

**MERNI INFORMACIONI SISTEMI
U REPUBLIČKOM SEIZMOLOŠKOM ZAVODU**

*Zemljotresi su kao mali fenjeri
koji pred očima našeg razuma
osvetljavaju zemljinu unutrašnjost*

Mr Slavica Radovanović

Beograd januar 2013.godina

SADRŽAJ

UVOD.....	3
1. ISTORIJSKA OSNOVA SEIZMOLOŠKIH MERENJA	4
2. SEIZMOLOŠKA MERENJA U SRBIJI –RAZVOJ.....	6
3. MERNI INFOREMACIONI SISTEMI –OSNOVA	
MODERNE DIGITALNE NACIONALNE SEIZMOLOŠKE MREŽE.....	9
3.1 Seizmički senzori.....	9
3.2 Seizmički rekorder i digitalizator.....	12
3.2.1. ADC- Analogno digitalna konverzija.....	13
3.3 Prenos kontinualnih seizmičkih podataka u realnom vremenu.....	14
3.3.1. Format podataka.....	15
3.4. Arhiviranje i razmena podataka.....	17
3.5. Automatska obrada podataka.....	18
3.5.1 Izveštavanje – uzbunjivanje.....	20
3.5.2. Publikovanje podataka na internet prezentaciji.....	21
3.6. Rutinska obrada podataka.....	22
4. KONFIGURACIJA NACIONALNE SEIZMOLOŠKE MREŽE.....	22
5. ZAKLJUČAK.....	26
6. LITERATURA.....	27

UVOD

Merni informacijski sistem po primeni u seizmologiji predstavlja registrovanje, obradu i prenos mernih, analognih i digitalnih signala; merenje u geografski-distribuiranim procesnim sistemima, primenu personalnih računara kao kontrolera mernog sistema, primenu telekomunikacionih uređaja u prenosu, skladištenju, memorisanju, preuzimanju, proračunu i manipulisanju podacima sa primenom standarda za daljinski nadzor, kontrolu i prenos mernih podataka u svrhu analize i proračuna. Nagli razvoj mernih informacijskih sistema poslednjih decenija imao je ključni uticaj na razvoj seizmologije i to u segmentu registrovanja zemljotresa, prenosa podataka u centralnu stanicu, automatskog lociranja, izdavanja upozorenja, publikovanja i razmene podataka između seizmoloških stanica, arhiviranja i manipulisanja podacima.

Skoro jedan vek, jedini parametar očitao sa seizmograma (vreme nastanka nekog od seizmičkih talasa) razmenjivan je sa drugim stanicama i redovno prosleđivan domaćim i međunarodnim centrima podataka za dalju obradu (u početku poštom a kasnije telegrafski). Tradicionalno su zemljotresi registrovani na papiru, zapisi analognih senzora, preglomazni za rukovanje, podložni oštećenjima ili čak gubitku, a bez mogućnosti da po niskim cenama budu kvalitetno kopirani, vrlo su retko razmenjivani.

Osnovna svrha seizmoloških mreža je: određivanje lokacije zemljotresa i njegove magnitude, izdavanje upozorenja, praćenje seizmičnosti za opšte ili posebne namene i prikupljanje podatke za istraživanja unutrašnjosti Zemlje. Primarni cilj je, međutim, brzo i tačno utvrđivanje lokacije zemljotresa. Glavni elementi seizmološke stanice su: šaht za smeštaj senzora, seizmometri, digitalizator/rekorder, prijemnik signala tačnog vremena, jedinica za memorisanje podataka i komunikacije. Sem digitalizatora, svi ostali elementi seizmološke stanice su samo tehnički i tehnološki usavršavani. Tako je precizan mehanički sat zamenjen prijemnikom signala tačnog vremena koji se emituje sa satelita, mehaničke seizmometre su zamenili elektromagnetni, zapis na hartiji zamenjen je digitalnim zapisom a komunikacija se sada ne obavlja poštom i telegrafom već satelitskim, bežičnim i ADSL internetom.

Razvoj komunikacionih tehnologija i njena široka dostupnost omogućavaju prenos podataka o registracijama zemljotresa, razmenu i skladištenje. I ako sve do nedavno nije postojao opšteprihvaćeni standard digitalnog formata za zapis zemljotresa, ipak su se digitalni seizmogrami skladištili i razmenjivali zahvaljujući mogućnosti konverzije iz jednog u drugi format. Standardizovanje formata značajno je povećalo upotrebljivost digitalnih seizmograma.

Od 1990. godine, seizmološke mreže, upravo kao posledica razvoja mernih informacijskih sistema i informacijskih tehnologija, većinu podataka registruju, čuvaju i razmenjuju u modernim formatima u realnom vremenu koji su kompletniji, jednostavniji i transparentniji. Savremene internet komunikacije, sa relativno niskim troškovima, omogućile su, u poslednjoj deceniji, formiranje realnih i virtuelnih seizmoloških mreža. Sa razvojem globalnih komunikacija seizmološke mreže su postale lokalne, regionalne i globalne. Razlika među seizmološkim mrežama, danas primarno nije u načinu prenosa podataka, tačnosti vremenske baze, ili protoku vremena između akvizicije i analize, nego u: cilju istraživanja, prostornoj

razoluciji i kvalitetu podataka u smislu frekventnog sastava i dinamičkog opsega registrovanih signala.

1. ISTORIJSKA OSNOVA SEIZMOLOŠKIH MERENJA

Većina onoga što danas znamo o unutrašnjoj strukturi i fizičkim osobinama Zemlje, a time i o unutrašnjim silama koje pokreću tektonske ploče i generišu najvažnije geološke procese, potiče od analize merenja seizmoloških pojava. Seizmologija nastavlja da bude osnovno sredstvo za ispitivanje kinematike i dinamike geoloških procesa na svim nivoima. Sa kontinuiranim napretkom u seizmološkim metodama nadamo se boljem razumevanju, predviđanju i korišćenju geološke sredine sa brojnim koristima kao i opasnostima po ljudsko društvo.

Emil Vihert (1861-1928), profesor geofizike u Getingenu, Nemačka, konstruktor poznatih ranih mahaničkih seizmografa nazvanih po njemu, imao je sledeći moto „stena koja podrhtava nosi vest iz daljine - čitaj znake! ". On je takođe smatrao da je vrhovni cilj seizmologije da "razume svaki pokret" u seizmičkom zapisu.

Pre 1960. godine, u svetu su generalno postojale samo pojedinačne seizmološke stanice koje su radile samostalno. Seizmološka stanica je svoja merenja- registracije , obično dostavljala na neku centralnu lokaciju u kojoj je vršena sistematizacija, obrada i proračun podataka. Međutim, kašnjenje između merenja, snimanja i rutinske obrade je bilo veoma veliko u poređenju sa modernim seizmološkim mrežama. Od šezdesetih godina, počele su sa radom prve seizmološke mreže. To su uglavnom bile mreže za registrovanje slabih zemljotresa, sa razdaljinom između stanica od nekoliko kilometara do nekoliko stotina kilometara.

Ključni element, koji je činio da samostalne seizmološke stanice postanu seizmološka mreža je bio prenos podataka u realnom vremenu u centralnu stanicu, provodnikom ili radio vezom, gde su svi podaci registrovani u jedinstvenom, centralnom, referentnom vremenskom sistemu. Jedinstvena vremenska baza omogućavala je precizno relativno vreme među stanicama što je dalo osnova za povećanje tačnosti lokacije zemljotresa. U početku je sistem za registraciju bio analogan da bi tokom godina postao skoro usključivo digitalan.

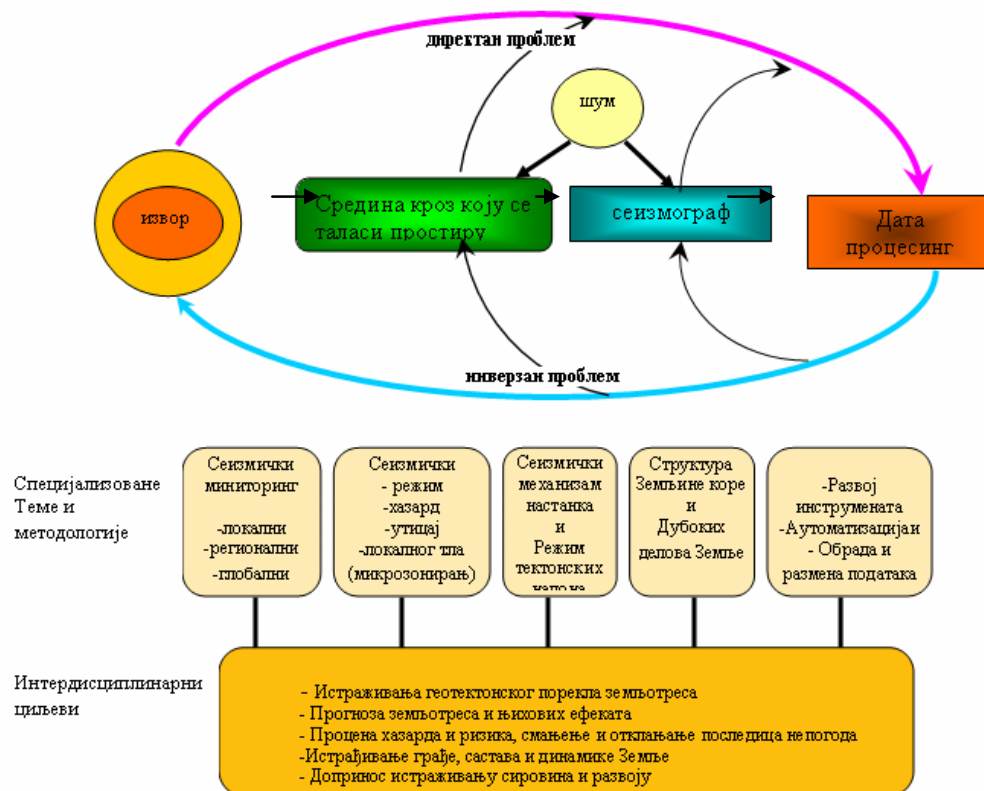
Uprkos ogromnom napretku koji je postignut od vremena Viherta još uvek nije postignut cilj koji je on postavio, razumevanja informacije sadržane u svakom „pokretu“ na seizmogramu, i pored:

- * savremenih seizmičkih senzora, koji omogućavaju registrovanje seizmičkih talasa u vrlo širokom frekventnom opsegu sa izuzetno visokom rezolucijom i unutar mnogo većeg dinamičkog opsega nego što je to bilo moguće u vreme analogne seizmologije, kao i postojanja napredne digitalne akvizicije podataka;
- savremenih kompjuterskih hardvera i softvera za raznovrsnu analizu koji značajno olakšavaju zadatak sveobuhvatne i tačne analize seizmograma, što omogućava da se

rutinski utvrde parametri koji su bili daleko izvan okvira analize seizmograma pre nekoliko decenija;

- preciznog vremena registrovanja i očitavanja seizmograma u GPS eri;
- naglog širenja brzih globalnih komunikacijskih sistema, koji u velikoj meri eliminišu tehničke probleme pri slanju merenih podataka na daljinu, i unapređuju razmenu podataka kompletnih talasnih slika u realnom vremenu.

Seizmologije je komplikovani sistem, "lanac informacija" sa brojnim međusobno povezanim podsistemima, kao što su: seizmički izvor, prostiranje seizmičkih talasa kroz Zemlju, maskiranje i izobličenja „korisnog signala“ prisustvom šuma i uticajem seizmičkih senzora, rekordera i tehnika procesiranja seizmičkog signala (slika 1). Tek definisanjem modela koji bi sve navedene uticaje mogao logično da predstavi mogli bi smo da interpretiramo "svaki pokret" u seizmičkom zapisu.



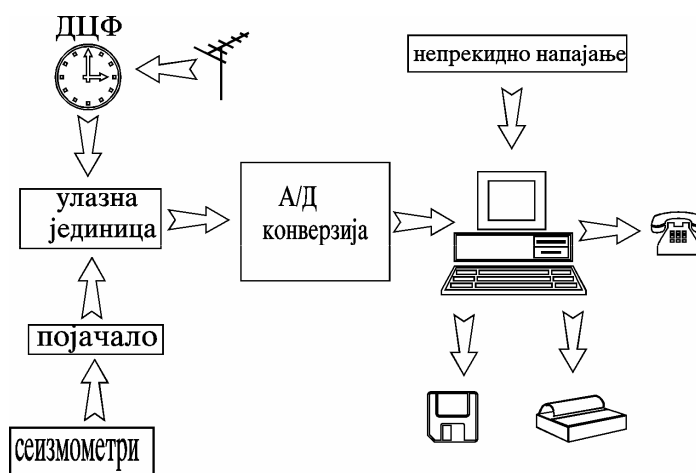
Slika 1. Dijagram koji ilustruje seizmologiju kao analizu složenog informacionog sistema povezanu sa različitim specijalizovanim i interdisciplinarnim zadacima istraživanja

2. SEIZMOLOŠKA MERENJA U SRBIJI -RAZVOJ

Prvi korak u razvoju seizmologije u Srbiji učinjen je posle rušilačkog zemljotresa 7. aprila 1893. godine sa epicentrom kod Svilajнца. Geološki zavod Velike škole u Beogradu je tada na inicijativu akademika Jovana Žujovića, upravnika, i profesora Svetolika Radovanovića, započeo prikupljanje podataka o zemljotresima. Ova prva orga-nizacija seizmološke službe funkcionisala je samo nekoliko godina. Filozofski fakultet Univerziteta u Beogradu je 1906. godine doneo odluku o izgradnji objekta Seizmološkog zavoda na Tašmajdanu čime je započeto sistematsko proučavanje zemljotresa na teritoriji Srbije. Posle mnogih promena statusa, tokom stogodišnjeg perioda, koje su nepovoljno uticale na njegov rad, Zavod je konačno 1995. godine Zakonom o Republičkom seizmološkom zavodu postao posebna organizacija koja obavlja poslove od interesa za Republiku.

Prvi mehanički seizmografi instalirani su 1909. godine, a u junu 1910. godine na instrumentima je registrovan prvi zemljotres. U toku Prvog svetskog rata sav inventar Zavoda je uništen, a instrumenti polomljeni i pokvareni. Posle opravke instrumenata, Zavod je ponovo počeo da radi 1921. godine. Mehanički instrumenti tipa Vihert, koje je Zavod dobio 1929. godine na ime ratne reparacije, postali su osnova instrumentalnog registrovanja zemljotresa sve do 1980. godine.

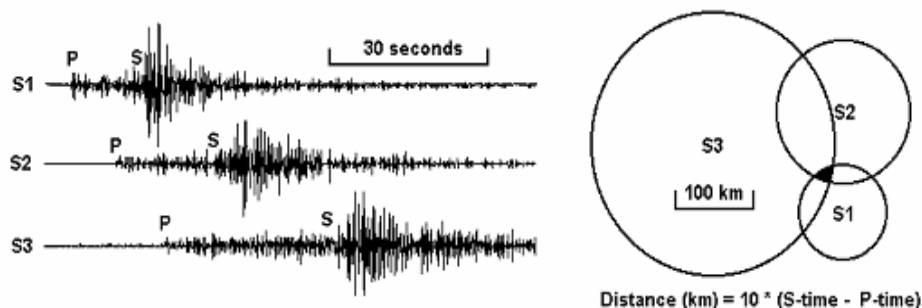
U periodu 1991.-2001. godine u Republičkom seizmološkom zavodu razvijen je sistem DASA (Digitalna Automatska Seizmološka Akvizicija). Sistem se sastojao od analo-gnih senzora, 12-bitnog digitalizatora, kompjutera za akviziciju i prijemnika radio signala tačnog vremena DCF (kasnije GPS) (slika 2). Stanica je radila u trigerung odnosno okidačkom režimu (zapisivanje samo događaja koji ispunjavaju unapred zadati uslov). Kompjuterski program za zapisivanje digitalnih podataka na hard-disku, u nestandardnom formatu razvijen je u Zavodu.



Slika 2. Blok šema seizmološke stanice DASA

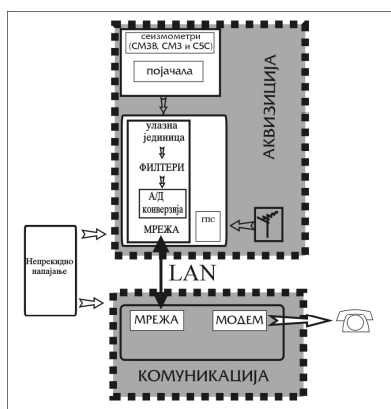
Do 2001. godine broj samostalnih seizmoloških stanica je porastao na 11, ali prenos podataka u centralnu stanicu nije ostvaren a razmena digitalnih zapisa je bila otežana zbog specifičnosti formata koji je korišćen.

Minimalan broj seizmoloških stanica, neophodan za proračunom prostornih parametara zemljotresa (geografske širine i dužine, dubine hipocentra i vremena nastanka zemljotresa je tri seizmološke stanice (slika 3). Hipocentralno rastojanje može se za svaku stanicu izračunati nezavisno, a na osnovu razlike u vremenu nailazaka longitudinalnih P i transversalnih S talasa. Seizmološku mrežu dakle, čini najmanje tri seizmološke stanice.



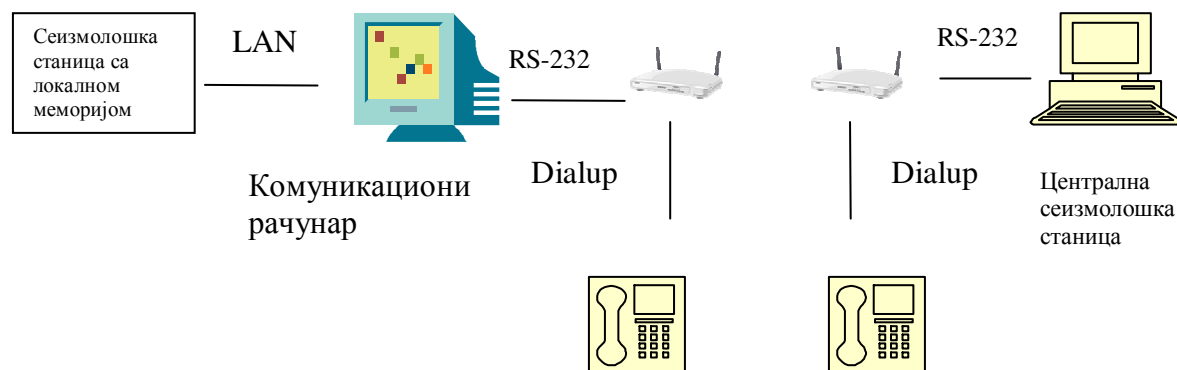
Slika 3. Izgled seizmograma sa naznačenim nailascima seizmičkih talasa P- longitudinalni i S - transversalni i geometrijskim prikazom lociranja zemljotresa

U toku 2001. godine, po prvi put su bili instalirani sistemi za komunikaciju koje su činili, računar sa odgovarajućim softverom koji je podržavao prenos podataka pomoću modema preko telefonskih parica sa 3 seizmološke stanice. Po programiranom rasporedu poziva, digitalni seizmogrami su prikupljani sa terenskih seizmoloških stanica u centralnoj stanici u Beogradu. Analizu seizmograma i lociranje zemljotresa obavljao je seizmolog. U najboljem slučaju, u roku od 30 minuta od događanja zemljotresa, bilo je moguće davanje informacija o tačnoj lokaciji i jačini. Blok šema seizmološke stanice DASA 2 prikazana je na slici 4. a sistem prenosa podataka na slici 5.



Slika 4. Blok šema seizmološke stanice DASA 2

Sa prvim prenosom digitalnih podataka o registrovanom zemljotresu u centralnu stanicu u Beogradu započinje sa radom i Nacionalna seizmološka mreža.



Slika 5. Digitalni prenos podataka u centralnu seizmološku stanicu
Period 2001-2005. godina

Kontinualno usavršavanje nacionalne seizmološke mreže u poslednjoj deceniji odvijalo se u nekoliko pravaca, zahvaljujući najviše primeni savremenih mernih informacionih sistema koji su omogućili: digitalizovanje analognih, procesiranje digitalnih signala, merenje u geografski-distribuiranim procesnim sistemima, prenos signala satelitskim, bežičnim i ADSL internetom.

Ostvarena unapređenja seizmološke mreže su:

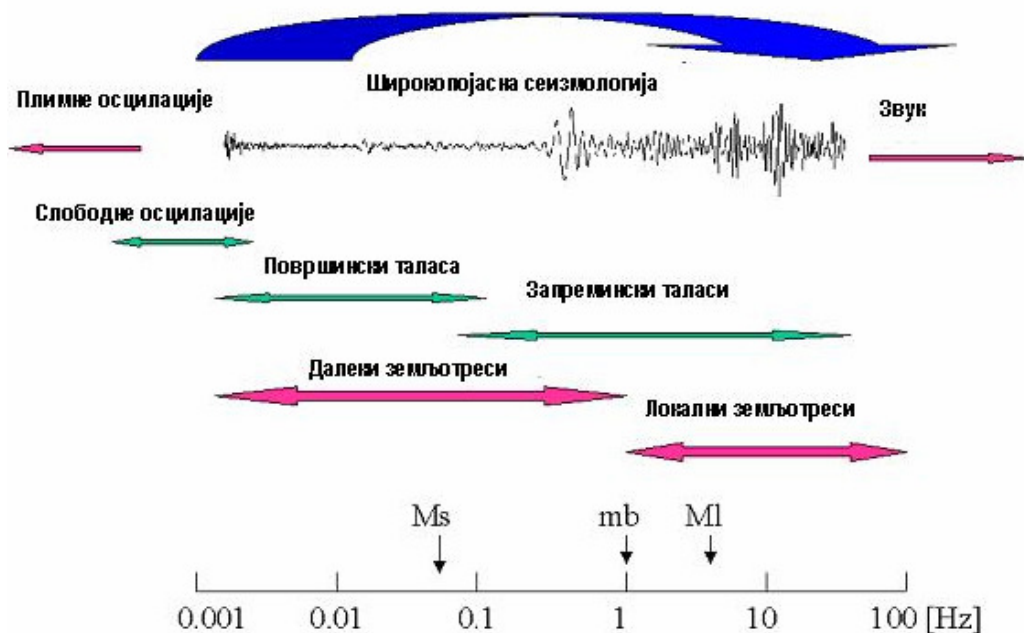
- Instaliranje širokopojasnih seizmometara;
- Uspostavljanje mreže akcelometara;
- Primena savremenih 24-bitnih digitalizatora zamenila je već prevaziđene 12-bitne digitalizatore;
- Ostvaren je kontinualni prenos neprekidnog seizmološkog zapisa u realnom vremenu;
- Formirana je virtuelna seizmološka mreža koja obuhvata pored nacionalnih i akviziciju podataka preko 50 seizmoloških stanica iz regiona;
- Uspostavljena je automatska obrada podataka sa izdavanjem upozorenja o dogođenom zemljotresu, koje se u odgovarajućoj formi dostavlja u međunarodne seizmološke centre, nadležnim državnim organima, medijima i na internet prezentaciju Zavoda;
- Podaci o punom zapisu se kontinualno razmenjuju sa svim zainteresovanim seizmološkim mrežama regiona i globalno.

3. MERNI INFORMACIONI SITEM -OSNOVA MODERNE DIGITALNE NACIONALNE SEIZMOLOŠKE MREŽE

Savremenu digitalnu seizmološku mežu čine terenske seizmološke stanice čiji se podaci o merenjima oscilovanja tla preko determinisanih komunikacionih kanala prenose u centralnu stanicu. Po prijemu signali se zapisuju i analiziraju, automatski ili od strane seizmologa. Na terenskoj seizmološkoj stanici signal iz analognog senzora se digitalizuje i dobija vremensku marku. Sve operacije omogućavaju kompjuterski ili procesorski bazirani sistemi sa odgovarajućim softverom. Iz navedenog se lako da zaključiti, da sem senzora koji su analogni, najveći deo seizmološke opreme pripada grupi digitalnih mernih uređaja.

3.1. Seizmički senzori

Koristan seizmički signal, koji je predmet merenja, u zavisnosti od cilja istraživanja, obuhvata frekventni opseg od 0.001 do 100Hz. Na slici 6. prikazani su predmet seizmoloških istraživanja i frekventno područje u kome su informacije od značaja.

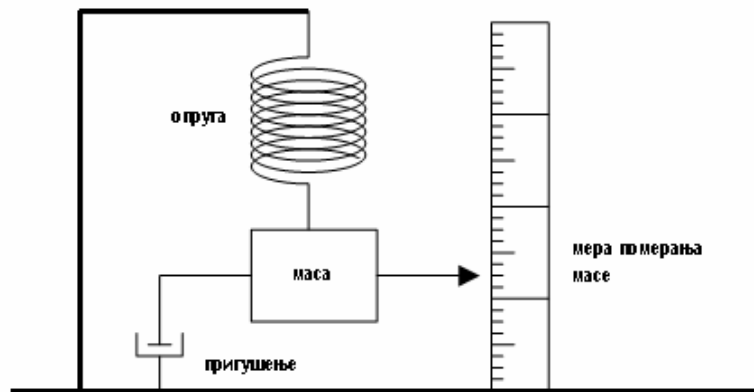


Slika 6. Frekventni opseg seizmičkog signala prema cilju istraživanja

Prema opsegu frekvencija u kome mogu da mere seizmički signal, seizmometri se dele na SP-kratkoperiodične (0.5-50Hz), BB-širokopojasne (0.008-50Hz) i VBB-široko-širokopojasne (0.003-50Hz).

Postoje dve osnovne vrste seizmičkih senzora: inercioni seizmometri, koji mere relativno kretanje tla u odnosu na inercijalni sistem (obešenu masu-klatno) i ekstenziometri koji mere relativno pomeranje jedne tačke tla u odnosu na drugu. Kako su relativna kretanja u odnosu na absolutna, znatno veća, to ih je jednostavnije registrovati pa su u rutinskim seizmološkim

istraživanjima skoro isključivo zastupljeni inercioni seizmometri. Fizički princip inercionog seizmometra prikazan je na slici 7.

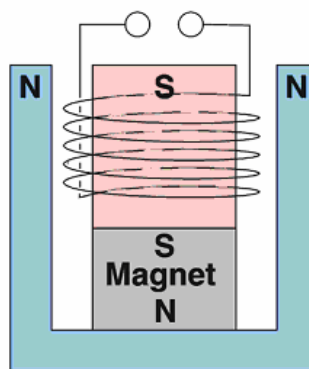


Slika 7. Fizički princip mehaničkog seizmometra-pretvarača pomeranja

U zavisnosti od tipa prigušenja seizmometri sa klatnom mogu biti mehanički ili elektromagnetni.

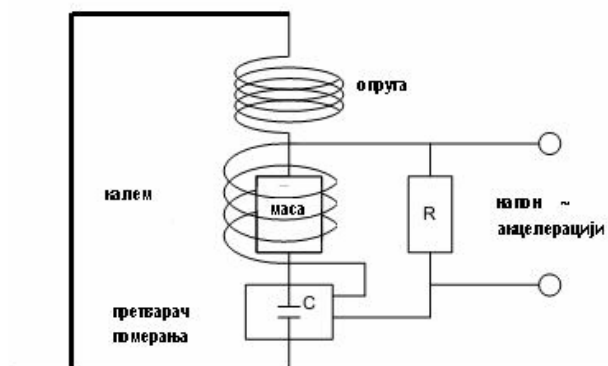
Svi klasični seizmografi tipa Vichert i Minka su tip inercionih seizmometra sa mehaničkim prigušenjem, i danas, uglavnom kao i u Beogradu predstavljaju deo muzejskih postavki seizmoloških opservatorija.

Inercioni seizmometar sa elektromagnetnim prigušenjem (slika 8.) na izlazu daje napon koji je proporcionalan brzini mase klatna u odnosu na referentni sistem -površinu tla. Svi kratko-periodični seizmometri SM3 i S5S u Nacionalnoj mreži su senzori ovog tipa odnosno velosimetri. Ograničenje ovog tipa seizmometra je što se brzina smanjuje sa frekvencijom i ima vrednost nula na frekvenciji nula čak i kada postoji stalno/permanentno ubrzanje.



Slika 8. Princip rada elektromagnetnog senzora - pretvarača brzina

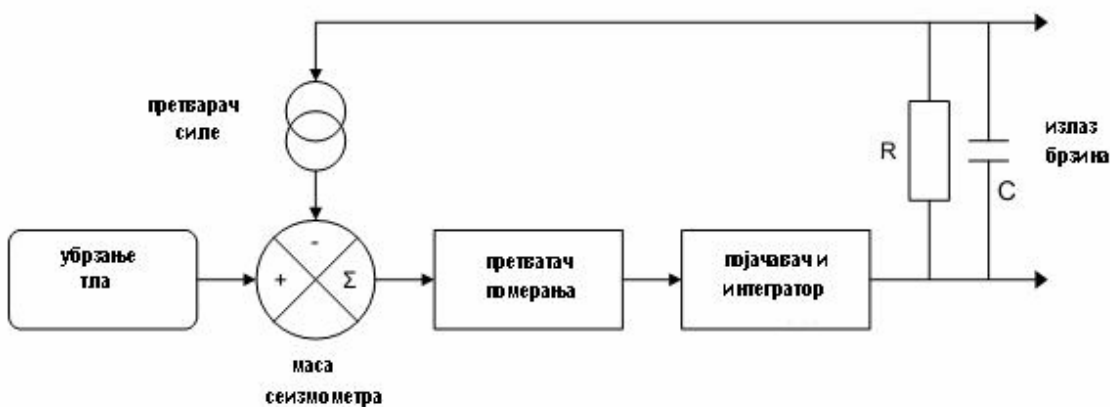
Treća grupa seizmičkih senzora su Force Balanced Accelerometer (FBA) (slika 9.)



Slika 9. Princip rada Force Balanced Accelerometer (FBA)

Ovaj tip seizmičkog senzora ima kalem za uravnoteženje koji može da generiše elektromagnetnu silu jednaku po intezitetu a suprotno orijentisanu sili inercije koja dejstvuje na masu. Elektromagnetna sila odgovara najvećoj akceleraciji koju želimo da merimo. Struja koju generiše pretvarač pomeranja suprotstavlja se svakom kretanju mase u odnosu na referentni sistem. Struja je linearno proporcionalna ubrzanju tla, pa je napon na otporniku direktna mera akceleracije. Na ovom principu funkcionišu akcelometri tipa EpiSensor.

Princip sile uravnoteženja (FBA) je ključni princip u savremenim širokopolasnim seizmometrima (0.001 do 50 Hz). Za razliku od akcelometra, kod koga je na izlazu napon proporcionalan ubrzanju, u ovom slučaju struja se iz pretvarača pomeranja, pojačava i delimično integriše, a kondenzator na izlazu generiše izlaz proporcionalan brzini (slika 10.).



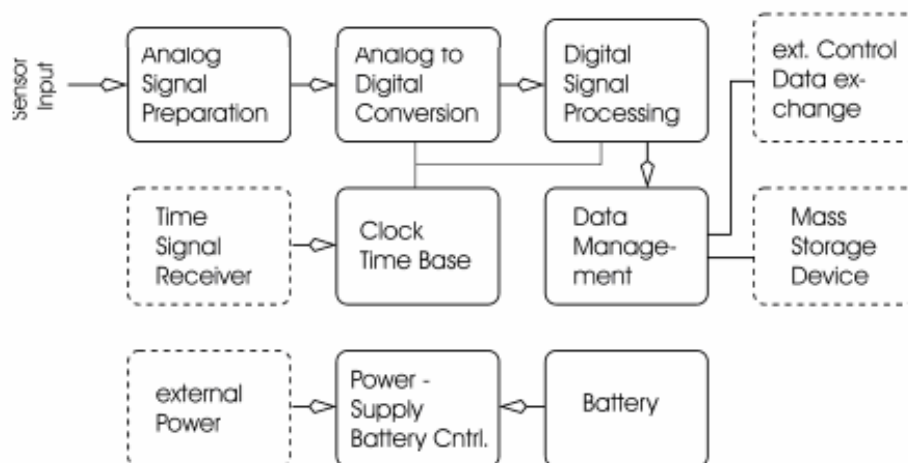
Slika 10. Princip rada (FBA) za brzinom na izlazu

Na ovom principu rade širokopolasni seizmometri tipa STS1, STS2 i PBB-200S koji čine okosnicu seizmološke mreže Srbije.

3.2. Seizmički recorder i digitalizator

Uređaj za snimanje- *recorder* je autonoman uređaj dizajniran da digitalizuje signal iz seizmometra i snimi ga. Digitalizator šalje signal za memorisanje uređaju sa kojim je povezan preko LAN-a, USB ili RS232 porta. Opseg korisnog seizmičkog signala je za regionalna i lokalna istraživanja, kojima se bavi Zavod, od 0.05Hz -100Hz.

Osnovne komponente *recorder-a* prikazane su na slici 11. a isprekidanom linijom su označeni opcioni moduli.



Slika 11. Osnovne komponente seizmičkog recorder-a

Kondicioniranje i priprema ulaznog signala -ASP je naročito značajna kod primene pasivnih elektrodinamičkih senzora, jer impedanca *recorder-a* utiče na osetljivost i frekventni odziv samog senzora. Većina senzora u Nacionalnoj mreži su kratkoperiodični pasivni seizmometri tipa SM3 i S5S. Za aktivne širokopojasne senzore STS-1, STS,-2 i PBB-200S uticaj ulazne impedance se može zanemariti. Ulazna jedinica ima i zaštitnu ulogu od elektrostatičkih pražnjenja na ulazu –ESD *protection*. U ovom delu je smešten i predpojačavač koji sa analogno digitalnim konverterom-ADC određuje rezoluciju *recorder-a*, izraženu preko odnosa (volt/ odbirak). Predpojačavač mora da ispuni nekoliko zahteva, kao što su: linearnost (amplitudna i fazna), nizak elektronski šum, brz oporavak po zasićenju i mala potrošnja energije.

Analogni filteri *recorder-a* Quantera konstruisani su kao visokopropusni analogni filteri za uklanjanje DC-ofseta i dugoperiodičnog pomaka/*drift-a* iz merenog signala. Zbog uticaja temperaturnih promena na mehaničke delove seizmometara, pojavljuje se na zapisu niskofrekventni otklon od nulte linije. Visokopropusni filteri su namenjeni i maskiranju ovog temperaturnog otklona. Niskopropusni *anti-aliasing* filteri filtriraju signal pre ulaska u analogno digitalni konvertor-ADC.

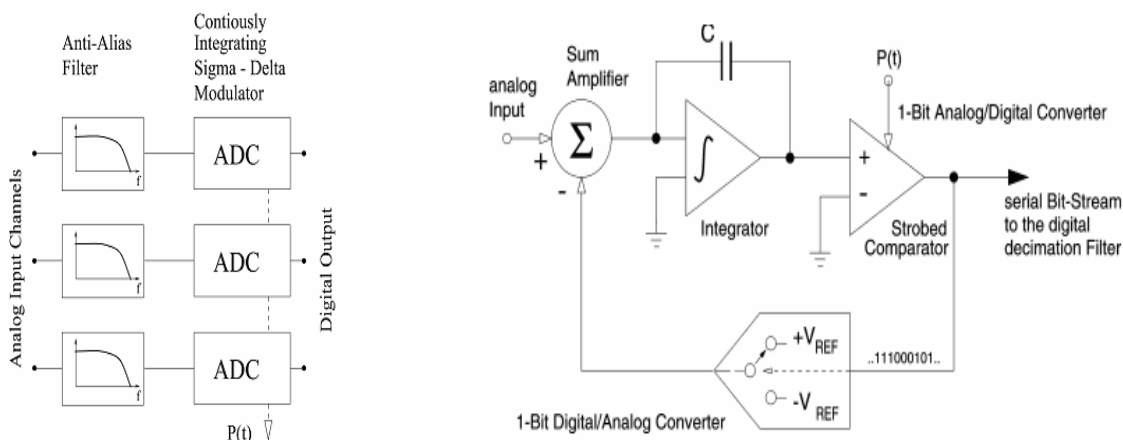
Digitalni filteri imaju ključnu funkciju u procesu oversampling-a. Koncept ove metode je povećanje odnosa signal/šum koji se postiže primenom digitalnog niskopropusnog filtra, kojim se filtriraju iz signala sve frekvencije iznad $f_s/2$, pri čemu je f_s frekvencija uzorkovanja t.j. frekvencija *oversampling*-a.

3.2.1. ADC- Analogno digitalna konverzija

Posle filtriranja, analogni signal se uzorkuje i konvertuje u digitalne vrednosti. Konverzija kontinuiranog analognog signala u digitalnu vremensku seriju podataka zasniva se na kvantizaciji u odnosu na vreme i amplitudu. Kako se digitalni domen sastoji samo od konačnih dužina digitalne reči, koje moraju da predstavljaju kontinuirani signal, korak konverzije proizvodi grešku kvantizacije.

Za potrebe regionalnih i lokalnih izučavanja korak uzorkovanja od 100 Hz je sasvim dovoljan, dok je za prouzvano izučavanje dalekekih zemljotresa dovoljan i korak od 20 Hz.

U savremenim sistemima za prikupljanje podataka, ne postoji jasna podela između Analogno digitalne konverzija i Digitalne obrada signala, kao što je prikazano na slici. 12. ADC ima funkciju i digitalne obrade signala u svrhu postizanja visoke rezolucije, velikog odnosa signal-šum i visoke dinamike. Primenjene tehnike se zasnivaju na kontinuiranoj integraciji i *oversampling*-u u kombinaciji sa pažljivo dizajniranim digitalnim nisko-propusnim filterima. U seizmičkim *recorder*-ima tipa Quantera i digitalizatoru Wave24, koji su u upotrebi u Srbiji, Delta-Sigma modulator se koristi kao analogno digitalni konvertor ADC.

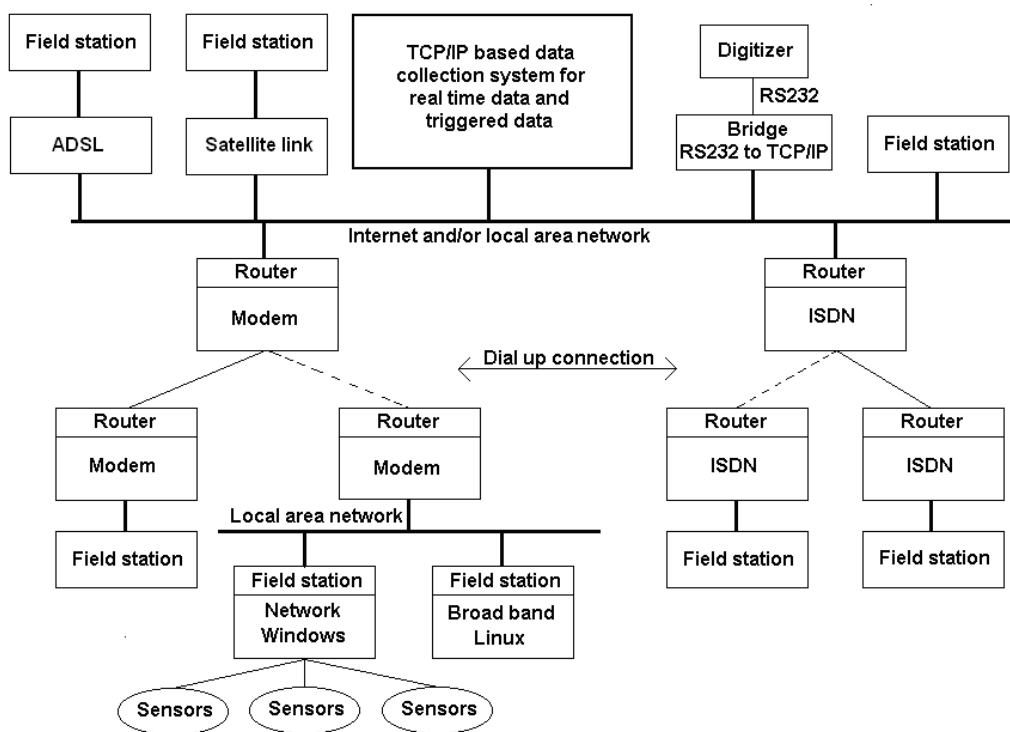


Slika 12. ADC koncept digitalnih *recorder*-a Quantera i WAVE24 sa Delta-Sigma modulatorom

3.3. Prenos kontinualnih seizmičkih podataka u realnom vremenu

Uspeh funkcionisanja seizmološke mreže počiva uglavnom na pouzdanosti i kvalitetu sistema za prenos podataka, bilo posebnim linijama ili internetom. Ključ dobijanja brze informacije je u pouzdanom prenosu podataka u centralnu stanicu gde se vrši automatska obrada i lokacija zemljotresa. Nacionalna seizmološka mreža Srbije je potpunu transformaciju ostvarila povezivanjem svih seizmoloških stanica u realnom vremenu. Centralna stanica je povezana sa terenskim, koristeći satelitski, bežični i ADSL internet uz primenu softvera koji obezbeđuje pouzdanu akviziciju podataka. Na taj način savremeni evropski standardi organizacije seizmološke mreže su dostignuti.

Sumarni prikaz načina digitalne komunikacije i prenosa podataka u seizmološkoj mreži Zavoda prikazan je na slici 13. Duplex kao način komunikacije sa seizmološkim stanicama u cilju prenosa digitalnih podataka omogućava primenu različitih metoda kontrole grašaka u prenosu kao što su *CS-simple parity check* i *CRC- error detection*. Po utvrđivanju greške u prenosu, prenos bloka sa greškom se ponavlja. Na ključnim stanicama postoji bar jedan rezervni način komunikacije ili najgoreg slučaju to je komunikacija telefonskim *dialup*-om.



Slika 13. Oblici digitalne komunikacije i prenosa digitalnih podataka u seizmološkoj mreži Srbije

Protokol za kontinualni prenos podataka je *SEEDLink protocol*. Program na strani udaljene seizmološke stanice, emituje preko odgovarajućeg kanala (*socket-a*), pakete od 512 bajtova

podataka, kojima softver iz centralne seizmološke stanice pristupa, na istom kanalu (*socket-u*), i kontinualno ih preuzima. Jedan blok podataka sadrži informaciju o statusu prenosa i postavljenom zahtevu za podacima. Na taj način SEEDLink može da zahteva nedostajuće podatke u proteklom vremenu (prenosu). Na terenu su uređaji najčešće povezani u lokalnoj mreži *Ethernet*-om ali je na nivou cele mreže, terenskih i centralne stanice konekcija bazirana na *TCP/IP* protokolu.

Svi sistemi za digitalnu akviziciju kao i sistemi prenosa uzrokuju određeno vremensko kašnjenje «*latency*». Ovo kašnjenje zavisi od digitalizatora, protokola za prenos digitalnih podataka i računara koji prima podatke. Sve digitalne stanice u Srbiji «markiraju» vreme na samoj stanici na terenu, kako ne bi naknadno kašnjenje u prenosu podataka imalo efekat na tačnost vremenske baze registrovanih seizmograma u mreži.

3.3.1. Format podataka

Dva formata su značajna u seizmološkoj praksi, prvi je za razmenu registrovanih zapisa u realnom vremenu a drugi za razmenu parametarskih podataka o rezultatima analize i lokacije zemljotresa.

Standard, prihvaćen naročito u Evropi za razmenu podataka o celokupnom zapisu seizmičkih talasa je SEED (Standard for the Exchange of Earthquake Data) , a za razmenu u realnom vremenu njegova skraćena verzija mSEED. SEED je jedini standard koji u sebi sadrži najvažnije podatke metadata i celokupni talasni zapis u jedinstvenom fajlu koji se naziva *SEED volume*. Podaci koje sadrži MiniSEED su podskup podataka SEED formata. U cilju uštede vremena i komunikacijskih resursa podaci sa seizmoloških stanica se prenose i arhiviraju u MiniSEED formatu. Paket podataka u ovom formatu sastoji iz tri glavna polja:

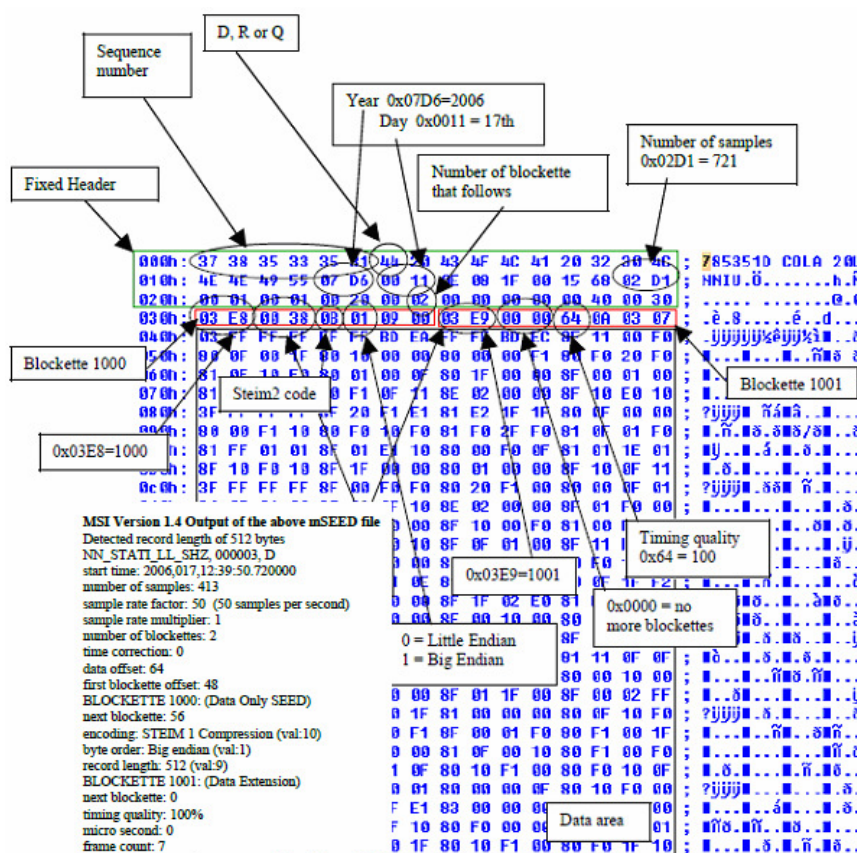
1. zaglavlje fiksirane dužine 48 bajtova
2. jedan ili dva bloka čiji je kod unapred definisan kao 1000 i 1001 sa fiksnom dužinom zapisa od 8 bajtova
3. polje sa podacima-niz očitano broja *count*-a na svakom odbirku-semplu (najviše do 448 bajtova s obzirom na ukupno ograničenje paketa od 512 bajtova).

Binarni izled zapisa u mSEED formatu dat je u tabeli 1 sa tekstualnim izgledom očitano zapisa.

U zaglavlju se nalaze opšti podaci kao što su : kod stanice, mreže i kanala, brzina uzorkovanja i drugi Posebni podaci vezani za sesiju: početno vreme, broj semplova i broj paketa podataka. Blok 1000 sadrži pored koda bloka i podatak o načinu komprimovanja podataka. U softveru koji Zavod koristi za akviziciju to su STEIM1 i STEIM2.

Algoritam za pakovanje podataka STEIM baziran je na činjenici da je efikasnije prenošenje samo podataka o razlici u broju *count*-a u dva sukcesivna podatka, nego celih 24 ili 32 *integer*-a. Po ovoj metodi komprimovanje podataka se vrši u prozorima od 64 bajta, odnosno ukupno se prenosi 7 *frame*-ova. Da bi podaci bili učitani na nekom kompjuteru potreban je samo softver koji „razume“ logičku strukturu zapisa i pristup *TCP/IP socket-u*.

Tabela 1. Šematski prikaz binarne forme u heksadecimalnom obliku mSEED formata sa tekstualnim izgledom



Da bi talasna slika mogla da bude interpretirana, ne samo u vremenskom domenu (nailasci različitih talasa), već i u amplitudnom (definisanje magnitude) i spektralnom domenu, neophodni su meta-podaci o instrumentaciji. *Metadata* su podaci o tipu senzora, njegovim frekventnim karakteristikama, osetljivosti. Uz pomoć ovih podataka moguća je rekonstrukcija izvornog seizmičkog signala u amplitudnom i frekventnom domenu filtrirana od uticaja sistema za registrovanje i digitalizaciju signala. Metadata su kroz parametarske fajlove za analizu i obradu seizmoloških podataka uključene u obradu podataka.

Format koji Zavod koristi za razmenu parametarskih fajlova koji su rezultat bilo automatske bilo rutinske lokacije zemljotresa je GSE2.0. (Group of Scientific Experts) prikazan u tabeli 2. Podaci koje ovaj format obuhvata su: položaj epicentra, dubina hipocentra, magnituda, vreme nailazaka pojedinih seizmičkih talasa sa odgovarajućim greškama, broj stanica čiji su podaci korišćeni, amplitude, periode i drugo.

Tabela 2. Forma GSE2.0. formata

```

EGIN GSE2.0
MSG_TYPE DATA
MSG_ID 1130204006 BEO
DATA_TYPE BULLETIN GSE2.0

EVENT 1130204006
  Date      Time      Latitude Longitude  Depth  Ndef Nsta Gap  Mag1 N  Mag2 N  Mag3 N
Author      ID
  rms  OT_Error  Smajor Sminor Az  Err  mdist  Mdist  Err  Err  Err
Quality
2013/02/04 04:29:45.7  43.6840  16.2770  14  39  20  4.2  18  BEO
1130204006
  0.6  0.12  0.04  7.8  1.32  4.71  m i
ke

NORTHWESTERN_BALKAN
Sta  Dist  EvAz  Phase  Date  Time  TRes  Azim  AzRes  Slow  SRes  Def  SNR  Amp  Per
Mag1  Mag2  ID
BBLs  2.34  e Pn  2013/02/04 04:30:24.7  T
ML 4.5  BEO
BBLs  2.34  e Sn  2013/02/04 04:30:52.5  T
ML 0.0  BEO
TEKS  2.56  e Pn  2013/02/04 04:30:27.9  T
ML 0.0  BEO
TEKS  2.56  e Sn  2013/02/04 04:30:56.8  T
ML 4.0  BEO
STOP

```

Standardizovani format omogućava automatsko učitavanje i reprocesiranje podataka u međunarodnim i drugim nacionalnim seizmološkim centrima.

3.4. Arhiviranje i razmena podataka

U Zavodu se arhiviranje i razmena sirovih podataka obavlja u mSEED formatu.

Generalno podaci se mogu razmenjivati u komprimovanom i originalnom obliku sa ili bez provere identiteta. Protokol koristi jedinicu informacije koja se zove *frame* da uspostavi ili promeni vezu i razmeni podatke između onog ko šalje i/ili prima podatke. Samo jedan *frame* se razmenjuje u bilo kojoj fazi procesa. U slučaju gubitka veze koristi se *time-out*. Proces ima sedeće faze: Uspostavljanje veze, prenos podataka, promena konekcije (po potrebi) i prekidanje konekcije. (može biti po slanju upozorenja o prekidu ili zbog spore ili prekinute konekcije).

Trajno arhiviranje podataka se vrši na uređaju za arhiviranje u kome su 3 diska u RAID-u i na DVD-diskovima. Pored ovog kopije se čuvaju na Divčibarama u paralelnom centru i na dva fajl servera u Zavodu.

Razmena u realnom vremenu celokupnog talasnog zapisa između nacionalnih centara omogućava kreiranje virtuelne seizmološke mreže. Korišćenjem izvornih registracija sa seizmoloških stanica susednih zemalja i Evrope preuzimanjem digitalnih podataka iz njihovih arhiva u realnom vremenu značajno se podiže pouzdanost i tačnost u lociranju zemljotresa. Virtuelna seizmološka mreža Srbije obuhvata 15 država i 79 seizmološke stanice sa položajem prikazanim na slici 14.



Slika 14. Virtuelna seizmološka mreža Srbije

3.5. Automatska obrada podataka

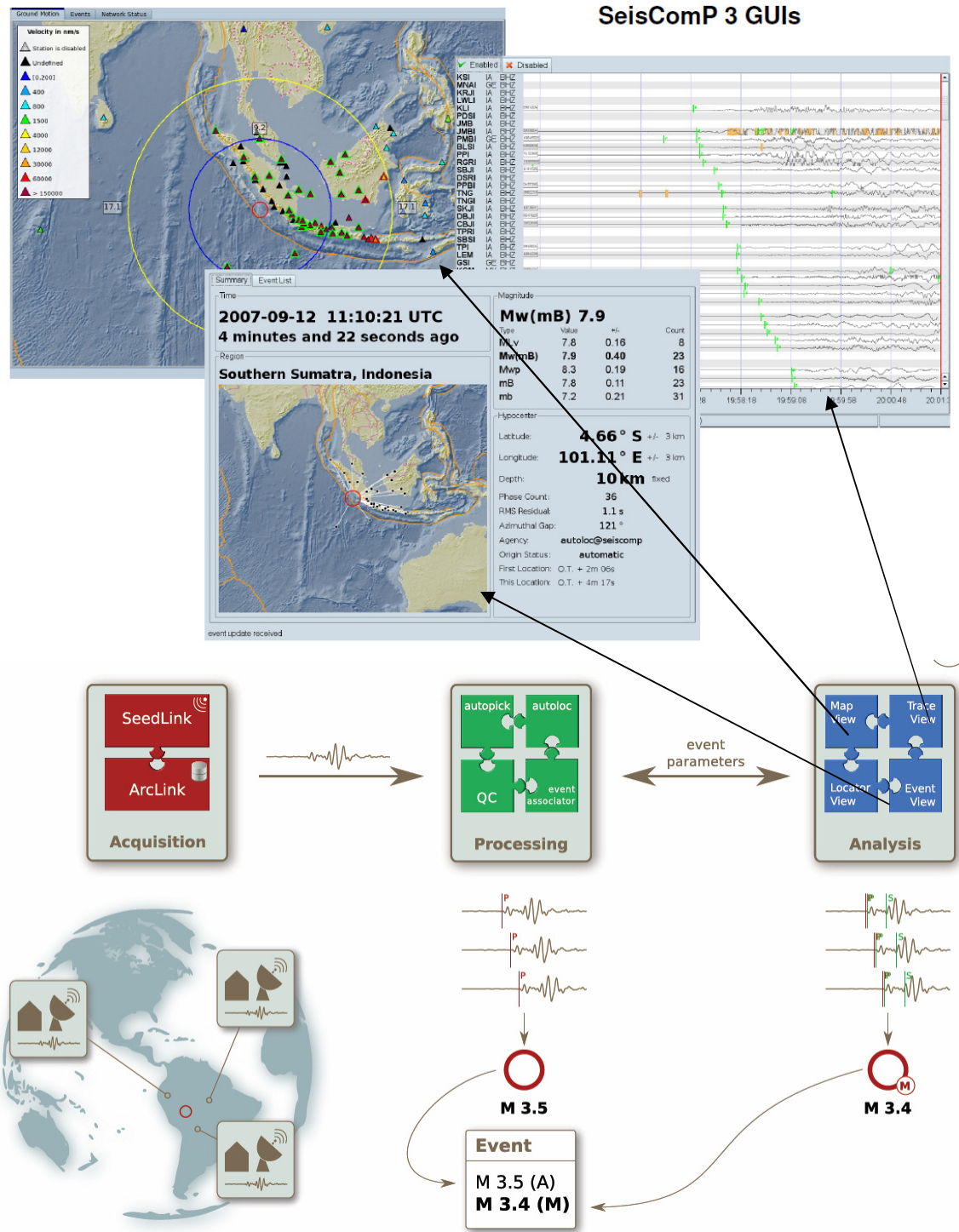
Jedan od pokazatelja upešnosti rada seizmološke mreže je brza i precizna automatska lokacija zemljotresa. Preuslov su precizni i pouzadano registrovani seizmološki podaci sa rasprostranjene, ali dovoljno guste seizmološke mreže, dostupni u realnom vremenu. Virtuelna seizmološka mreža Srbije ispunjava postavljene uslove pa je 2006. godine pokrenuta automatska lokacija zemljotresa. Programskim paketom *SeisComp2.1* i *SeisComp 3* se vrši i akvizicija i automatska obrada digitalnih seizmičkih signala. Program radi na platformi operativnog sistema *Linux SuSe 9.3* do *10.0*.

U osnovi softverskog rešenja za automatsku lokaciju zemljotresa je (slika15):

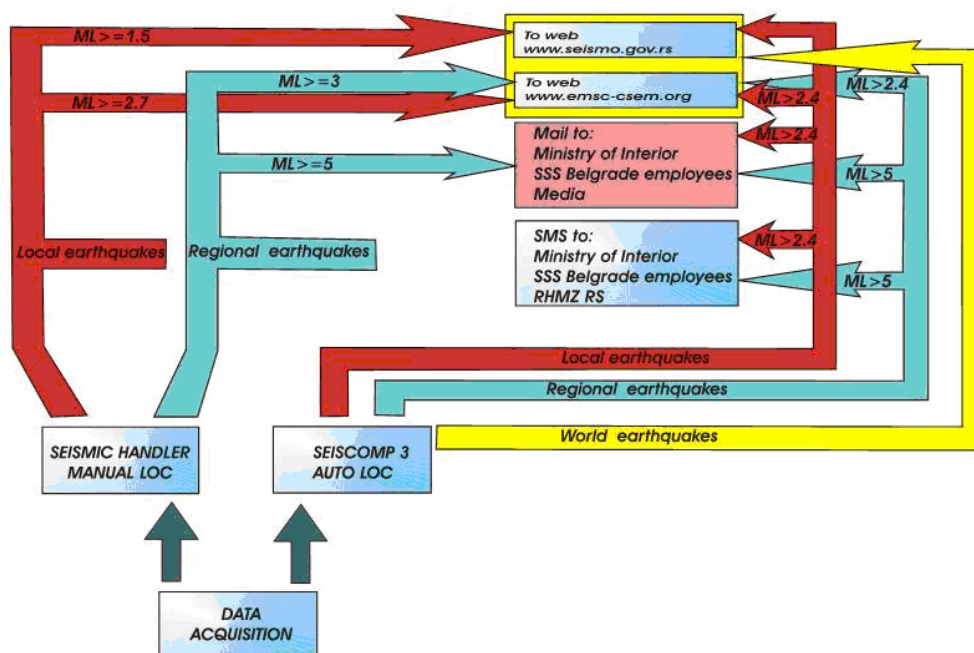
1. preuzimanje podataka iz arhive,
2. automatsko pikiranje seizmičkih faza- vremena nailazaka longitudinalnih talasa, pridruživanje podataka o istom događaju sa drugih stanica mreže,
3. lociranje zemljotresa iterativnim postupkom,
4. definisanje amplituda,
5. definisanje magnitude i
6. publikovanje podataka.

Tačnost lociranja u najvećoj meri zavisi od pouzdanosti metode za pikiranje seizmičkih faza.

SeisComP 3 GUIs



Slika 15 Automatsko lociranje zemljotresa



Slika 16. Logička šema za sastavljanje liste za izveštavanje

GUI (Graphical user interface) omogućava interaktivno praćenje i korigovanje rezultata automatske obrade. Upravljanje procesom lociranja podržano je grafičkim prikazima veličine, prostorne i azimutalne raspodele grešaka lociranja zemljotresa. Na slici 15. je izgled prikaza tokom lokacije zemljotresa i tok procesa automatskog lociranja zemljotresa. Vreme izdavanja prvih rezultata je oko 5 minuta.

3.5.1 Izveštavanje – uzbunjivanje

Funkcija seizmičkog alarma, koja zahteva hitnu reakciju posle jakih zemljotresa, namenjena je prvenstveno civilnoj zaštiti i izdaje se sa ciljem ublažavanja socijalnih i ekonomskih posledica od oštećenja izazvanih jakim zemljotresom. Rano upozoravanje je jedan od primarnih zahteva društva koje ulažu u razvoj seizmoloških mreža. Programski paket *SeisComp3* ne sadrži opciju izdavanja alarma i publikovanja podataka na internetu, u aktuelnoj verziji. Stoga su u Zavodu napisani skriptovi u C shell-u kojima se prosleđuju informacije e-mailom i SMS-om nadležnim organima, u međunarodne seizmološke centre, medijima i na internet prezentaciju Zavoda. Ceo postupak je automatizovan i završava se u roku od 10 minuta po događanju zemljotresa.

Lista za informisanje je primerena jačini zemljotresa i sastavlja se na osnovu kriterijuma veličine magnitude i geografskog položaja epicentra a prema logičkoj šemi prikazanoj na slika 16.

3.5.2. Publikovanje podataka na internet prezentaciji

Konačni rezultat seizmoloških merenja je automatski i rutinski lociran zemljotres sa definisanom magnitudom i procenjenim intenzitetom i ti se podaci neposredno po definisanju publikuju na internetu sa odgovarajućim grafičkim i tekstualnim prilogima. Ceo proces od događanja zemljotresa, obavljanja svih potrebnih merenja, na prostoru koji obuhvata više hiljada kilometar, obrade, prenosa signala, proračuna i izveštavanja odvija se po unapred definisanim procedurama i završava publikovanjem podataka za javnost u roku od 10 minuta. Izgled prve strane prezentacije prikazan je na slici 17.



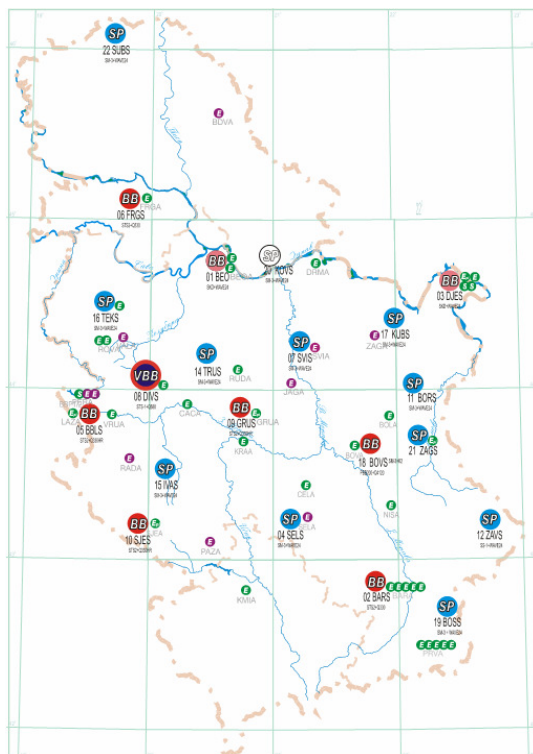
Slika 17. Internet prezentacija Zavoda www.seismo.gov.rs

3.6. Rutinska obrada podataka

Rutinska obrada merenih podataka odvija se u opservatorijskim uslovima kao preliminarna lokacija, neposredno po događanju zemljotresa. Konačna analiza registrovanih podataka podrazumeva pored definisanja lokacije zemljotresa i njegove magnitude i definisanje polariteta i jasnoće seizmičkih faza, analizu spektralnih karakteristika zemljotresa, procenu intenziteta i odlaganje istih u mesečne biltene i godišnjake. Ovi podaci su osnova za detaljna proučavanja seizmičnosti, definisanje seizmičkog hazarda, definisanje mehanizama zemljotresa kao je prikazano na slici 1.

4. KONFIGURACIJA NACIONALNE SEIZMOLOŠKE MREŽE

Seizmološka mreža Srbije je tipična digitalna seizmološka mreža (isključivo su senzori analogni) bazirana na prenosu signala internetom u realnom vremenu. Danas se sastoji od 21 seizmološke stanice i 25 akceleroografa i tri lokalne mreže akceleroografa. Okosnicu sistema predstavlja jedna centralna seizmološka stanica sa BB (širokopojasnim seizmometrom) u Beogradu, beak-up seizmološki centar na Divčibarama sa VBB (široko-širokopojasnim seizmometrom) 6 seizmoloških stanica sa BB seizmološkim senzorima, 19 seizmoloških stanica sa SP (kratkoperiodičnim senzorima) i 25 akceleroografa. Prostorni raspored stanica prikazan je na slici 19.

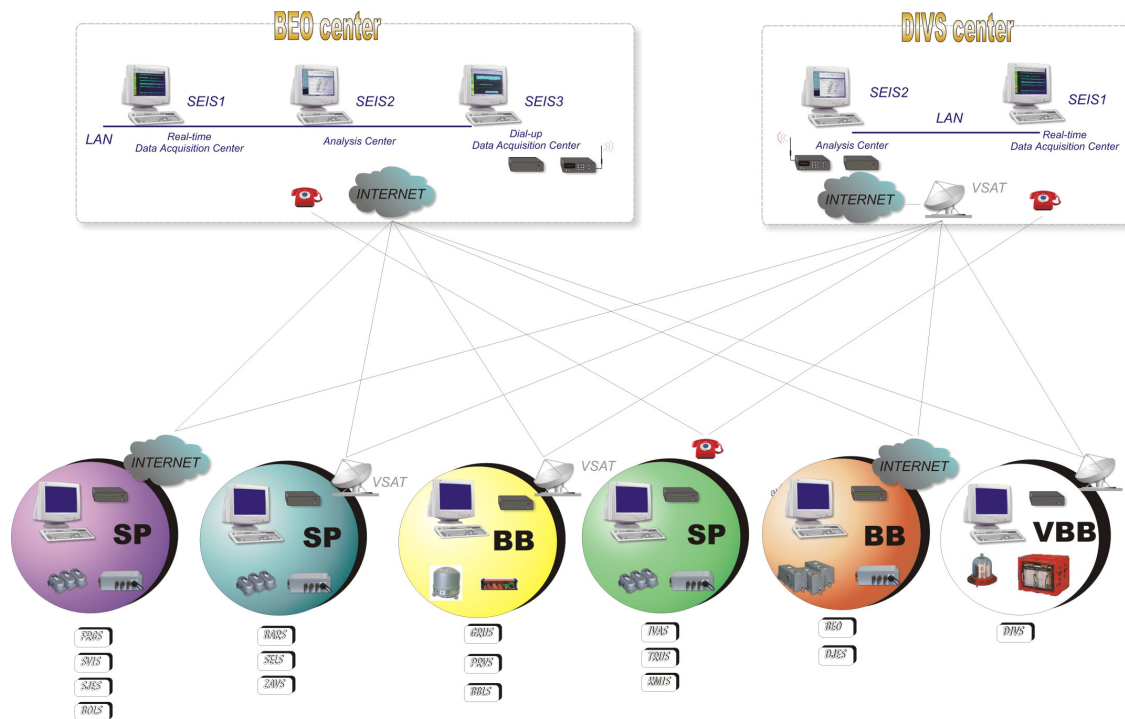


Slika 19. Prostorni raspored seizmoloških i akcelero-metarskih mernih mesta

Seizmološke stanice su opremljene širokopojasnim i kratkoperiodičnim velosimetrima i akcelometrima, digitalizatorom, računarom za registrovanje podataka i uređajima za komunikaciju i prijem signala GPS tačnog vremena. Većina podataka se kontinualno sakuplja u centralnim stanicama preko SeedLink servera.

Akvizicija podataka na seizmološkim stanicama vrši se sa softverom SeiComp2.1.

U centralnoj seizmološkoj stanici akvizicija se vrši paralelno sa dva sistema SeiComp2.1 i SeiComp3. Vid komunikacije i tip senzora su prikazani na slici 20.



Slika 20. Tip komunikacijskih veza u Nacionalnoj seizmološkoj mreži

Od početka 2007 godine na seizmološkim stanicama koristi se digitalizator *Q330* proizvod američke firme *Kinometrics*. Ovaj izuzetno kvalitetan uređaj ima 24 bitnu analognu-digitalnu konverziju izuzetno malu potrošnju, 8 Mb RAM memorije, prijemnik GPS tačnog vremena, kontrolu senzora, telemetrijski modul, različite filtere, promenljive stepene frekvencije uzrokovanja i još neke usko specijalizovane karakteristike. Na digitalizator *Q330* (slika 21.) je preko odgovarajućeg komunikacionog porta priključen sistem za prijem, kontrolu i podešavanje tačnog vremena sa satelita GPS (Globalni Pozicioni Sistem).

Akvizicioni računar radi pod *Linux SuSe 9.3* do *10.0* operativnim sistemom. Program za akviziciju je softverski paket pod nazivom *SeisComp* (*Seismological Communication processor*). Srž softverskog paketa čini sistem za akviziciju podataka *Seedlink*, koji prihvata podatke u *Mini-SEED* formatu veličine 512 bajta, arhivira ih i pomoću *TCP/IP* protokola na

aplikacionom nivou komunicira sa drugim *Seedlink* serverima. Ovaj sistem omogućava razmenu podataka u realnom vremenu, a može raditi i u triggering režimu.



Slika 21. Izgled rekordera *Q330*



Slika 22. Akvizicioni računar i rekorder *Q4120*



Slika 23. Akcelerograf tipa *ETNA*

Akceleroografska mreža je bazirana na akcelermometru tipa *EpiSensor* u kombinaciji sa digitalizator *Q330*, ili sa rekorderom *ETNA* (slika 23). *ETNA* je 19 bitni digitalizator čija je

osnovna namena registrovanje jakih zemljotresa. Većina rekordera ovog tipa je u realnom vremenu povezana sa centralnom stanicom u Beogradu.

Najpouzdaniji vid komunikacije u okviru nacionalne mreže je satelitska komunikacija. Na 8 seizmoloških stanica primenjen je VSAT kao način prenosa podataka. Uređaj za satelitsku komunikaciju sastoji se od satelitskog modema (unutrašnje) (slika 24.) i spoljne jedinice (tanjira sa prijemno-predajnom jedinicom) slika 25.

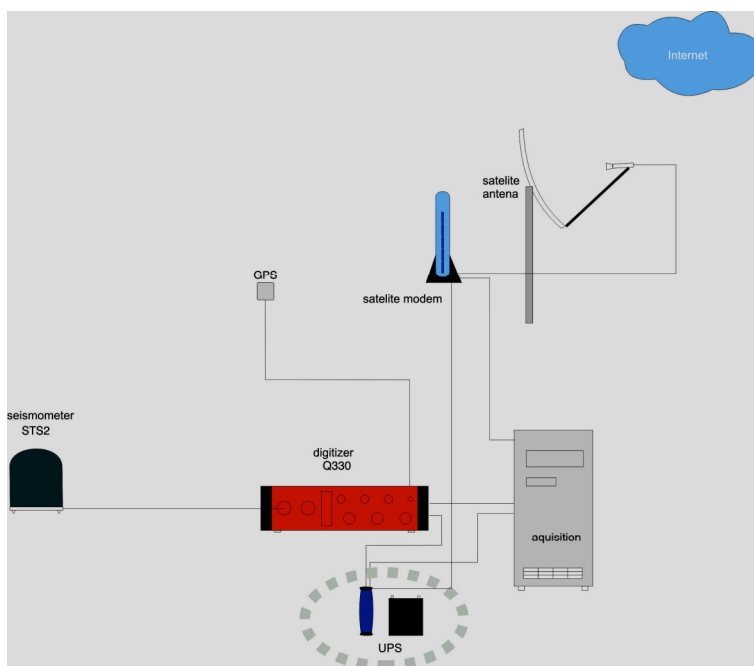


Slika 24. Satelitski modem sa uređajem za stalno napajanje



Slika 25. Spoljna jedinica satelitskog prenosa signala

Okosnica seizmološke mreže su seizmološke stanice opremljene pouzdanom opremom namenjenom za detaljna seizmološka istraživanja. Na slici 26. prikazana je blok šema ovih stanica.



Slika 26. Bloka šema seizmološke stanice prvog rada

5. ZAKLJUČAK

Razvoj mernih informacionih sistema u Republičkom seizmološkom zavodu ostvaren je primenom savremenog hrdvera i softvera za merenje u geografski-distribuiranim procesnim sistemima, primenom personalnih računara kao kontrolera mernog sistema, primenu telekomunikacionih uređaja u prenosu, skladištenju, memorisanju, preuzimanju, proračunu i manipulisanju podacima sa primenom standarda za daljinski nadzor, kontrolu i prenos mernih podataka.

Primenjeni softver za akviziciju i automatsku obradu signala je nekomercijalan a hardver je od najpoznatijeg svetskog proizvođača.

Modifikacije softvera omogućile su automatsko izveštavanje o dogođenom zemljotresu neposredno po njegovom događanja sa publikovanje podataka na internetu.

Ovaj razvoj rezultirao je značajnim skraćenjem vremena do prve informacije a samim tim, i u slučaju jakog zemljotresa, mogućnosti bržeg sprovođenja spasilačkih aktivnosti.

6. LITERATURA

Hutt, C. R., Bolton, H. F., and Holcomb, L.G . (2002). US contribution to digital global seismograph networks. In: Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., and Kisslinger, C. (Eds.) (2002). International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Part A. Academic Press, Amsterdam, 319- 332

Mariotti M. (2006). MiniSEED for LISS and data compresion using Steim1 i Steim2, technical Report No.20, Norwegian National Seismic Network

Scherbaum, F. (2007). Of poles and zeros; Fundamentals of Digital Seismometry. 3rd revised edition, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg.

SEED (2007). SEED referen ce manual. Standard for the exchange of earthquake data, SEED format version 2.4. International Federation of Digital Seismograph Networks Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), USGS.

SeisComp3 Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences

Utheim, T., Havskov, J., and Natvik, Y. (2001). Seislog data acquisition systems. Seism. Res. Lett. , 77 -79.

Wielandt, E. (2002b). Seismometry. In: Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., and Kisslinger, C. (Eds.) (2002). International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Part A . Academic Press, Amsterdam, ISBN - 10: 0- 12- 440652 - 1, 283- 304.