

**МЕРНИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ  
У РЕПУБЛИЧКОМ СЕИЗМОЛОШКОМ ЗАВОДУ**

*Земљотреси су као мали фењери  
који пред очима нашег разума  
осветљавају земљину унутрашњост*

**Мр Славица Радовановић**

Београд јануар 2013.година

## САДРЖАЈ

УВОД.....	3
<b>1. ИСТОРИЈСКА ОСНОВА СЕИЗМОЛОШКИХ МЕРЕЊА .....</b>	<b>4</b>
<b>2. СЕИЗМОЛОШКА МЕРЕЊА У СРБИЈИ –РАЗВОЈ.....</b>	<b>6</b>
<b>3. МЕРНИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ –ОСНОВА МОДЕРНЕ ДИГИТАЛНЕ НАЦИОНАЛНЕ СЕИЗМОЛОШКЕ МРЕЖЕ.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Сеизмички сензори.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Сеизмички рекордер и дигитализатор.....</b>	<b>12</b>
3.2.1. ADC- Аналогно дигитална конверзија.....	13
<b>3.3 Пренос континуалних сеизмичких података у реалном времену.....</b>	<b>14</b>
3.3.1. Формат података.....	15
<b>3.4. Архивирање и размена података.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5. Аутоматска обрада података.....</b>	<b>18</b>
3.5.1 Извештавање – узбуњивање.....	20
3.5.2. Публиковање података на интернет презентацији.....	21
<b>3.6. Рутинска обрада података.....</b>	<b>22</b>
<b>4. КОНФИГУРАЦИЈА НАЦИОНАЛНЕ СЕИЗМОЛОШКЕ МРЕЖЕ.....</b>	<b>22</b>
<b>5. ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>26</b>
<b>6. ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>27</b>

## УВОД

Мерни информациони систем по примени у сеизмологији представља регистровање, обраду и пренос мерних, аналогних и дигиталних сигнала; мерење у географски-дистрибуираним процесним системима, примену персоналних рачунара као контролера мерног система, примену телекомуникационих уређаја у преносу, складиштењу, меморисању, преузимању, прорачуну и манипулисању подацима са применом стандарда за даљински надзор, контролу и пренос мерних података у сврху анализе и прорачуна. Нагли развој мерних информационих система последњих деценија имао је кључни утицај на развој сеизмологије и то у сегменту регистровања земљотреса, преноса података у централну станицу, аутоматског лоцирања, издавања упозорења, публикавања и размене података између сеизмолошких станица, архивирања и манипулисања подацима.

Скоро један век, једини параметар очитан са сеизмограма (време наилаaska неког од сеизмичких таласа) размењиван је са другим станицама и редовно прослеђиван домаћим и међународним центрима података за даљу обраду (у почетку поштом а касније телеграфски). Традиционално су земљотреси регистровани на папиру, записи аналогних сензора, прегломазни за руковање, подложни оштећењима или чак губитку, а без могућности да по ниским ценама буду квалитетно копирани, врло су ретко размењивани.

Основна сврха сеизмолошких мрежа је: одређивање локације земљотреса и његове магнитуде, издавање упозорења, праћење сеизмичности за опште или посебне намене и прикупљање податке за истраживања унутрашњости Земље. Примарни циљ је, међутим, брзо и тачно утврђивање локације земљотреса. Главни елементи сеизмолошке станице су: шахт за смештај сензора, сеизмометри, дигитализатор/рекордер, пријемник сигнала тачног времена, јединица за меморисање података и комуникације. Сем дигитализатора, сви остали елементи сеизмолошке станице су само технички и технолошки усавршавани. Тако је прецизан механички сат замењен пријемником сигнала тачног времена који се емитује са сателита, механичке сеизмометре су заменили електромагнетни, запис на хартији замењен је дигиталним записом а комуникација се сада не обавља поштом и телеграфом већ сателитским, бежичним и ADSL интернетом.

Развој комуникационих технологија и њена широка доступност омогућавају пренос података о регистрацијама земљотреса, размену и складиштење. И ако све до недавно није постојао општеприхваћени стандард дигиталног формата за запис земљотреса, ипак су се дигитални сеизмограми складиштили и размењивали захваљујући могућности конверзије из једног у други формат. Стандардизовање формата значајно је повећало употребљивост дигиталних сеизмограма.

Од 1990. године, сеизмолошке мреже, управо као последица развоја мерних информационих система и информационих технологија, већину података региструју, чувају и размењују у модерним форматима у реалном времену који су комплетнији,

једноставнији и транспарентнији. Савремене интернет комуникације, са релативно ниским трошковима, омогућиле су, у последњој деценији, формирање реалних и виртуелних сеизмолошких мрежа. Са развојем глобалних комуникација сеизмолошке мреже су постале локалне, регионалне и глобалне. Разлика међу сеизмолошким мрежама, данас примарно није у начину преноса података, тачности временске базе, или протоку времена између аквизиције и анализе, него у: циљу истраживања, просторној резолуцији и квалитету података у смислу фреквентног састава и динамичког опсега регистрованих сигнала.

## **1. ИСТОРИЈСКА ОСНОВА СЕИЗМОЛОШКИХ МЕРЕЊА**

Већина онога што данас знамо о унутрашњој структури и физичким особинама Земље, а тиме и о унутрашњим силама које покрећу тектонске плоче и генеришу најважније геолошке процесе, потиче од анализе мерења сеизмолошких појава. Сеизмологија наставља да буде основно средство за испитивање кинематике и динамике геолошких процеса на свим нивоима. Са континуираним напретком у сеизмолошким методама надамо се бољем разумевању, предвиђању и коришћењу геолошке средине са бројним користима као и опасностима по људско друштво.

Емил Вихерт (1861-1928), професор геофизике у Гетингену, Немачка, конструктор познатих раних маханичких сеизмографа названих по њему, имао је следећи мото „стена која подрхтава носи вест из даљине - читај знаке! ". Он је такође сматрао да је врховни циљ сеизмологије да "разуме сваки покрет" у сеизмичком запису.

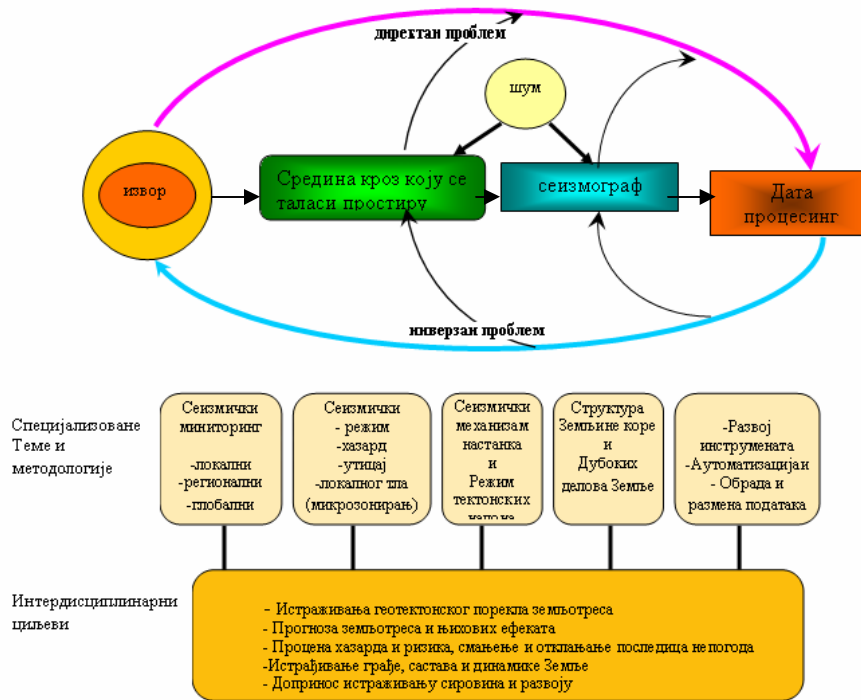
Пре 1960. године, у свету су генерално постојале само појединачне сеизмолошке станице које су радиле самостално. Сеизмолошка станица је своја мерења- регистрације , обично достављала на неку централну локације у којој је вршена систематизација, обрада и прорачун података. Међутим, кашњење између мерења, снимања и рутинске обраде је било веома велико у поређењу са модерним сеизмолошким мрежама. Од шездесетих година, почеле су са радом прве сеизмолошке мреже. То су углавном биле мреже за регистровање слабих земљотреса, са раздаљином између станица од неколико километара до неколико стотина километара.

Кључи елемент, који је чинио да самосталне сеизмолошке станице постану сеизмолошка мрежа је био пренос података у реалном времену у централну станицу, проводником или радио везом, где су сви подаци регистровани у јединственом, централном, референтном временском систему. Јединствена временска база омогућавала је прецизно релативно време међу станицама што је дало основа за повећање тачности локације земљотреса. У почетку је систем за регистрацију био аналоган да би током година постао скоро ускључиво дигиталан.

Упркос огромном напретку који је постигнут од времена Вихерта још увек није постигнут циљ који је он поставио, разумевања информације садржане у сваком „покрету“на сеизмограму, и поред:

- \* савремених сеизмичких сензора, који омогућавају регистровање сеизмичких таласа у врло широком фреквентном опсегу са изузетно високом резолуцијом и унутар много већег динамичког опсега него што је то било могуће у време аналогне сеизмологије, као и постојања напредне дигиталне аквизиције података;
- савремених компјутерских хардвера и софтвера за разноврсну анализу који значајно олакшавају задатак свеобухватне и тачне анализе сеизмограма, што омогућава да се рутински утврде параметри који су били далеко изван оквира анализе сеизмограма пре неколико деценија;
- прецизног времена регистровања и читавања сеизмограма у GPS ери;
- наглог ширења брзих глобалних комуникацијских система, који у великој мери елиминишу техничке проблеме при слању мерених података на даљину, и унапређују размену података комплетних таласних слика у реалном времену.

Сеизмологије је компликовани систем, "ланац информација" са бројним међусобно повезаним подсистемима, као што су: сеизмички извор, простирање сеизмичких таласа кроз Земљу, маскирање и изобличења „корисног сигнала“ присуством шума и утицајем сеизмичких сензора, рекордера и техника процесирања сеизмичког сигнала (слика 1). Тек дефинисањем модела који би све наведене утицаје могао логично да представи могли би смо да интерпретирамо "сваки покрет" у сеизмичком запису.



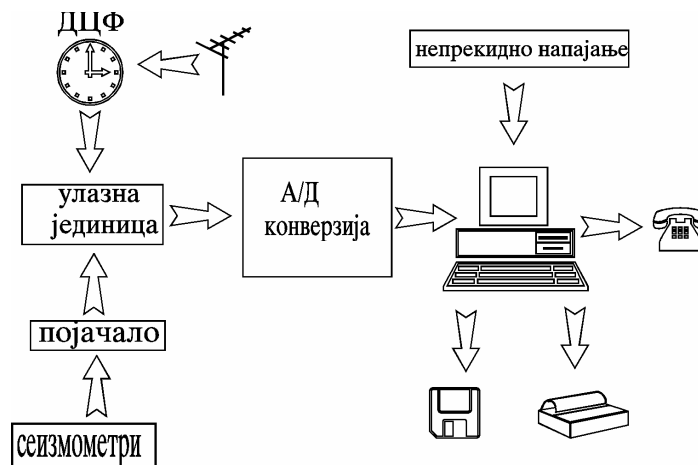
Слика 1. Дијаграм који илуструје сеизмологију као анализу сложеног информационог система повезану са различитих специјализованим и интердисциплинарним задацима истраживања

## 2. СЕИЗМОЛОШКА МЕРЕЊА У СРБИЈИ -РАЗВОЈ

Први корак у развоју сеизмологије у Србији учињен је после рушилачког земљотреса 7. априла 1893. године са епицентром код Свилајнца. Геолошки завод Велике школе у Београду је тада на иницијативу академика Јована Жујовића, управника, и професора Светолика Радовановића, започео прикупљање података о земљотресима. Ова прва организација сеизмолошке службе функционисала је само неколико година. Филозофски факултет Универзитета у Београду је 1906. године донео одлуку о изградњи објекта Сеизмолошког завода на Ташмајдану чиме је започето систематско проучавање земљотреса на територији Србије. После многих промена статуса, током стогодишњег периода, које су неповољно утицале на његов рад, Завод је коначно 1995. године Законом о Републичком сеизмолошком заводу постао посебна организација која обавља послове од интереса за Републику.

Први механички сеизмографи инсталирани су 1909. године, а у јуну 1910. године на инструментима је регистрован први земљотрес. У току Првог светског рата сав инвентар Завода је уништен, а инструменти поломљени и покварени. После оправке инструмената, Завод је поново почео да ради 1921. године. Механички инструменти типа Вихерт, које је Завод добио 1929. године на име ратне репарације, постали су основа инструменталног регистравања земљотреса све до 1980. године.

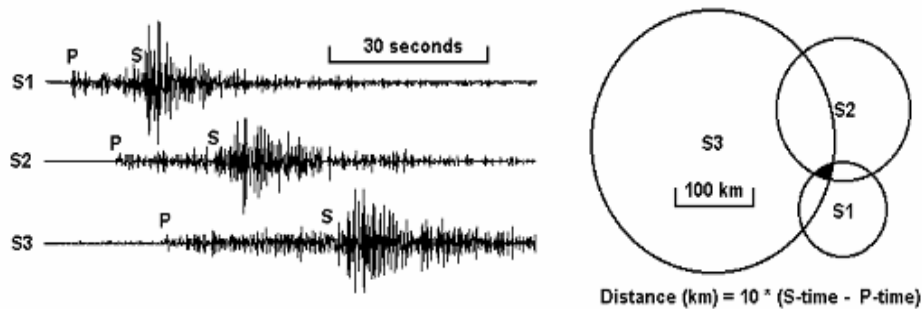
У периоду 1991.-2001. године у Републичком сеизмолошком заводу развијен је систем ДАСА (Дигитална Аутоматска Сеизмолошка Аквизиција). Систем се састојао од аналогних сензора, 12-битног дигитализатора, компјутера за аквизицију и пријемника радио сигнала тачног времена ДЦФ (касније GPS) (слика 2). Станица је радила у тригеринг односно окидачком режиму (записивање само догађаја који испуњавају унапред задати услов). Компјутерски програм за записивање дигиталних података на хард-диску, у нестандартном формату развијен је у Заводу.



Слика 2. Блок шема сеизмолошке станице ДАСА

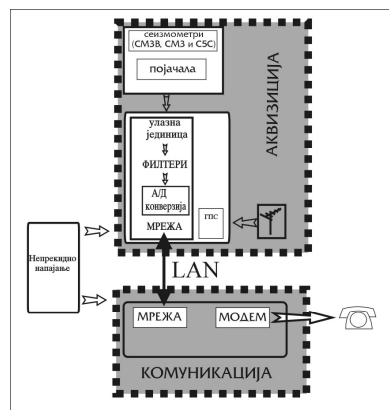
До 2001. године број самосталних сеизмолошких станица је порастао на 11, али пренос података у централну станицу није остварен а размена дигиталних записа је била отежана због специфичности формата који је коришћен.

Минималан број сеизмолошких станица, неопходан за прорачуном просторних параметара земљотреса ( географске ширине и дужине, дубине хипоцентра и времена настанка земљотреса је три сеизмолошке станице (слика 3). Хипоцентрално растојање може се за сваку станицу израчунати независно, а на основу разлике у времену наилазака лонгитудиналних Р и трансверзалних S таласа. Сеизмолошку мрежу дакле, чини најмање три сеизмолошке станице.



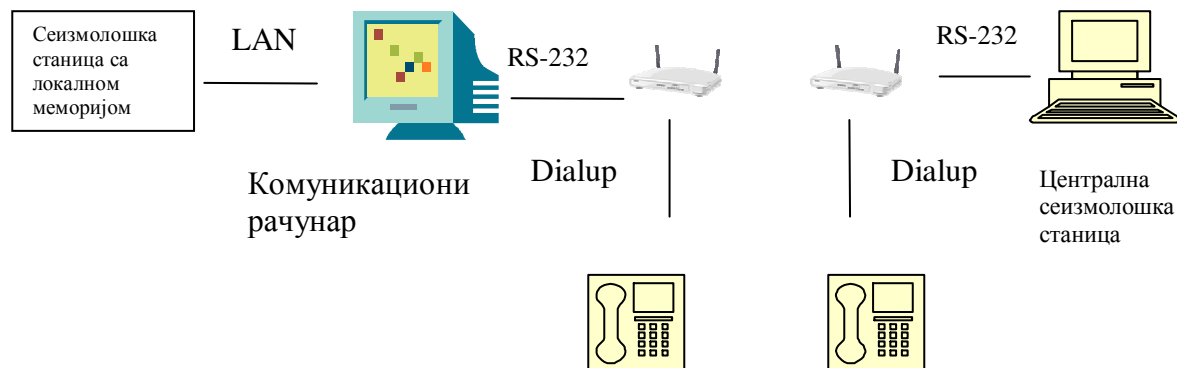
Слика 3. Изглед сеизмограма са назначеним наиластима сеизмичких таласа Р-лонгитудинални и S - трансверзални и геометријским приказом лоцирања земљотреса

У току 2001. године, по први пут су били инсталирани системи за комуникацију које су чинили, рачунар са одговарајућим софтвером који је подржавао пренос података помоћу модема преко телефонских параца са 3 сеизмолошке станице. По програмираном распореду позива, дигитални сеизмограми су прикупљани са теренских сеизмолошких станица у централној станици у Београду. Анализу сеизмограма и лоцирање земљотреса обављао је сеизмолог. У најбољем случају, у року од 30 минута од догађања земљотреса, било је могуће давање информација о тачној локацији и јачини. Блок шема сеизмолошке станице ДАСА 2 приказана је на слици 4. а систем преноса података на слици 5.



Слика 4. Блок шема сеизмолошке станице ДАСА 2

Са првим преносом дигиталних података о регистрованом земљотресу у централну станицу у Београду започиње са радом и Национална сеизмолошка мрежа.



Слика 5. Дигитални пренос података у централну сеизмолошку станицу  
Период 2001-2005. година

Континуално усавршавање националне сеизмолошке мреже у последњој деценији одвијало се у неколико праваца, захваљујући највише примени савремених мерних информационих система који су омогућили: дигитализовање аналогних, процесирање дигиталних сигнала, мерење у географски-дистрибуираним процесним системима, пренос сигнала сателитским, бежичним и ADSL интернетом.

Остварена унапређења сеизмолошке мреже су:

- Инсталирање широкопојасних сеизмометара;
- Успостављање мреже акцелерометара;
- Примена савремених 24-битних дигитализатора заменила је већ превазиђене 12-битне дигитализаторе;
- Остварен је континуални пренос непрекидног сеизмолошког записа у реалном времену;
- Формирана је виртуелна сеизмолошка мрежа која обухвата поред националних и аквизицију података преко 50 сеизмолошких станица из региона;
- Успостављена је аутоматска обрада података са издавањем упозорења о догођеном земљотресу, које се у одговарајућој форми доставља у међународне сеизмолошке центре, надлежним државним органима, медијима и на интернет презентацију Завода;
- Подаци о пуном запису се континуално размењују са свим заинтересованим сеизмолошким мрежама региона и глобално.

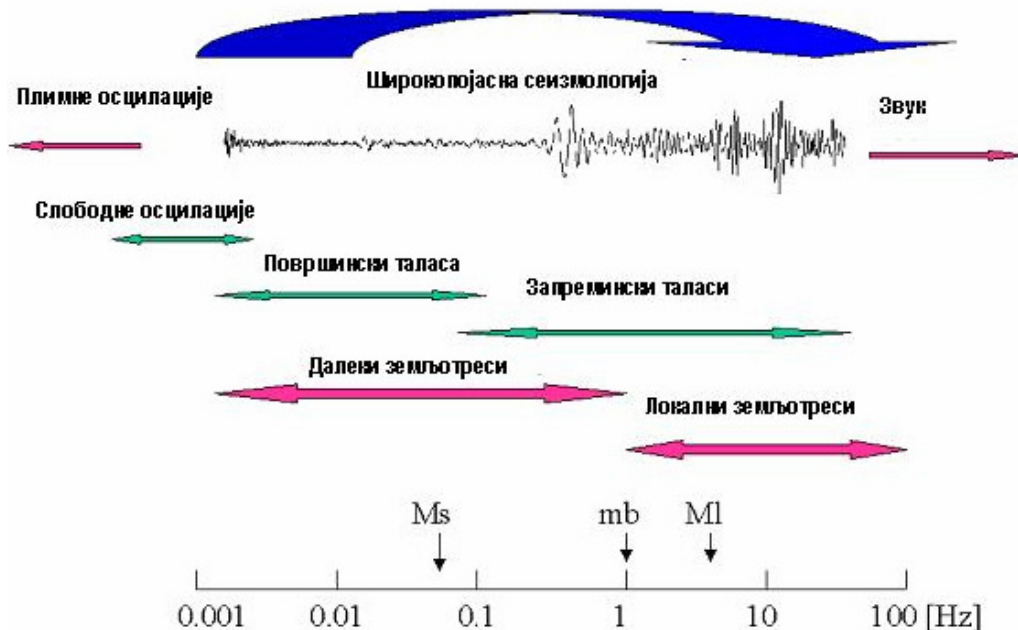


### 3. МЕРНИ ИНФОРМАЦИОНИ СИТЕМ -ОСНОВА МОДЕРНЕ ДИГИТАЛНЕ НАЦИОНАЛНЕ СЕИЗМОЛОШКЕ МРЕЖЕ

Савремену дигиталну сеизмолошку межу чине теренске сеизмолошке станице чији се подаци о мерењима осциловања тла преко детерминисаних комуникационих канала преносе у централну станицу. По пријему сигнали се записују и анализирају, аутоматски или од стране сеизмолога. На теренској сеизмолошкој станици сигнал из аналогног сензора се дигитализује и добија временску марку. Све операције омогућавају компјутерски или процесорски базирани системи са одговарајућим софтвером. Из наведеног се лако да закључити, да сем сензора који су аналогни, највећи део сеизмолошке опреме припада групи дигиталних мерних уређаја.

#### 3.1. Сеизмички сензори

Користан сеизмички сигнал, који је предмет мерења, у зависности од циља истраживања, обухвата фреквентни опсег од 0.001 до 100Hz. На слици 6. приказани су предмет сеизмолошких истраживања и фреквентно подручје у коме су информације од значаја.

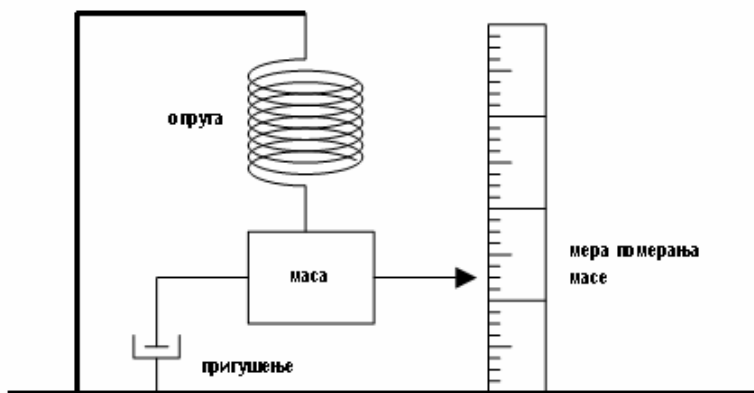


Слика 6. Фреквентни опсег сеизмичког сигнала према циљу истраживања

Према опсегу фреквенција у коме могу да мере сеизмички сигнал, сеизмометри се деле на SP-краткопериодичне (0.5-50Hz), BB-широкопојасне (0.008-50Hz) и VBB-широкоширокопојасне (0.003-50Hz).

Постоје две основне врсте сеизмичких сензора: инерциони сеизмометри, који мере релативно кретање тла у односу на инерцијални систем (обешену масу-клатно) и

екстензиометри који мере релативно померање једне тачке тла у односу на другу. Како су релативна кретања у односу на апсолутна, знатно већа, то их је једноставније регистровати па су у рутинским сеизмолошким истраживањима скоро искључиво заступљени инерциони сеизмометри. Физички принцип инерцијалног сеизмометра приказан је на слици 7.

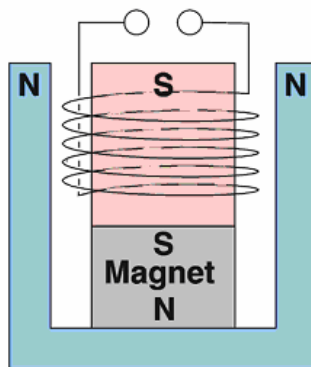


Слика 7. Физички принцип механичког сеизмометра-претварача померања

У зависности од типа пригушења сеизмометри са клатном могу бити механички или електромагнетни.

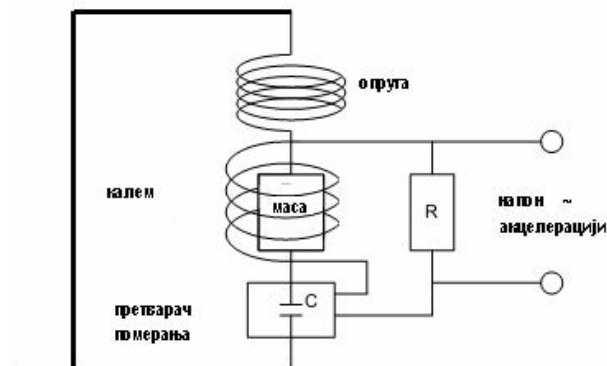
Сви класични сеизмографи типа Vichert и Minke су тип инерционих сеизмометра са механичким пригушењем, и данас, углавном као и у Београду представљају део музејских поставки сеизмолошких опсерваторија.

Инерциони сеизмометар са електромагнетним пригушењем (слика 8.) на излазу даје напон који је пропорционалан брзини масе клатна у односу на референтни систем - површину тла. Сви кратко-периодични сеизмометри CM3 и C5C у Националној мрежи су сензори овог типа односно велосиметри. Ограничење овог типа сеизмометра је што се брзина смањује са фреквенцијом и има вредност нула на фреквенцији нула чак и када постоји стално/перманентно убрзање.



Слика 8. Принцип рада електромагнетног сензора - претварача брзина

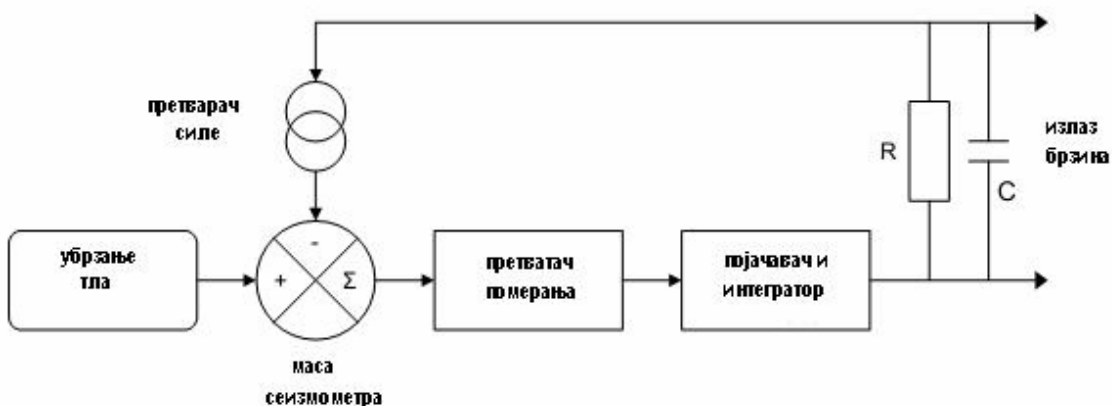
Трећа група сеизмичких сензора су Force Balanced Accelerometer (FBA) (слика 9.)



Слика 9. Принцип рада Force Balanced Accelerometer (FBA)

Овај тип сеизмичког сензора има калем за уравнотежење који може да генерише електромагнетну силу једнаку по интензитету а супротно оријентисану сили инерције која дејствује на масу. Електромагнетна сила одговара највећој акцелерацији коју желимо да меримо. Струја коју генерише претварач померања супротставља се сваком кретању масе у односу на референтни систем. Струја је линеарно пропорционална убрзању тла, па је напон на отпорнику директна мера акцелерације. На овом принципу функционишу акцелерометри типа EpiSensor.

Принцип силе уравнотежења (FBA) је кључни принцип у савременим широкопојасним сеизмометрима (0.001 до 50 Hz). За разлику од акцелерометра, код кога је на излазу напон пропорционалан убрзању, у овом случају струја се из претварача померања, појачава и делимично интегрише, а кондензатор на излазу генерише излаз пропорционалан брзини (слика 10.).



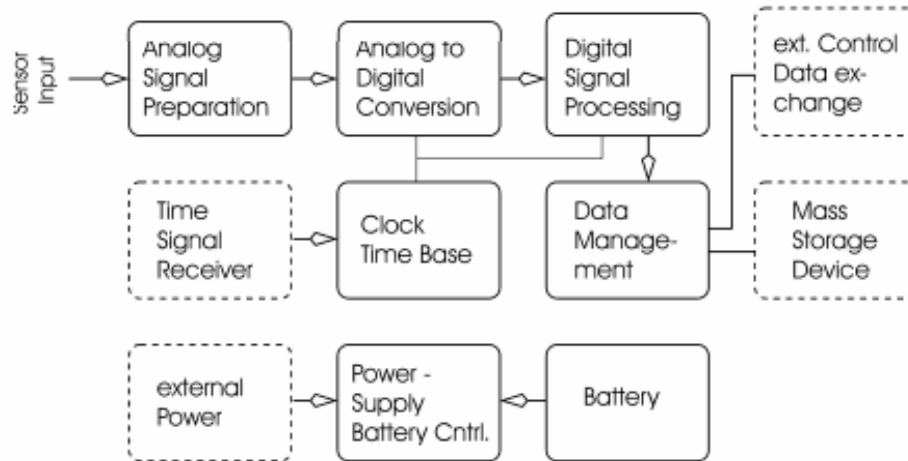
Слика 10. Принцип рада (FBA) за брзином на излазу

На овом принципу раде широкопојасни сеизмометри типа STS1, STS2 и PBB-200S који чине окосницу сеизмолошке мреже Србије.

### 3.2. Сеизмички *recorder* и дигитализатор

Уређај за снимање- *recorder* је аутономан уређај дизајниран да дигитализује сигнал из сеизмометра и сними га. Дигитализатор шаље сигнал за меморисање уређају са којим је повезан преко LAN-а, USB или RS232 порта. Опсег корисног сеизмичког сигнала је за регионална и локална истраживања, којима се бави Завод, од 0.05Hz -100Hz.

Основне компоненте *recorder-a* приказане су на слици 11. а испрекиданом линијом су означени опциони модули.



Слика 11. Основне компоненте сеизмичког *recorder-a*

Кондиционирање и припрема улазног сигнала -ASP је нарочито значајна код примене пасивних електродинамичких сензора, јер импеданца *recorder-a* утиче на осетљивост и фреквентни одзив самог сензора. Већина сензора у Националној мрежи су краткопериодични пасивни сеизмометри типа CM3 и C5C. За активне широкопојасне сензоре STS-1, STS,-2 и PBB-200S утицај улазне импеданце се може занемарити. Улазна јединица има и заштитну улогу од електростатичких пражњења на улазу –ESD *protection*. У овом делу је смештен и предпојачавач који са аналогно дигиталним конвертером-ADC одређује резолуцију *recorder-a*, изражену преко односа (волт/ одбирак). Предпојачавач мора да испуни неколико захтева, као што су: линеарност (амплитудна и фазна), низак електронски шум, брз опоравак по засићењу и мала потрошња енергије.

Аналогни филтери *recorder-a* Quantera конструисани су као високопропусни аналогни филтери за уклањање DC-ofseta и дугопериодичног помака/*drift-a* из мереног сигнала. Због утицаја температурних промена на механичке делове сеизмометара, појављује се на запису нискофреквентни отклон од нулте линије. Високопропусни филтери су намењени и маскирању овог температурног отклона. Нископропусни *anti-aliasing* филтери филтрирају сигнал пре уласка у аналогно дигитални конвертор-ADC.

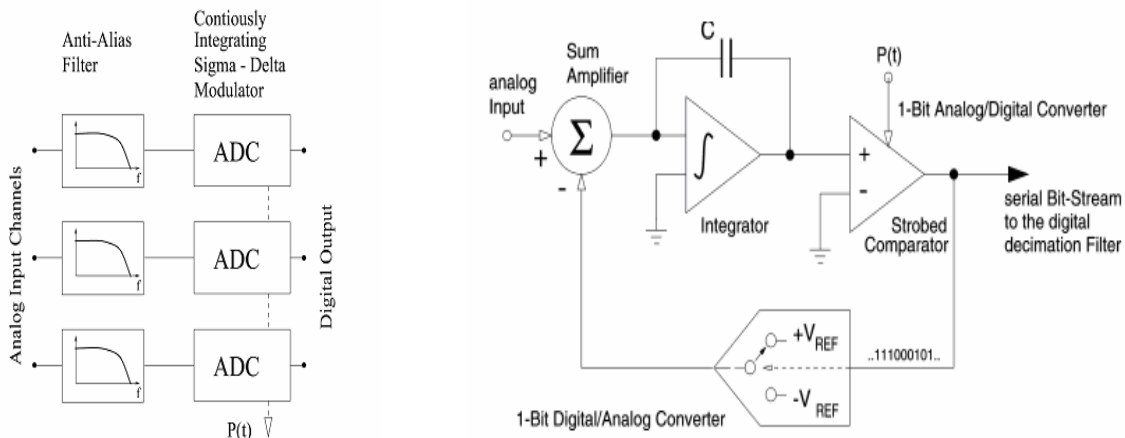
Дигитални филтери имају кључну функцију у процесу *oversampling*-а. Концепт ове методе је повећање односа сигнал/шум који се постиже применом дигиталног нископропусног филтра, којим се филтрирају из сигнала све фреквенције изнад  $f_s/2$ , при чему је  $f_s$  фреквенција узорковања т.ј. фреквенција *oversampling*-а.

### 3.2.1. ADC- Аналогно дигитална конверзија

После филтрирања, аналогни сигнал се узоркује и конвертује у дигиталне вредности. Конверзија континуираног аналогног сигнала у дигиталну временску серију података заснива се на квантизацији у односу на време и амплитуду. Како се дигитални домен састоји само од коначних дужина дигиталне речи, које морају да представљају континуирани сигнал, корак конверзије произрокује грешку квантизације.

За потребе регионалних и локалних изучавања корак узорковања од 100 Hz је сасвим довољан, док је за проузвано изучавање далекеких земљотреса довољан и корак од 20 Hz.

У савременим системима за прикупљање података, не постоји јасна подела између Аналогно дигиталне конверзија и Дигиталне обрада сигнала, као што је приказано на слици. 12. ADC има функцију и дигиталне обраде сигнала у сврху постизања високе резолуције, великог односа сигнал-шум и високе динамике. Примењене технике се заснивају на континуираној интеграцији и *oversampling*-у у комбинацији са пажљиво дизајнираним дигиталним ниско-пропусним филтерима. У сеизмичким *recorder*-има типа *Quantera* и дигитализатору *Wave24*, који су у употреби у Србији, Делта-Сигма модулатор се користи као аналогно дигитални конвертор ADC.

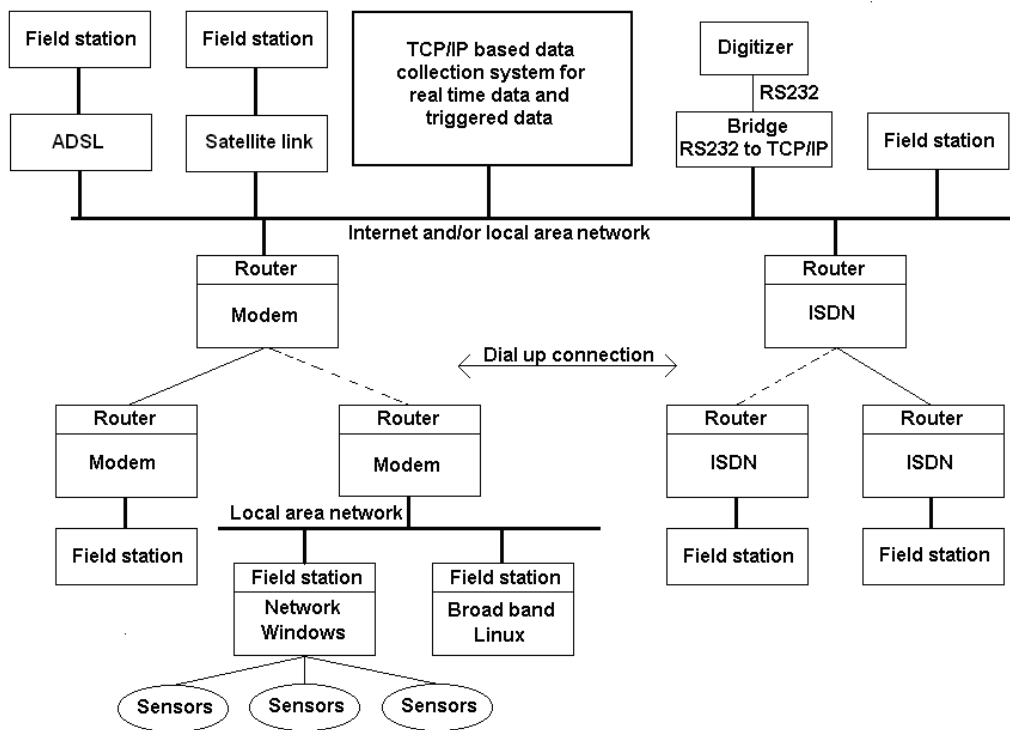


Слика 12. ADC концепт дигиталних *recorder*-а *Quantera* и *WAVE24* са Delta-Sigma модулатором

### 3.3. Пренос континуалних сеизмичких података у реалном времену

Успех функционисања сеизмолошке мреже почива углавном на поузданости и квалитету система за пренос података, било посебним линијама или интернетом. Кључ добијања брзе информације је у поузданом преносу података у централну станицу где се врши аутоматска обрада и локација земљотреса. Национална сеизмолошка мрежа Србије је потпуну трансформацију остварила повезивањем свих сеизмолошких станица у реалном времену. Централна станица је повезана са теренским, користећи сателитски, бежични и ADSL интернет уз примену софтвера који обезбеђује поуздану аквизицију података. На тај начин савремени европски стандарди организације сеизмолошке мреже су достигнути.

Сумарни приказ начина дигиталне комуникације и преноса података у сеизмолошкој мрежи Завода приказан је на слици 13. Duplex као начин комуникације са сеизмолошким станицама у циљу преноса дигиталних података омогућава примену различитих метода контроле грешака у преносу као што су *CS-simple parity check* и *CRC-error detection*. По утврђивању грешке у преносу, пренос блока са грешком се понавља. На кључним станицама постоји бар један резервни начин комуникације или најгорем случају то је комуникација телефонским *dialup*-ом.



Слика 13. Облици дигиталне комуникације и преноса дигиталних података у сеизмолошкој мрежи Србије

Протокол за континуални пренос података је SEEDLink *protocol*. Програм на страни удаљене сеизмолошке станице, емитује преко одговарајућег канала (*socket-a*), пакете од 512 бајтова података, којима софтвер из централне сеизмолошке станице приступа, на истом каналу (*socket-y*), и континуално их преузима. Један блок података садржи информацију о статусу преноса и постављеном захтеву за подацима. На тај начин SEEDLink може да захтева недостајуће податке у протеклом времену (преносу). На терену су уређаји најчешће повезани у локалној мрежи *Ethernet*-ом али је на нивоу целе мреже, теренских и централне станице конекција базирана на *TCP/IP* протоколу.

Сви системи за дигиталну аквизицију као и системи преноса узрокују одређено временско кашњење «*latency*». Ово кашњење зависи од дигитализатора, протокола за пренос дигиталних података и рачунара који прима податке. Све дигиталне станице у Србији «маркирају» време на самој станици на терену, како не би накнадно кашњење у преносу података имало ефекат на тачност временске базе регистрованих сеизмограма у мрежи.

### 3.3.1. Формат података

Два формата су значајна у сеизмолошкој пракси, први је за размену регистрованих записа у реалном времену а други за размену параметарских података о резултатима анализе и локације земљотреса.

Стандард, прихваћен нарочито у Европи за размену података о целокупном запису сеизмичких таласа је SEED (Standard for the Exchange of Earthquake Data), а за размену у реалном времену његова скраћена верзија mSEED. SEED је једини стандард који у себи садржи најважније податке metadata и целокупни таласни запис у јединственом фајлу који се назива *SEED volume*. Подаци које садржи MiniSEED су подкуп података SEED формата. У циљу уштеде времена и комуникациских ресурса подаци са сеизмолошких станица се преносе и архивирају у MiniSEED формату. Пакет података у овом формату састоји из три главна поља:

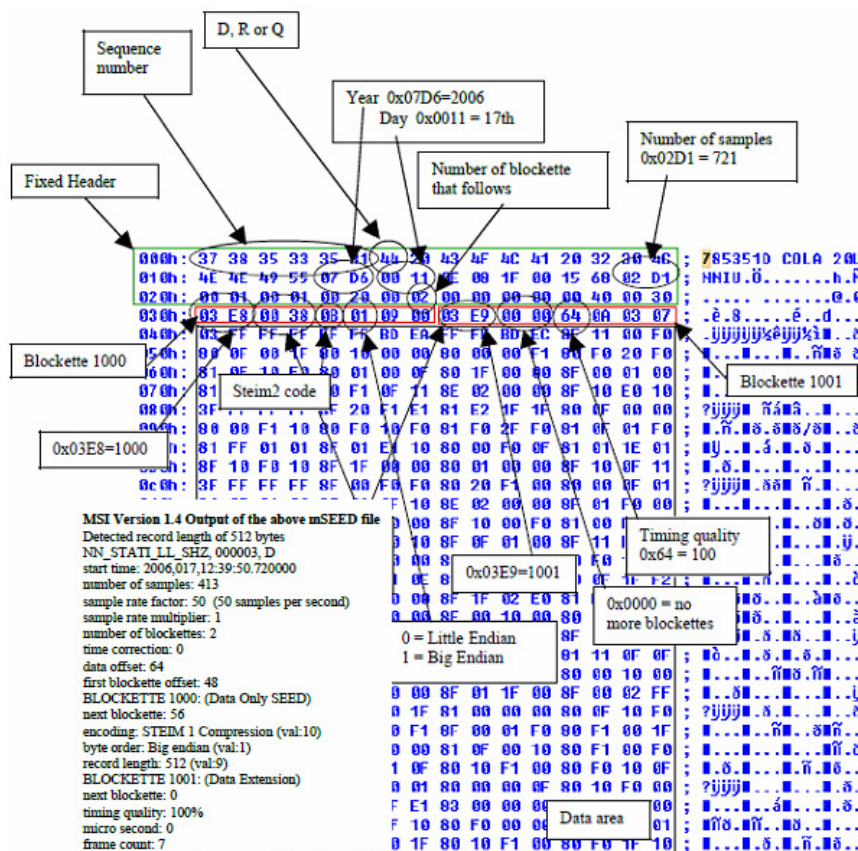
1. заглавље фиксиране дужине 48 бајтова
2. један или два блока чији је код унапред дефинисан као 1000 и 1001 са фиксном дужином записа од 8 бајтова
3. поље са подацима-низ читаног броја *count*-а на сваком одбирку-семплу (највише до 448 бајтова с обзиром на укупно ограничење пакета од 512 бајтова).

Бинарни излед записа у mSEED формату дат је у табели 1 са текстуалним изгледом читаног записа.

У заглављу се налазе општи подаци као што су : код станице, мреже и канала, брзина узорковања и други Посебни подаци везани за сесију: почетно време, број семплова и број пакета података. Блок 1000 садржи поред кода блока и податак о начину компримовања података. У софтверу који Завод користи за аквизицију то су STEIM1 и STEIM2.

Алгоритам за паковање подата STEIM базиран је на чињеници да је ефикасније преношење само података о разлици у броју *count*-а у два сукцесивна податка, него целих 24 или 32 *integer*-а. По овој методи компримовање података се врши у прозорима од 64 бајта, односно укупно се преноси 7 *frame*-ова. Да би подаци били учитани на неком компјутеру потребан је само софтвер који „разуме“ логичку структуру записа и приступ TCP/IP socket-у.

Табела 1. Шематски приказ бинарне форме у хексадецималном облику mSEED формата са текстуалним изгледом



Да би таласна слика могла да буде интерпретирана, не само у временском домену (наиласци различитих таласа), већ и у амплитудном (дефинисање магнитуде) и спектралном домену, неопходни су мета-подаци о инструментацији. *Metadata* су подаци о типу сензора, његовим фреквентним карактеристикама, осетљивости. Уз помоћ ових података могућа је реконструкција изворног сизмичког сигнала у амплитудном и фреквентном домену филтрирана од утицаја система за регистровање и дигитализацију сигнала. Метадата су кроз параметарске фајлове за анализу и обраду сеизмолошких података укључене у обраду података.

Формат који Завод користи за размену параметарских фајлова који су резултат било аутоматске било рутинске локације земљотреса је GSE2.0. (Group of Scientific Experts)



приказан у табели 2. Подаци које овај формат обухвата су: положај епицентра, дубина хипоцентра, магнитуда, време наилазака појединих сеизмичких таласа са одговарајућим грешкама, број станица чији су подаци коришћени, амплитуде, периоде и друго.

Табела 2. Форма GSE2.0. формата

```

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
1130204006
           0.6  0.12  0.04  7.8  1.32  4.71
ke
           m i

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
ML 4.5  BEO
BBLs  2.34  e Sn  2013/02/04 04:30:52.5
ML 0.0  BEO
TEKS  2.56  e Pn  2013/02/04 04:30:27.9
ML 0.0  BEO
TEKS  2.56  e Sn  2013/02/04 04:30:56.8
ML 4.0  BEO
STOP

```

Стандардизовани формат омогућава аутоматско читавање и репроцесирање података у међународним и другим националним сеизмолошким центрима.

### 3.4. Архивирање и размена података

У Заводу се архивирање и размена сирових података обавља у mSEED формату.

Генерално подаци се могу размењивати у компримованом и оригиналном облику са или без провере идентитета. Протокол користи јединицу информације која се зове *frame* да успостави или промени везу и размени податке између оног ко шаље и/или прима податке. Само један *frame* се размењује у било којој фази процеса. У случају губитка везе користи се *time-out*. Процес има седеће фазе: Успостављање везе, пренос података, промена конекције (по потреби) и прекидање конекције. (може бити по слању упозорења о прекиду или због споре или прекинуте конекције).

Трајно архивирање података се врши на уређају за архивирање у коме су 3 диска у RAID-у и на DVD-дискетима. Поред овог копије се чувају на Дивчибарама у паралелном центру и на два фајл сервера у Заводу.

Размена у реалном времену целокупног таласног записа између националних центара омогућава креирање виртуелне сеизмолошке мреже. Коришћењем изворних регистрација са сеизмолошких станица суседних земаља и Европе преузимањем дигиталних података из њихових архива у реалном времену значајно се подиже

поузданост и тачност у лоцирању земљотреса. Виртуелна сеизмолошка мрежа Србије обухвата 15 држава и 79 сеизмолошке станице са положајем приказаним на слици 14.



Слика 14. Виртуелна сеизмолошка мрежа Србије

### 3.5. Аутоматска обрада података

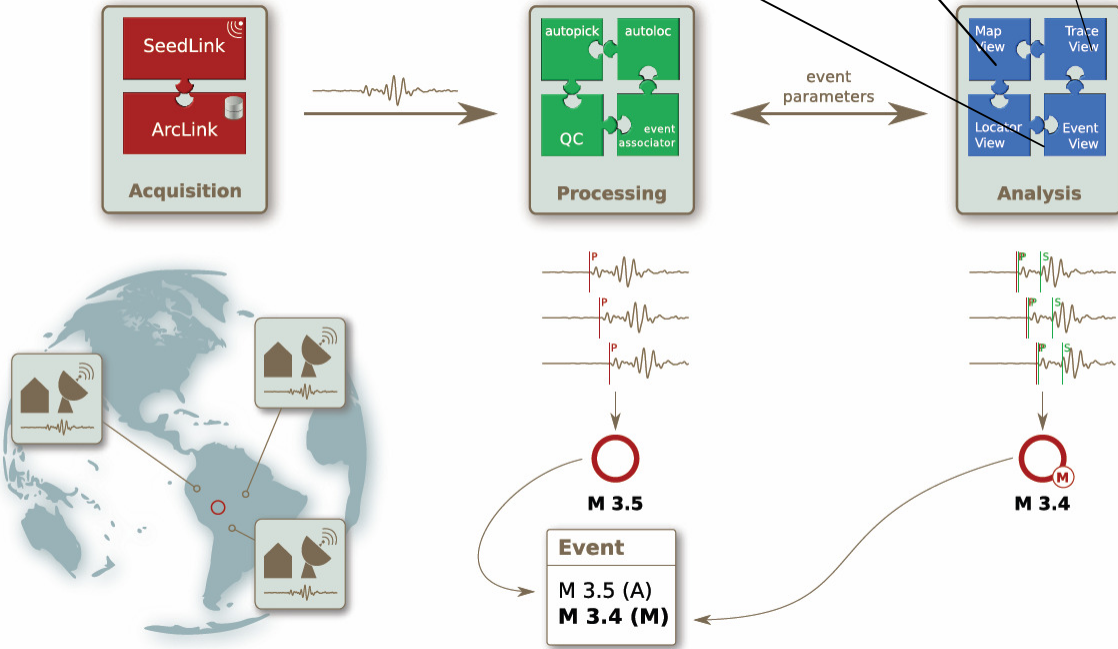
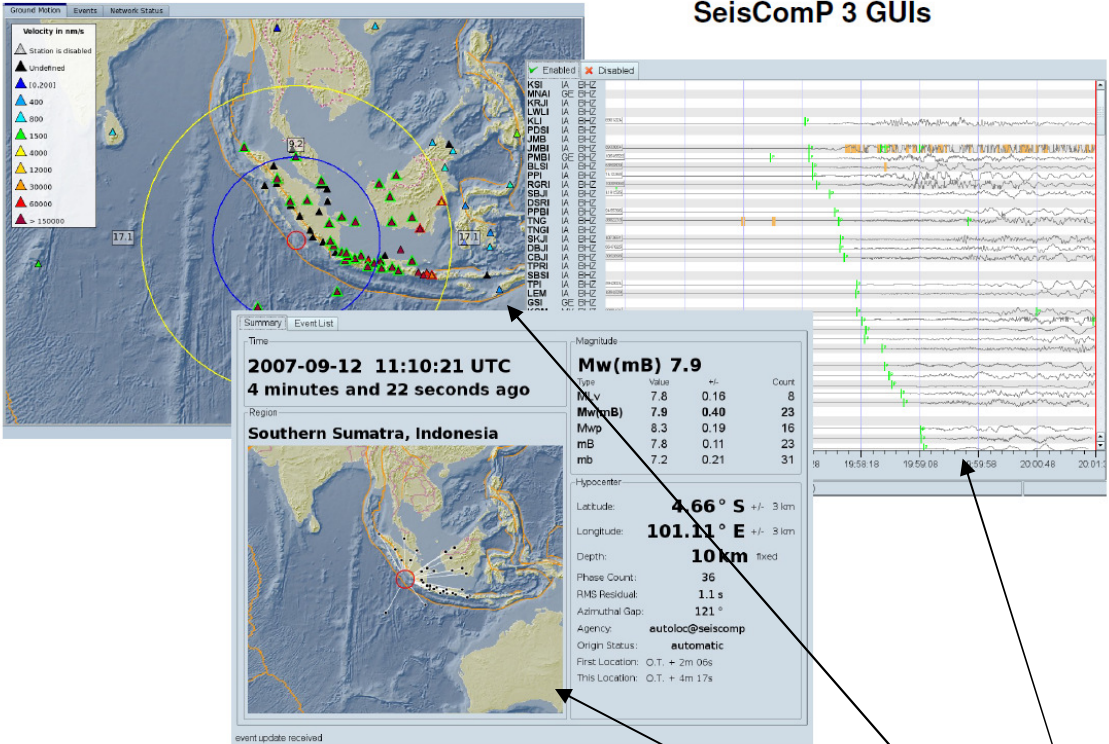
Један од показатеља успешности рада сеизмолошке мреже је брза и прецизна аутоматска локација земљотреса. Преуслов су прецизни и поуздано регистровани сеизмолошки подаци са распрострањене, али довољно густе сеизмолошке мреже, доступни у реалном времену. Виртуелна сеизмолошка мрежа Србије испуњава постављене услове па је 2006. године покренута аутоматска локација земљотреса. Програмским пакетом *SeisComp2.1* и *SeisComp 3* се врши и аквизиција и аутоматска обрада дигиталних сеизмичких сигнала. Програм ради на платформи оперативног система *Linux SuSe 9.3* до *10.0*.

У основи софтверског решења за аутоматску локацију земљотреса је (слика15):

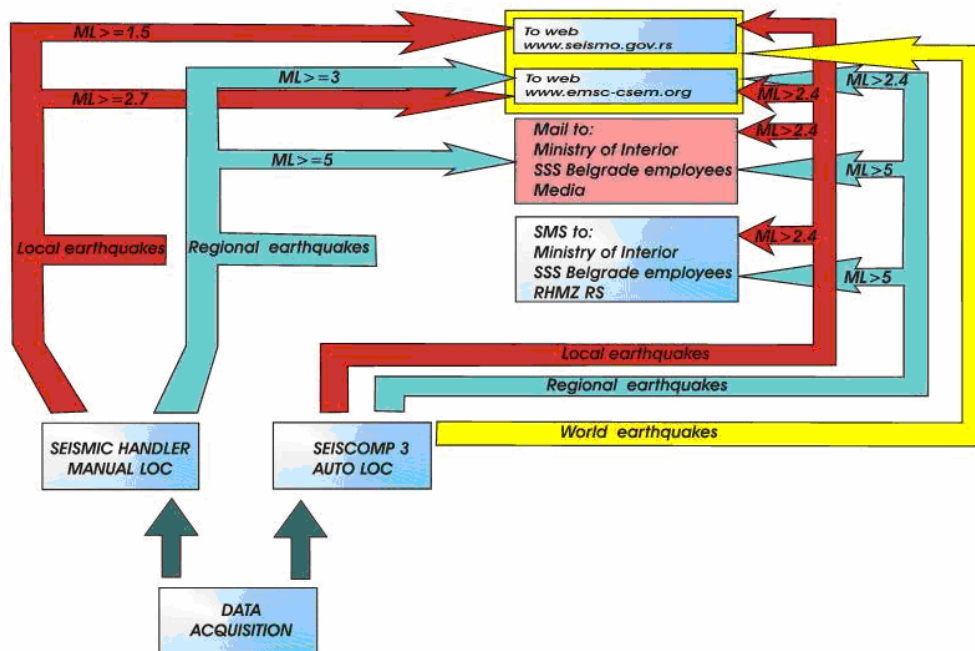
1. преузимање података из архиве,
2. аутоматско пикирање сеизмичких фаза- времена наилазака лонгитудиналних таласа, придруживање података о истом догађају са других станица мреже,
3. лоцирање земљотреса итеративним поступком,
4. дефинисање амплитуда,
5. дефинисање магнитуде и
6. публиковање података.

Тачност лоцирања у највећој мери зависи од поузданости методе за пикирање сеизмичких фаза.

# SeisComP 3 GUIs



Слика 15 Автоматско лоцирање земљотреса



Слика 16. Логичка шема за састављање листе за извештавање

GUI (Graphical user interface) омогућава интерактивно праћење и кориговање резултата аутоматске обраде. Управљање процесом лоцирања подржано је графичким приказима величине, просторне и азимуталне расподеле грешака лоцирања земљотреса. На слици 15. је изглед приказа током локације земљотреса и ток процеса аутоматског лоцирања земљотреса. Време издавања првих резултата је око 5 минута.

### 3.5.1 Извештавање – узбуњивање

Функција сеизмичког аларма, која захтева хитну реакцију после јаких земљотреса, намењена је првенствено цивилној заштити и издаје се са циљем ублажавања социјалних и економских последица од оштећења изазваних јаким земљотресом. Рано упозоравање је један од примарних захтева друштва које улажу у развој сеизмолошких мрежа. Програмски пакет *SeisComp3* не садржи опцију издавања аларма и публикација података на интернету, у актуелној верзији. Стога су у Заводу написани скриптиви у C shell-у којима се прослеђују информације e-mailом и SMS-ом надлежним органима, у међународне сеизмолошке центре, медијима и на интернет презентацију Завода. Цео поступак је аутоматизован и завршава се у року од 10 минута по догађању земљотреса. Листа за информисање је примерена јачини земљотреса и саставља се на основу критеријума величине магнитуде и географског положаја епицентра а према логичкој шеми приказаној на слика 16.

### 3.5.2. Публиковање података на интернет презентацији

Коначни резултат сеизмолошких мерења је аутоматски и рутински лоциран земљотрес са дефинисаном магнитудом и процењеним интензитетом и ти се подаци непосредно по дефинисању публикују на интернету са одговарајућим графичким и текстуалним прилозима. Цео процес од догађања земљотреса, обављања свих потребних мерења, на простору који обухвата више хиљада километар, обраде, преноса сигнала, прорачуна и извештавања одвија се по унапред дефинисаним процедурама и завршава публиковањем података за јавност у року од 10 минута. Изглед прве стране презентације приказан је на слици 17.

Републички сеизмолошки завод | Republički seizmološki zavod | Seismological survey of Serbia

Република Србија  
Republika Srbija  
Republic of Serbia

Српски Српски English

О заводу Сеизмичност Станице Сеизмограми Лоцирани

Презентација је прилагођена за Internet Explorer Browser

АУТОМАТСКА ЛОКАЦИЈА три последња земљотреса са територије Србије

Датум_Време(GMT)/Инфо	Географска ширина	Географска дужина	Магнитуда	Област/Карта
2013/02/01_09:01:27.4	43.53 N	20.61 E	M=1.6	СРБИЈА Баљевац на Ибру
2013/01/30_19:25:47.9	44.06 N	20.63 E	M=1.4	СРБИЈА Крагујевац
2013/01/23_16:28:30.4	44.13 N	20.04 E	M=1.7	СРБИЈА Косјерић

Ово су прелиминарни подаци. Коначне податке погледати на Лоцирани/Обрађени

**GEOGRAFSKE KOORDINATE, 43.76 N, 20.66 E**

18° 19° 20° 21° 22° 23°

46° 45° 44° 43° 42°

Subotica Novi Sad Vršac BEOGRAD Valjevo Bor Zajčar Kragujevac Uzice Kraljevo N. Vrnjačka N. Pazar Leskovac Ploče Pristina Priština Prizren

**ПОСЛЕДЊИ ЗЕМЉОТРЕС (M >= 2.3)**

05.01.2013. у 11:11 часова по локалном времену регистрован је земљотрес магнитуде 3.0 јединица Рихтерове скале у региону Краљева. Интензитет у епицентру процењен је на IV степена Меркалијеве скале. Земљотреси оваквог интензитета не могу да изазову оштећења на објектима у епицентралној области. Опширније

**АРХИВА-ВЕСТИ**

15.07--Информација о сеизмичкој активности Копаоника

24.12-- Краљевачки земљотрес

**Информатор о раду Републичког сеизмолошког завода**

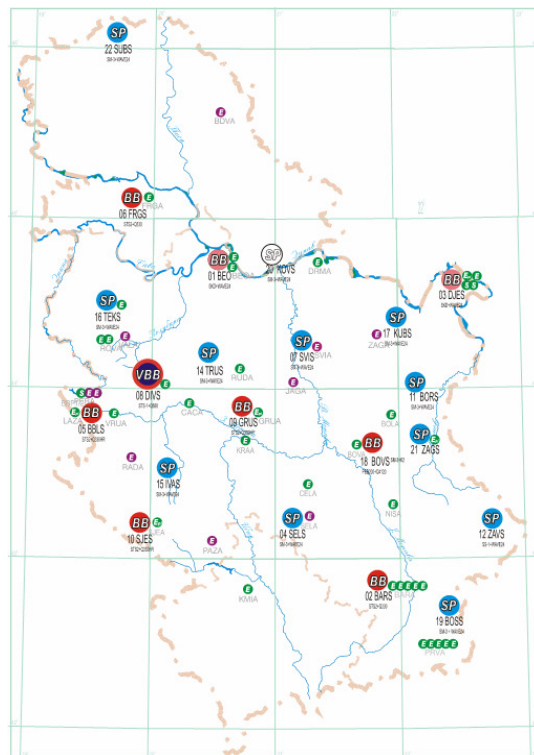
Слика 17. Интернет презентација Завода [www.seismo.gov.rs](http://www.seismo.gov.rs)

### 3.6. Рутинска обрада података

Рутинска обрада мерених података одвија се у опсерваторијским условима као прелиминарна локација, непосредно по догађању земљотреса. Коначна анализа регистрованих података подразумева поред дефинисања локације земљотреса и његове магнитуде и дефинисање поларитета и јасноће сеизмичких фаза, анализу спектралних карактеристика земљотреса, процену интензитета и одлагање истих у месечне билтене и годишњаке. Ови подаци су основа за детаљна проучавања сеизмичности, дефинисање сеизмичког хазарда, дефинисање механизма земљотреса као је приказано на слици 1.

## 4. КОНФИГУРАЦИЈА НАЦИОНАЛНЕ СЕИЗМОЛОШКЕ МРЕЖЕ

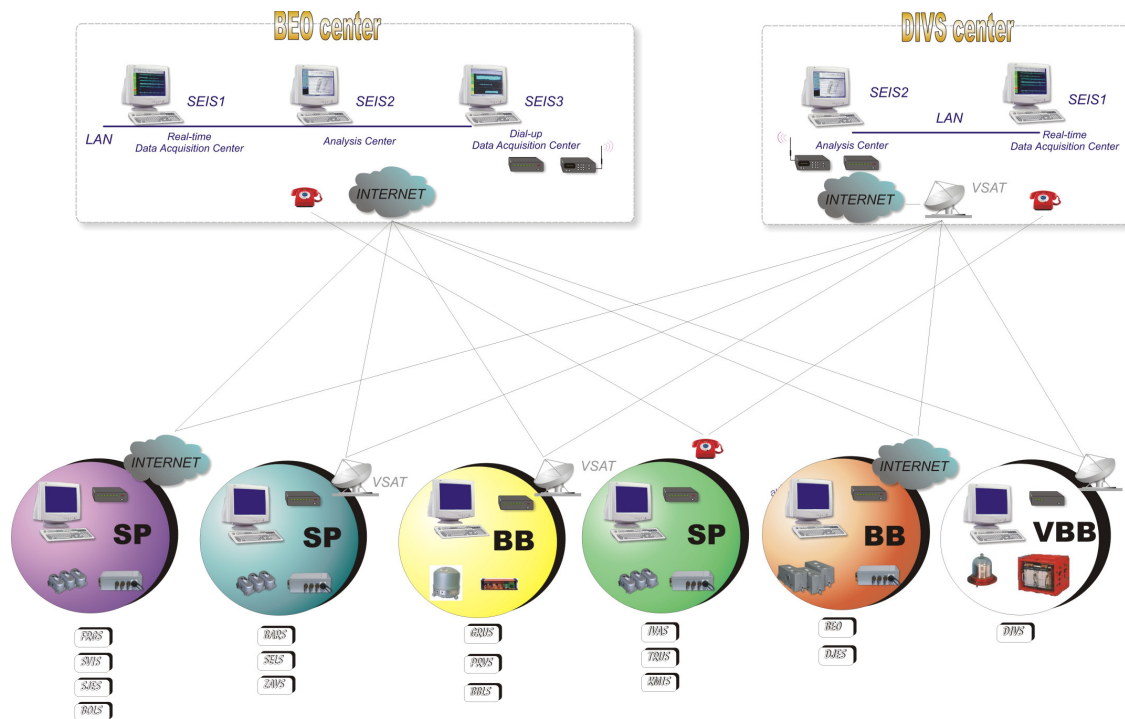
Сеизмолошка мрежа Србије је типична дигитална сеизмолошка мрежа (искључиво су сензори аналогни) базирана на преносу сигнала интернетом у реалном времену. Данас се састоји од 21 сеизмолошке станице и 25 акцелерографа и три локалне мреже акцелерографа. Окосницу система представља једна централна сеизмолошка станица са ВВ (широкопојасним сеизмометром) у Београду, *beck-up* сеизмолошки центар на Дивчибарама са VBB (широко-широкопојасним сеизмометром) 6 сеизмолошких станица са ВВ сеизмолошким сензорима, 19 сеизмолошких станица са SP (краткопериодичним сензорима) и 25 акцелерографа. Просторни распоред станица приказан је на слици 19.



Слика 19. Просторни распоред сеизмолошких и акцелерометарских мерних места

Сеизмолошке станице су опремљене широкопојасним и краткопериодичним велосиметрима и акцелерометрима, дигитализатором, рачунаром за регистровање података и уређајима за комуникацију и пријем сигнала GPS тачног времена. Већина података се континуално сакупља у централним станицама преко SeedLink сервера.

Аквизиција података на сеизмолошким станицама врши се са софтвером SeiComp2.1. У централној сеизмолошкој станици аквизиција се врши паралелно са два система SeisComp2.1 и SeisComp3. Вид комуникације и тип сензора су приказани на слици 20.



Слика 20. Тип комуникациских веза у Националној сеизмолошкој мрежи

Од почетка 2007 године на сеизмолошким станицама користи се дигитализатор Q330 производ америчке фирме *Kinematics*. Овај изузетно квалитетан уређај има 24 битну аналогно-дигиталну конверзију изузетно малу потрошњу, 8 Mb RAM меморије, пријемник GPS тачног времена, контролу сензора, телеметриски модул, различите филтере, променљиве степене фреквенције узроковања и још неке уско специјализоване карактеристике. На дигитализатор Q330 (слика 21.) је преко одговарајућег комуникационог порта прикључен систем за пријем, контролу и подешавање тачног времена са сателита GPS (Глобални Позициони Систем).

Аквизициони рачунар ради под *Linux SuSe 9.3* до *10.0* оперативним ситемом. Програм за аквизицију је софтверски пакет под називом *SeisComp (Seismological Communication processor)*. Срж софтверског пакета чини систем за аквизицију података *Seedlink*, који прихвата податке у *Mini-SEED* формату величине 512 бајта, архивира их и помоћу

*TCP/IP* протокола на апликационом нивоу комуницира са другим *Seedlink* серверима. Овај систем омогућава размену података у реалном времену, а може радити и у тригеринг режиму.



Слика 21. Изглед рекордера Q330



Слика 22. Аквизициони рачунар и рекордер Q4120



Слика 23, Акцелерограф типа ETNA



Акцелерографска мрежа је базирана на акцелерометру типа *EpiSensor* у комбинацији са дигитализатором *Q330*, или са рекордером *ETNA* (слика 23). *ETNA* је 19 битни дигитализатор чија је основна намена регистровање јаких земљотреса. Већина рекордера овог типа је у реалном времену повезана са централном станицом у Београду.

Најпоузданији вид комуникације у оквиру националне мреже је сателитска комуникација. На 8 сеизмолошких станица примењен је VSAT као начин преноса података. Уређај за сателитску комуникацију састоји се од сателитског модема (унутрашње) (слика 24.) и спољне јединице (тањира са пријемно-предајном јединицом) слика 25.

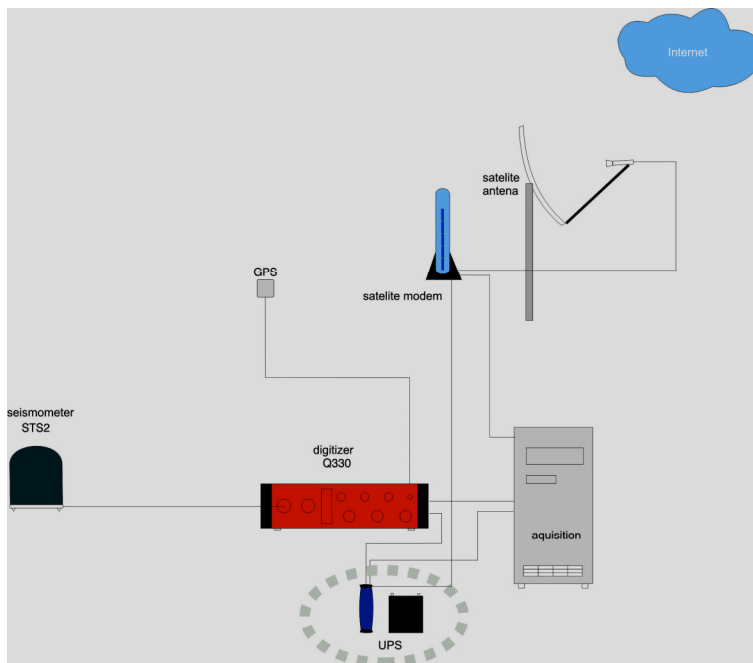


Слика 24. Сателитски модем са уређајем за стално напајање



Слика 25. Спољна јединица сателитског преноса сигнала

Окосница сеизмолошке мреже су сеизмолошке станице опремљене поузданом опремом намењеном за детаљна сеизмолошка истраживања. На слици 26. приказана је блок шема ових станица.



Слика 26. Блока шема сеизмолошке станице првог рада

## 5. ЗАКЉУЧАК

Развој мерних информационих система у Републичком сеизмолошком заводу остварен је применом савременог хрдвера и софтвера за мерење у географски-дистрибуираним процесним системима, применом персоналних рачунара као контролера мерног система, примену телекомуникационих уређаја у преносу, складиштењу, меморисању, преузимању, прорачуну и манипулисању подацима са применом стандарда за даљински надзор, контролу и пренос мерних података.

Примењени софтвер за аквизицију и аутоматску обраду сигнала је некомерцијалан а хардвер је од најпознатијег свтског произвођача.

Модификације софтвера омогућиле су аутоматско извештавање о догођеном земљотресу непосредно по његовом догађања са публиковање података на интернету.

Овај развој резултирао је значајним скраћењем времена до прве информације а самим тим, и у случају јаког земљотреса, могућности бржег спровођења спасилачких активности.

## 6. ЛІТЕРАТУРА

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 compression 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.