbog krivih postavki sinkronizacije na SDH multipleksoru Knin sinkronizacija SDH mreže nije tekla onako kako je to bilo zamišljeno. Regeneracije sinkronizacijskoga signala nije bilo na SSU-u Knin. Tok referentnoga sinkronizacijskog signala početnih postavki prikazan je na slici 6.1.

Sljedeći korak analize bio je utvrditi hoće li prilikom kvara SSU-a u Zagrebu sinkronizaciju SDH mreže na sebe preuzeti SSU u Kninu. Također se željelo utvrditi preuzima li u slučaju prekida svjetlovodnoga kabela između Zagreba i Knina SSU Knin sinkronizaciju onog dijela SDH mreže koji je ostao odsječen od Zagreba.

Također se željelo utvrditi pojavljuju li se sinkronizacijske petlje na dijelovima SDH mreže na kojima postoje suprotni smjerovi referentnoga sinkronizacijskog signala i ako se pojavljuju, pod kojim uvjetima. Od Zagreba do Knina SDH mreža sastoji se od šest



Slika 6.1. Početne postavke sinkronizacije

podatkovnih prstena koji se nadovezuju. Prilikom analize u svakome je prstenu simuliran gubitak referentnoga sinkronizacijskog signala, a nakon toga provedeni su analiza tokova sinkronizacijskoga signala po završetku njegove restauracije te izračun brojeva koraka sinkronizacije. Rezultati analize su zabrinjavajući. Utvrđeno je da se na dijelu SDH mreže gdje postoje suprotni smjerovi referentnoga sinkronizacijskog signala pojavljuju sinkronizacijske petlje. Do toga je dolazilo bez obzira na to u kojemu je podatkovnome prstenu između Zagreba i Knina simuliran gubitak referentnoga sinkronizacijskog signala. Posljedica toga problema bila je ta da SSU Knin ne preuzima sinkronizaciju dijela SDH mreže koja je izgubila referentni sinkronizacijski signal iz SSU-a Zagreb. Jedini slučaj kada je SSU Knin preuzeo sinkronizaciju dijela SDH mreže bio je onda kada je simuliran gubitak referentnoga sinkronizacijskog signala na SDH multipleksoru u Kninu. U tome slučaju SSU Knin preuzeo je na sebe sinkronizaciju dijela SDH mreže između Knina i Splita. Jedino je u tome slučaju sinkronizacija mreže radila ispravno i donekle onako kako je to zamišljeno, po metodi izravne distribucije sinkronizacijskoga signala. Izračun proveden aplikacijom za taj slučaj dao je sljedeće vrijednosti:

SSU Zagreb:

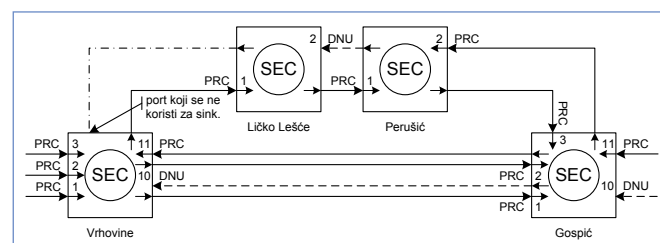
$$A_{max} = 10, \sum A = 242, N = 48, \bar{A} = 5,04$$

SSU Knin:

$$A_{max} = 5, \sum A = 45, N = 13, \bar{A} = 3,46$$

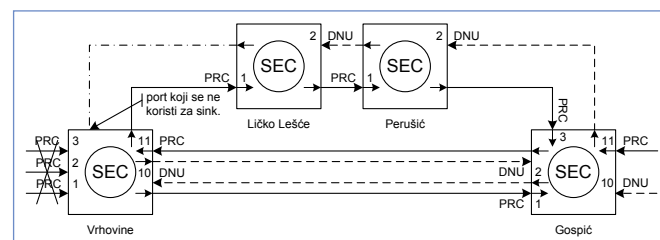
Podatkovni prsten između Vrhovina i Gospića poslužio je za grafički prikaz toka referentnoga signala

u normalnome radu i nakon restauracije sinkronizacijskoga signala prilikom simuliranja gubitka referentnoga sinkronizacijskog signala. Na slici 6.2. vidljiv je tok referentnoga sinkronizacijskog signala u normalnome radu. Između Vrhovina i Gospića postoje dva linka kapaciteta STM-16 (*Synchronous Transport Module – STM*) i na oba je bio dopušten tok sinkronizacijskoga signala u oba smjera. Isti slučaj bio je na svim podatkovnim prstenima na relaciji Zagreb – Knin i na ostalim dijelovima SDH mreže gdje postoje dva linka kapaciteta STM-16 kao veza između dvaju SDH multipleksora. Sporedni su linkovi kapaciteta STM-4 i na njima je obostrani tok sinkronizacijskoga signala dopušten samo na jednome kraju podatkovnoga prstena.



Slika 6.2. Tok sinkronizacijskoga signala tijekom normalnoga rada – početna konfiguracija

Simuliranjem gubitka referentnoga sinkronizacijskog signala uspostavljen je novi tok sinkronizacijskoga signala prikazan na slici 6.3., na kojoj se vidi da je SDH multipleksor Vrhovina kao novi izvor referentnoga sinkronizacijskog signala odabrao sinkronizacijsku referencu s prioritetom 11 te da se pojavila sinkronizacijska petlja Gospić → Vrhovina → Gospić.



Slika 6.3. Završetak restauracije toka sinkronizacijskoga signala – početna konfiguracija

Osim tih problema uočeni su još neki manji nedostaci u konfiguraciji pojedinih SDH multipleksora koji su se uglavnom svodili na nepostojanje zaštitnoga puta sinkronizacijskoga signala, odnosno sinkronizacijski signal mogao se primati samo iz jednoga smjera.

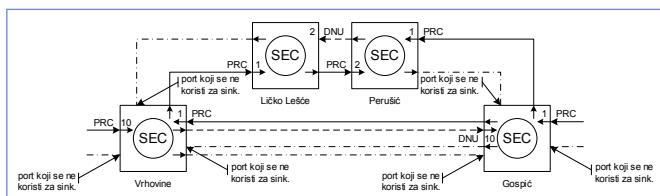
6.2. Otklanjanje uočenih nedostataka

Analizom je utvrđeno postojanje dvaju velikih nedostataka početnih postavki sinkronizacije SDH mreže u HŽ Infrastrukturi. Prvi je nedostatak pojava sinkronizacijskih petlji unutar svih podatkovnih prstena koji se

nalaze između SDH multipleksora Zagreb GK i Knin. Drugi je nedostatak logična posljedica prvoga: u slučaju kvara SSU-a Knin SSU Zagreb na sebe ne preuzima sinkronizaciju SDH mreže, osim u slučaju prekida optičkoga kabela između SDH multipleksora Pađene i Knin. Oba nedostatka proizlaze iz krivo konfiguriranih postavki sinkronizacije pojedinih SDH multipleksora. Neki se nedostaci mogu otkloniti na jednostavan način, dok je za rješavanje drugih poput pojave sinkronizacijskih petlji i nemogućnosti sinkroniziranja cijele SDH mreže iz SSU-a Knin potrebno poštivati određena pravila.

Poštujući pravila prikazana na slici 4.7. pristupilo se promjeni konfiguracije sinkronizacije cjelokupne SDH mreže, a posebna je pozornost posvećena tokovima referentnoga sinkronizacijskog signala u podatkovnim prstenovima između Zagreba i Knina. Sinkronizacija mreže konfigurirana je po metodi izravne distribucije sinkronizacijskoga signala tako da dio mreže sinkronizaciju dobiva iz SSU-a Zagreb, a dio iz SSU-a Knin. U slučaju kvara jednoga od njih ili gubitka GPS signala mreža bi prešla u *master-slave* način rada, a SSU, koji bi radio ispravno, sinkronizirao bi cijelu mrežu.

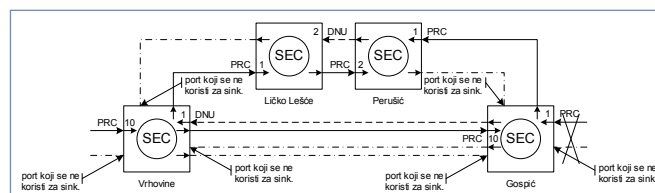
Podatkovni prsten između Vrhovina i Gospića poslužit će za grafički prikaz toka referentnoga sinkronizacijskog signala u normalnome radu i nakon restauracije sinkronizacijskoga signala, a nakon promjene konfiguracije mreže. Na slici 6.4. prikazan je tok referentnoga sinkronizacijskog signala u normalnome radu. Vidi se da na tome podatkovnom prstenu postoje dva smjera referentnoga sinkronizacijskog signala: Gospić → Vrhovine → Ličko Lešće i Gospić → Perušić. S obzirom na to da se referentni sinkronizacijski signal SDH mrežom HŽ Infrastrukture prenosi linkovima kapaciteta STM-16 ili STM-64, na slici 6.4. može se vidjeti to da je samo na jednome linku STM-16 dopušten njegov prijenos u oba smjera. Također je omogućen prijenos referentnoga sinkronizacijskog signala s linkova STM-16(STM-64) na linkove STM-4, ali ne i u obrnutome smjeru.



Slika 6.4. Tok referentnoga sinkronizacijskog signala u normalnome radu – nakon rekonfiguracije

Simuliranjem gubitka primarnoga referentnog sinkronizacijskog signala s prioritetom 1 na SDH multipleksoru Gospić restauriran je tok referentnoga sinkronizacijskog signala, što je prikazano na slici 6.5. S gubitkom referentnoga sinkronizacijskog signala s prioritetom 1 na SDH multipleksoru Gospić SDH multipleksor Vrhovine

vine na ulazu s prioritetom 1 prima SSM poruku DNU (*Do Not Use*). Nakon toga SDH multipleksor Vrhovine traži ulaz s nižim prioritetom na kojemu je sinkronizacijski signal bolje kvalitete. Na ulazu s prioritetom 10 pronalazi sinkronizacijski signal PRC kvalitete te prema SDH multipleksoru Gospić šalje SSM poruku za PRC kvalitetu sinkronizacijskoga signala. Multipleksor u Gospiću tu poruku prima na ulazu s prioritetom 10 te ga odabire kao izvor referentnoga sinkronizacijskog signala. Nakon restauracije uspostavljena su dva smjera referentnoga sinkronizacijskog signala: Vrhovine → Gospić → Perušić i Vrhovine → Ličko Lešće.



Slika 6.5. Završetak restauracije toka sinkronizacijskog signala – nakon rekonfiguracije

S gubitkom referentnoga sinkronizacijskog signala s prioritetom 1 na SDH multipleksoru Gospić SDH multipleksor Vrhovine na ulazu s prioritetom 1 prima SSM poruku DNU (*Do Not Use*). Nakon toga SDH multipleksor Vrhovine traži ulaz s nižim prioritetom na kojemu ima sinkronizacijski signal bolje kvalitete. Na ulazu s prioritetom 10 pronalazi sinkronizacijski signal PRC kvalitete te prema SDH multipleksoru Gospić šalje SSM poruku SDH za PRC kvalitetu sinkronizacijskoga signala. Multipleksor u Gospiću tu poruku prima na ulazu s prioritetom 10 te ga odabire kao izvor referentnoga sinkronizacijskog signala. Po završetku restauracije uspostavljena su dva smjera referentnoga sinkronizacijskog signala: Vrhovine → Gospić → Perušić i Vrhovine → Ličko Lešće.

6.3 Nova topologija SDH mreže HŽ Infrastrukture d.o.o.

Posljedica otklanjanja uočenih nedostataka prilikom analize sinkronizacije bila je promjena tokova referentnoga sinkronizacijskog signala. Nova topologija sinkronizacije prikazana je na slici 6.6.

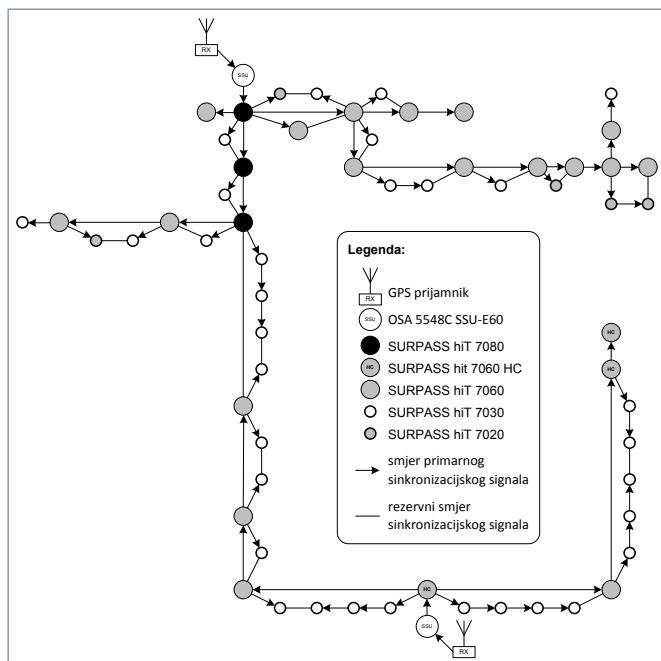
Po promjeni konfiguracije novi podaci uneseni su u aplikaciju za izračun koraka sinkronizacije. Izračun proveden aplikacijom za novu konfiguraciju sinkronizacije SDH mreže dao je sljedeće vrijednosti:

SSU Zagreb:

$$A_{max}=9, \sum A=168, N=37, \bar{A}=4,54$$

SSU Knin:

$$A_{max}=5, \sum A=84, N=24, \bar{A}=3,50$$



Slika 6.6. Topologija sinkronizacije nakon provedene analize

Može se primijetiti to da je srednji broj koraka sinkronizacije manji nego prije početka analize i donekle uravnotežen. Zbog topologije SDH mreže (slika 5.1.) teško se može postići to da srednji broj koraka bude jednak na oba SSU-a.

U slučaju kvara SSU-a Zagreb sinkronizaciju cijele SDH mreže preuzeo bi SSU Knin te su uz pomoć aplikacije dobivene sljedeće vrijednosti:

$$A_{\max} = 15, \sum A = 429, N = 61, \bar{A} = 7,03$$

U slučaju kvara SSU-a Knin sinkronizaciju cijele SDH mreže preuzeo bi SSU Zagreb te su uz pomoć aplikacije dobivene sljedeće vrijednosti:

$$A_{\max} = 11, \sum A = 369, N = 61, \bar{A} = 6,05$$

Nova konfiguracija sinkronizacije u normalnome radu ima manji maksimalni i srednji broj koraka, što se može očekivati jer je sinkronizacija SDH mreže raspoređena na dva SSU uređaja. Posljedica kvara SSU-a Zagreb u novoj konfiguraciji sinkronizacije bila bi porast maksimalnoga i srednjega broja koraka sinkronizacije u odnosu na stanje prije analize. Iako bi prilikom kvara SSU-a Zagreb maksimalan broj koraka zadovoljavao ITU-T, preporuku G.803, on bi bio na samoj granici preporučene vrijednosti. S obzirom na to da se u novoj konfiguraciji sinkronizacije sinkronizacijske petlje ne pojavljuju i da je kvar SSU-a Zagreb malo vjerojatan, takva konfiguracija ima puno više prednosti nego mana. U realnim uvjetima puno je veća vjerojatnost da bi SSU Zagreb izgubio prijam GPS signala te bi tada radio kao SSU, a to bi značilo da bi broj koraka sinkronizacije od

SSU-a Zagreb ponovno kretao od jedan. Kvar SSU-a Knin rezultira rezultatima sličnima onima prije provedene analize. Postoji neznatna razlika u ukupnome broju koraka sinkronizacije, a time i u srednjem broju koraka sinkronizacije, što je posljedica promijenjenih tokova sinkronizacijskoga signala na nekim SDH multipleksorima između SSU-a Zagreb i SSU-a Knin. I u tome je slučaju malena vjerojatnost kvara SSU-a Knin, a vjerojatnije je da bi zbog gubitka GPS signala radio kao SSU, a to bi značilo da bi broj koraka sinkronizacije od SSU-a Knin ponovo kretao od jedan.

7. Ugradnja SSU-a Vinkovci

S porastom broja IP servisa koji se prenose SDH mrežom, a koji imaju ishodište u SDH multipleksoru Vinkovci, pokazala se potreba za ugradnjom još jedne SSU jedinice. Problem nije bio u broju koraka sinkronizacijskoga signala, već u nepostojanju drugoga optičkoga kabela. Posljedica prekida optičkoga kabela bila bi ta da SDH mreža prema Vinkovcima ostane bez referentnoga sinkronizacijskog signala. S obzirom na to da se cjelokupno upravljanje stabilnim postrojenjima električne vuče iz centra daljinskog upravljanja u Vinkovcima obavlja IP servisima preko SDH mreže, posljedica dulje nesinkroniziranosti bila bi opadanje kvalitete servisa pa i potpuni gubitak nadzora. Zbog toga se pristupilo nabavi i ugradnji SSU-a jedinice u Vinkovce i promjeni postavki sinkronizacije SDH mreže na relaciji od Dugog Sela do Vinkovaca.

Od provedene analize sinkronizacije SDH mreže pa do trenutka kada se krenulo u nabavu novoga SSU-a za Vinkovce mreža je nadograđena novim SDH multipleksorima i u određenoj je mjeri promijenjena njezina topologija kako bi se izbjeglo ulančavanje podatkovnih prstena. Simulacija za SSU Vinkovci odmah je uključila i one SDH multipleksore za koje se znalo da će se ugraditi nakon ugradnje SSU-a Vinkovci. Tok referentnoga sinkronizacijskog signala buduće konfiguracije SDH mreže prikazana je na slici 7.1.

Prema prijedlogu nove topologije, u aplikaciju za izračun koraka sinkronizacije uneseni su novi podaci. Izračun proveden aplikacijom dao je sljedeće vrijednosti:

SSU Zagreb:

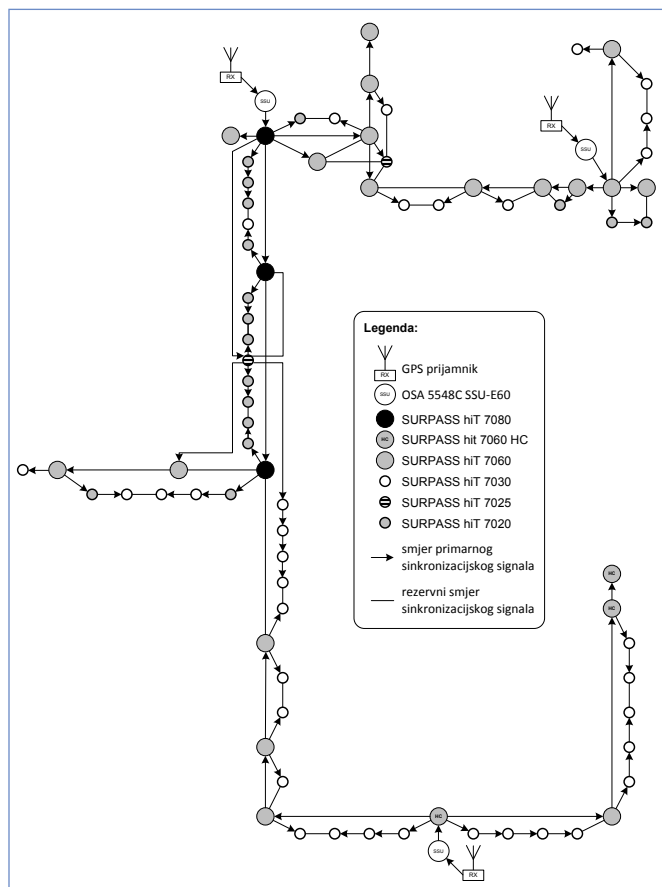
$$A_{\max} = 6, \sum A = 139, N = 39, \bar{A} = 3,56$$

SSU Knin:

$$A_{\max} = 5, \sum A = 89, N = 25, \bar{A} = 3,56$$

SSU Vinkovci:

$$A_{\max} = 5, \sum A = 42, N = 15, \bar{A} = 2,8$$



Slika 7.1. Prijedlog topologije sinkronizacije nakon nadogradnje SDH mreže

U takvoj konfiguraciji sinkronizacije SDH mreže najekstremniji slučaj bio bi kvar SSU-a Zagreb. U tome slučaju, zbog tako uređenih tokova, SSU Knin preuzeo bi sinkronizaciju većega dijela SDH mreže koju u normalnim uvjetima sinkronizira SSU Zagreb.

Za kvar SSU-a Zagreb i predloženu konfiguraciju sinkronizacije dobiveni su sljedeći rezultati:

SSU Knin:

$$A_{\max} = 11, \sum A = 321, N = 52, \bar{A} = 6,0$$

SSU Vinkovci:

$$A_{\max} = 8, \sum A = 105, N = 25, \bar{A} = 4,2$$

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti to da predložena konfiguracija sinkronizacije nakon nadogradnje SDH mreže i SSU-a Vinkovci ima manji maksimalni broj koraka sinkronizacije. Srednji broj koraka sinkronizacije donekle je ujednačen za svaki SSU. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti i to da je predložena konfiguracija nakon nadogradnje SDH mreže ispravna. Dobiveni rezultati potvrđeni su i u praksi ugradnjom SSU-a Vinkovci i novih SDH multipleksora koji su bili uključeni u simulaciju.

8. Zaključak

Izračun broja koraka sinkronizacije uz pomoć matrice susjedstva, i to prije analize sinkronizacije SDH mreže i nakon promjene konfiguracije, omogućio je uvid u postignuta poboljšanja po pitanju maksimalnoga broja koraka sinkronizacije i srednjega broja koraka sinkronizacije. Uz pomoću toga algoritma prije svake veće promjene konfiguracije SDH mreže mogu se testirati predviđene postavke sinkronizacije.

Na temelju analiza, kako početnog stanja tako predloženih rješenja, može se zaključiti to da je neophodno:

- pravilno odrediti prioritete sinkronizacijskih referenci,
- poštovati pravila za protekciju sinkronizacijskih petlji i
- poželjno je da svi elementi SDH mreže podržavaju SSM poruke.

Ispunjavanje navedenih uvjeta osigurat će pouzdanu sinkronizaciju SDH mreže. Osim toga važno je da radnici koji rade na konfiguriranju i održavanju SDH mreže budu upoznati s problemima sinkronizacije kako bi što učinkovitije otklonili moguće nedostatke. Poželjno je i to da svaki SDH multipleksor referentni sinkronizacijski signal može primiti barem iz dva smjera (izvora) jednake kvalitete.

S rastom SDH mreže analiza sinkronizacije mreže i predviđanje kritičnih situacija postaju sve složenije. Koliko god se trudili postavkama i uređajima osigurati sinkroniziranost cijele mreže, u stvarnosti se teško može postići njezina sinkroniziranost u svim uvjetima. Osim nepredviđenih situacija za neke situacije nije ni ekonomski isplativo osiguravati sinkroniziranost.

Cilj je sinkronizacije postići što pouzdaniju sinkroniziranost mreže u svim uvjetima, a u skladu s tehničkim i ekonomskim mogućnostima. One situacije koje nisu pokrivene postavkama sinkronizacije, mogu se kvalitetno riješiti obučenim radnicima koji održavaju SDH mrežu, koji će u što kraćem roku ispravno intervenirati i gubitak prometa kroz mrežu izazvan sinkronizacijom svesti na najmanju moguću mjeru.

Literatura:

- [1] Cazin, K.: Analiza sinkronizacije SDH mreže u hrvatskim željeznicama, Specijalistički rad, 2015.
- [2] Simić, R. K.: Digitalne telekomunikacione mreže - Sinkronizacija SDH mreža, Akademski misao, Beograd, 2004.
- [3] Transmission and Multiplexing (TM); Synchronization network engineering, <http://www.etsi.org/deliver/>

etsi_eg/201700_201799/201793/01.01.01_60/
eg_201793v010101p.pdf

- [4] I G.803 : Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH), <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.803-200003-l/en>

SAŽETAK

SINKRONIZACIJA SDH MREŽE HŽ INFRASTRUKTURE d.o.o.

Za multipleksiranje i prijenos digitalnih signala u prijeznoj mreži HŽ Infrastrukture koristi se tehnologija sinkrone digitalne hijerarhije (Synchronous Digital Hierarchy – SDH). SDH kao transparentna i krajnje pouzdana komunikacijska infrastruktura nadograđivala se usporedo s razvojem optičke okosnice telekomunikacijske mreže HŽ Infrastrukture. Sinkronizacija SDH mreže HŽ Infrastrukture također je imala svoj razvojni ciklus: od početne faze praktički bez sinkronizacije preko sinkronizacije E1 signalom iz SDH mreže mađarskih željeznica pa do sadašnjega stanja kada sinkronizaciju osiguravaju tri SSU jedinice za distribuciju sinkronizacijskoga signala (Synchronisation Supply Unit – SSU) s prijamicima signala sustava globalnoga pozicioniranja (Global Positioning System – GPS). Tijekom višegodišnjega praćenja rada SDH mreže HŽ Infrastrukture uočeni su određeni propusti u konfiguraciji mrežnih entiteta vezani uz sinkronizaciju mreže obrađeni u radu. Prikazane su promjene postavki sinkronizacije SDH mreže do kojih se došlo dubinskom analizom složenoga problema sinkronizacije, a koje su već implementirane u SDH mreži HŽ Infrastrukture, dakle testirane su u realnim uvjetima rada SDH mreže.

UDK: 656.26

Adresa autora:

Krunoslav Cazin, mag. ing. el., univ. spec. el.
HŽ Infrastruktura d.o.o.
krunoslav.cazin@hzinfra.hr

SUMMARY

SYNCHRONIZATION OF HŽ INFRASTRUKTURE d.o.o.
SDH NETWORK

Synchronous Digital Hierarchy (SDH) technology is used for multiplexing and transmission of digital signals in the HŽ Infrastruktura transport network. SDH, as a transparent and extremely reliable communication infrastructure, was upgraded in parallel with optical backbone development of the telecommunications network of HŽ Infrastruktura. The synchronization of the HŽ Infrastruktura SDH network also had its development cycle: from the initial phase with virtually no synchronization, through E1 signal synchronization from the SDH network of Hungarian railways, to the present state when synchronization is provided by three SSUs for synchronization signal distribution (Synchronisation Supply Unit – SSU) with Global Positioning System (GPS) signal receivers. During many years of monitoring the HŽ Infrastruktura SDH network operation, certain deficiencies were observed in the configuration of network entities related to network synchronization, covered in this paper. Changes to SDH network synchronization settings are presented, which were obtained by in-depth analysis of a complex synchronization problem, and have already been implemented in the SDH network of HŽ Infrastruktura, which means they were tested in real conditions of SDH network operation.

PODUPIRUĆE ČLANICE HDŽI-a

