

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji



Martin Bachura

Analýza seismického šumu na vybraných stanicích sítě WEBNET

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: doc. RNDr. Tomáš Fischer, Ph.D.

Praha 2011

Prehlásenie

Prehlasujem, že bakalársku prácu na tému *Analýza seismického šumu na vybraných stanicích siete WEBNET* som vypracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje a literatúru. Táto práca ani jej podstatná časť nebola predložená k získaniu iného alebo rovnakého akademického titulu

V Prahe 1.9.2011

Martin Bachura

Pod'akovanie

Pod'akovanie patrí môjmu školiteľovi doc. RNDr. Tomášovi Fischerovi Ph.D. za pomoc a metodický dohľad pri písaní tejto práce.

Abstrakt

Seizmický šum je signál, ktorého pôvod nie je v geologických procesoch, ale predovšetkým v ľudskej činnosti. Vyskytuje sa frekvenciách od jedného Herzu po prvé desiatky Herzov. Intenzita, s akou sa vyskytuje ovplyvňuje spodnú hranicu sily zemetrasení, ktoré sme schopní na stanici zaznamenať. Cieľom tejto práce je analyzovať seizmický šum na západočeskej seizmickej sieti WEBNET, ktorá pracuje v oblasti od počiatku deväťdesiatych rokov. Zemetrasenia v Západných Čechách/Vogtlande sa prejavujú ako dlhotrvajúce zemetrasné roje s magnitúdami do 3,8 stupňa Richterovej škály. Miera s akou sú jej stanice postihnuté antropogénnym šumom sa dá klasifikovať pomocou štatistickej a frekvenčno-časovej analýzy. Na základe takejto klasifikácie je následne možné zhodnotiť kvalitu siete a jej staníc z hľadiska vhodnosti k sledovaniu slabých zemetrasení. Metódu sme aplikovali na vybrané stanice siete WEBNET – Nový Kostel, Kraslice a Skalná. Výsledky ukázali, že všetky tri stanice sú do istej miery ovplyvňované šumom. Táto miera je však veľmi malá a nemá zásadný vplyv na rozlišovaciu schopnosť staníc. Napriek dobrým výsledkom však je možné pozorovať rozdiely v ovplyvnení šumom dané polohou staníc voči obývaným oblastiam. Ako je možné vidieť z priebehu rozsahu amplitúd a zo spektrogramov daných staníc, najmenej ovplyvnené šumom sú stanice umiestnené v lese ďalej od osídlených oblastí (Nový Kostel, Kraslice). Naopak, najvýraznejšie ovplyvnenie šumom zaznamenávame na stanicách umiestnených v obci (Skalná).

Abstract

Seismic signal is affected by noise of non-geological origin. The main source of seismic noise is in human activities. Seismic noise of human origin occurs in the frequency range from one to the first tens of Hz. The noise intensity limits the lower level of the earthquake size that can be recorded by a seismic network. The aim of this thesis is to analyze the seismic noise on selected stations of the West Bohemian seismic network WEBNET which operates in the area since the early nineties. The earthquakes in West Bohemia/Vogtland are manifested in the form of long-lasting earthquake swarms with the magnitudes ranging up to $M_L = 3.8$. The way how the seismic noise influences the seismic stations and their capability of recording small earthquakes can be classified by a statistical and time-frequency analysis. We applied this method to the selected stations NKC, KRC and SKC. The results show that the effect of noise does not deteriorate the sensitivity of the three stations for recording small earthquakes. Despite of quite good results, some differences occur among the three stations, which are most probably caused by the distance of the stations to the populated areas. The smallest noise influence is observed at the stations located far from settlement (NKC and KRC) compared to the station located in a small town (SKC).

Obsah

1. Úvod.....	7
1.1. Západné Čechy/Vogtland.....	7
1.2. Ciele.....	8
1.3. Charakteristika seizmického šumu.....	9
2. Metodika.....	10
2.1. Digitalizácia analógového signálu.....	10
2.2. Štatistická analýza signálu.....	14
2.3. Harmonická analýza signálu.....	16
3. Dáta.....	21
3.1. Stanice siete WEBNET.....	21
3.2. Charakteristika dátových súborov.....	24
3.3. Načítavanie dát.....	25
4. Výsledky.....	26
4.1. Štatistická analýza.....	26
4.2. Časovo – frekvenčná analýza.....	29
5. Záver.....	31
Zoznam požitej literatúry.....	33
Prílohy.....	35

1. Úvod

1.1. Západné Čechy

Oblasť Západných Čiech (Česká republika) a Vogtlandu (Sasko, Spolková republika Nemecko) je známa svojou geodynamickou aktivitou. Najvýraznejším prejavom tejto aktivity sú vnútrodoskové zemetrasné roje, početné na CO₂ bohaté pramene, výrony plynného CO₂ (Fischer et al., 2010).

Zemetrasné roje sa vo svete vyskytujú predovšetkým vo vulkanických oblastiach, geotermálne aktívnych oblastiach a stredoocéánskych riftoch (e.g., Dreger et al. 2000; Wyss et al. 1997). Vnútrodoskové zemetrasné roje vo vulkanicky neaktívnych oblastiach sú najčastejšie zaznamenávané v miestach s činným tokom fluid v zemskej kôre a v oblastiach, kde bol aktívny kvartérny vulkanizmus.

Oblasť Západných Čiech a Volgtlandu patrí medzi posledne menované a geodynamická činnosť tu je práve prejavom odznievajúceho kvartérneho vulkanizmu. Najmladšia sopečná činnosť v oblasti je datovaná do obdobia spred 0,3 až 0,5 Ma rokov (Gogen a Wagner, 2000).

Región patrí do západnej časti Českého masívu, kde sú v kontakte tri tektonické jednotky : Moldanobikum, Saxothuringikum a Teplá-Barandien (Babuška a Plomerová, 2008). Región pretínajú Mariánsko-lázeňský zlom (v smere VSV – ZJZ) a Oherský rift (v smere SSZ – JJV). V nedávnej minulosti bol na základe meraní identifikovaný predpokladaný aktívny zlomový systém v smere S – J: zóna Počátky – Plesná (Bankwitz et al., 2003). Celá oblasť obsahuje niekoľko granitických plutónov v hĺbke do 10 km (Blecha et al., 2009).

Zo seizmologického hľadiska patrí región Západné Čechy – Vogtland do S – J orientovanej Lipsko-Regensburgskej seizmoaktívnej zóny (Bankowitz et al., 2003; Korn et al., 2008) s maximálnymi historicky doloženými zemetraseniami o makroseizmickej intenzite ôsmeho stupňa (škála Medvedev – Sponhauer – Karnik) v roku 1346 a stupňa sedem až osem v rokoch 1366 a 1872 (Leydecker, 2005).

V Západných Čechách/Vogtlande sa seizmická aktivita prejavuje tzv. zemetrasnými rojmi s najčastejšími magnitúdami do 3,5 stupňa Richterovej škály. Intenzívne roje boli pociťované na prelome devätnásteho a dvadsiateho storočia, v rokoch 1896/1897, 1903, 1908/1909 (magnitúda až 5,0 Richterovej škály) so slabšími rojmi v medziobdobiach.

V poslednom období boli roje zaznamenané v roku 1985/1986 (s magnitúdom až 4,6 stupňa Richterovej škály), 2000 a 2008 (Fischer et al., 2010).

Pre štúdium seizmickej aktivity v oblasti sa od roku 1962 budovala na nemeckej strane hraníc sieť analógových staníc VOGTLAND (Neunhofer a Guth, 1989) . Na českej strane sa v roku 1989 začalo so zavedením siete digitálnych staníc WEBNET. Tá v súčasnosti zahŕňa 13 stálych a 9 dočasných staníc. Sieť spravuje Geofyzikálny ústav Akadémie vied Českej republiky v Prahe.

Okrem týchto dvoch sietí je širšia oblasť monitorovaná saskou sieťou SXNET, Bavorskou seizmologickou sieťou a sieťou KRAS-NET (Masarykova Univerzita Brno).

Pri meraní seizmickej aktivity slabých zemetrasení má dôležitý vplyv na výsledky miera, akou danú stanicu ovplyvňuje nestacionárny šum. Jeho prítomnosť znižuje detekčnú schopnosť staníc pri identifikácii veľmi slabých zemetrasení. Napríklad pri zemetrasnom roji v Západných Čechách z roku 2008 boli zemetrasenia o sile 0,5 až 3,8 stupňa Richterovej škály. Najsilnejšie zemetrasenia sa vyskytovali na frekvenciách 3 až 10 Hz (Fischer et al., 2010). Šum prejavujúci sa na frekvenciách 1 Hz až prvé desiatky Herzov vážne ovplyvňuje sledovanie práve takýchto zemetrasení.

Nestacionárny šum je produktom ľudskej činnosti a na rozdiel od seizmického signálu nie je širokospektrálny. Svojou prítomnosťou tak narušuje pôvodné normálne rozdelenie signálu. Groos a Ritter (2010) zaviedli štatistickú metódu, ktorá na základe odchýlky rozdelenia signálu so šumom od normálneho rozdelenia dokáže klasifikovať jednotlivé stanice a následne zhodnotiť ich vhodnosť pre štúdium mikrozemtrasení. Svoju metódu aplikovali na oblasť Hornorýnskej kotliny v okolí miest Štrasburg a Karlsruhe. Zamerali sa na vyššie spomenuté „šumové“ frekvencie (1 Hz až 50 Hz), ktoré sú dôležité pre monitorovanie mikrozemtrasení s magnitúdom do 3,0 stupňa Richterovej škály.

1.2. Ciele

Naším cieľom je túto štatistickú metódu zaviesť na vybrané stanice siete WEBNET a zhodnotiť ich vhodnosť pre monitorovanie takto slabých zemetrasení. Vo výsledku budeme schopní charakterizovať a klasifikovať stanice z hľadiska ich postihnutia šumom.

Pre bližšie preskúmania šumu na stanicích a zdrojov šumu využijeme Fourierovu analýzu signálu a vyhotovíme spektrogramy pre jednotlivé stanice, pomocou ktorých je možné ukázať časovú variabilitu nestacionárneho šumu.

1.3. Charakteristika seizmického šumu

Pod pojmom seizmický šum rozumieme súbor signálov zachytávaných seizmometrami, ktorých zdrojom nie je zemetrasná činnosť ani iný seizmický impulz. Tvorí tzv. pozadie na seizmogramoch, na ktoré sa premietajú zemetrasenia. Práve intenzita s akou sa prejavujú šumové signály na konkrétnej stanici určuje, ako silné zemetrasenia sme schopní na stanici zaznamenávať (oddeliť od pozadia). Z hľadiska svojej časovej premenlivosti sa nazýva šumom nestacionárnym. Zdrojmi sú prírodné a ľudské činnosti. Stacionárnym šumom nazývame tzv. biely šum, ktorý sa vyskytuje po celú dobu trvania signálu s rovnakými hodnotami intenzity (veľmi malé hodnoty) na všetkých frekvenciách a pre seizmológiu nie je dôležitý.

Napriek tomu, že antropogénny šum je nežiaducou súčasťou seizmogramov, tak v poslednej dobe sa aj on stáva predmetom záujmu a skúmania (Groos a Ritter, 2010).

Zdroje seizmického šumu určujú, na akých frekvenciách sa bude vyskytovať. Pre šum produkovaný ľudskou činnosťou sú charakteristické frekvencie 1 Hz až 45 Hz (najvýraznejšie do 30 Hz), pre šum z prírodných zdrojov 0,008 Hz až 0,6 Hz. Prechodná zóna 0,6 Hz až 1 Hz sa vyznačuje prekrývaním oboch zdrojov signálu (Groos a Ritter, 2009).

Periodické signály nestacionárneho šumu s prírodnými zdrojmi (pozorujú sa na frekvenciách menších ako 0,6 Hz) sa nazývajú mikrosezmy (Groos a Ritter, 2009). Pri týchto frekvenciách sa strácajú zmeny spôsobené vplyvom striedania dňa a noci. Hlavnou zložkou mikrosezmiem sú Rayleighove vlny indukované vlnením morí, hoci aj vo vzdialenostiach stoviek kilometrov. Morské mikrosezmy (s frekvenciou 0,33 Hz) je možné vidieť na stanici Nový Kostel vybavenej širokopásmovým snímačom Guralp 40-T.

Vo frekvenčnom rozsahu 0,6 až 1 Hz sledujeme vlnenia z prírodných a j antropogénnych zdrojov (Groos a Ritter, 2009). Najčastejším zdrojom týchto vlnení sú poveternostné podmienky, v menšej miere potom ľudská činnosť (tú je na týchto frekvenciách možno rozoznať z denných a nočných rozdielov hodnôt výkonového spektra).

Najvýznamnejšou súčasťou nestacionárneho šumu je šum na frekvenciách väčších ako 1 Hz. Zdrojom sú v drvivej väčšine antropogénne zdroje. Takéto impulzy sa nazývajú

mikrotremory (Groos a Ritter, 2009). Typické pre mikrotremory sú výrazné rozdiely v hodnotách výkonového spektra medzi dňom a nocou, najlepšie zaznamenateľné na seizmogramoch. V spektrogramoch je často možné vidieť vodorovné čiary, ukazujúce sínusové vlnenie so zdrojom v rotujúcich strojoch v priemysle. Tieto čiary sa vyskytujú najčastejšia na frekvenciách 2,08 Hz, 12,5 Hz, 16,7 Hz, 25 Hz a 50 Hz, je možné ich jasne sledovať na seizmogramoch z priemyselných oblastí (Groos a Ritter 2009).

2. Metodika

2.1. Digitalizácia analógového signálu

Digitálny seizmogram je sekvencia čísel získaná z kontinuálneho výstupového napätia seizmického senzoru procesom digitálnej konverzie. Aby takýto diskretný výstup dostatočne presne nahrádzal analógový signál, musia byť správne nastavené parametre procesu digitálnej konverzie (Scherbaum, 2001).

Prechod z analógových (kontinuálnych) dát do diskretných dát zahŕňa dva procesy: vzorkovanie (diskretizácia) a konverziu (kvantifikácia a kódovanie).

Vzorkovanie spočíva v odoberaní vzoriek z kontinuálneho dátového toku (signálu) v pravidelných časových intervaloch. Na vzorkovanie tiež môžeme pozeráť ako na tvorbu sekvencie delta impulzov, ktoré po sebe nasledujú s časovým krokom T (Scherbaum, 2001). Časový krok T musí byť konštantný. Vzorkovacia frekvencia je počet odobratí vzoriek z analógového signálu za dobu jednej sekundy. Je daná vzorcom:

$$f_s = \frac{1}{T}$$

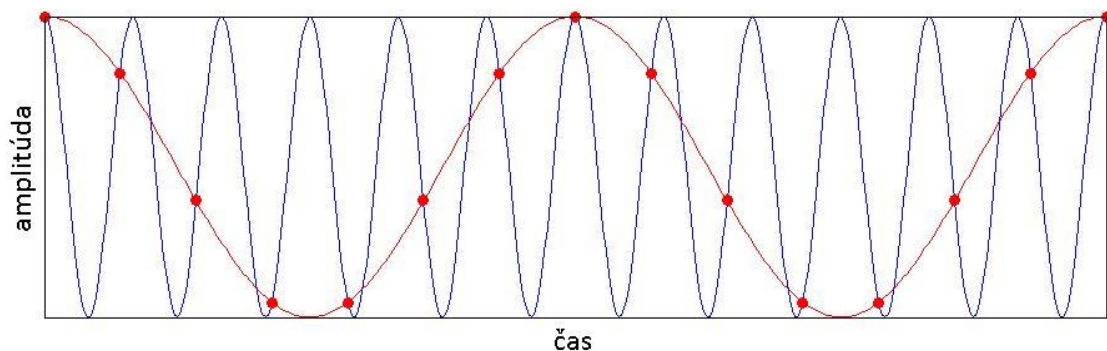
Vzorkovacia frekvencia nám určuje, aké frekvencie z pôvodného analógového signálu sme schopní zachytiť v diskretnom signáli. Pre správne vzorkovanie musí byť splnený vzorkovací (Shanonov) teorém:

Pre správne reprezentovanie kontinuálneho signálu signálom digitálnym s vzorkovacou frekvenciou f_s (vzorkovací krok $1/f_s$) musí platiť podmienka, že v pôvodnom signáli sa nevyskytuje energia vo frekvenciách $f_s/2$ a vyšších. Frekvencia $f_s/2$ sa nazýva Nyquistova frekvencia. Pre vzorkovaciu frekvenciu musí platiť, že

$$f_s = f_{\max} \cdot 2,$$

kde f_{\max} je maximálna frekvencia pôvodného analógového signálu.

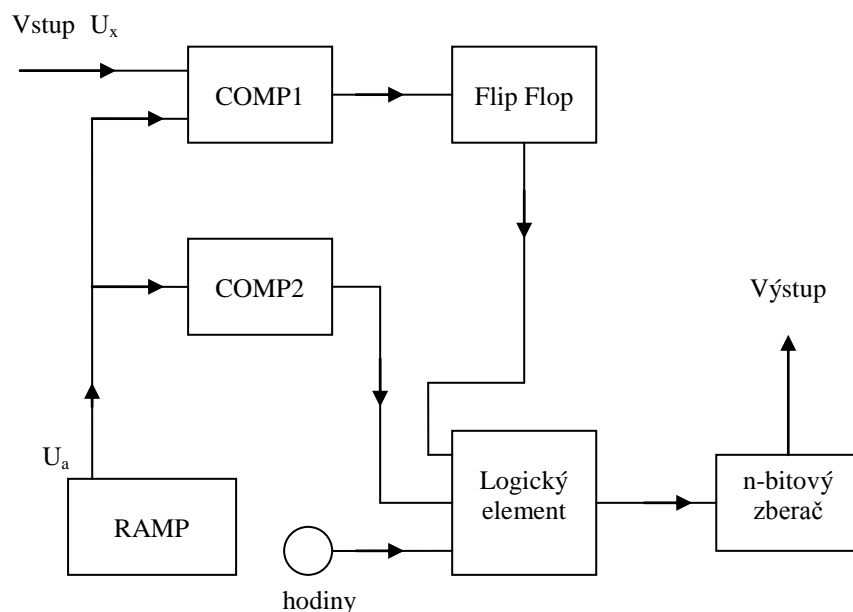
Pokiaľ pôvodný signál obsahuje frekvencie vyššie ako je Nyquistova, potom sa energia týchto frekvencií transformuje symetricky podľa Nyquistovej frekvencie do nižších frekvencií (Scherbaum, 2001). Tento jav sa nazýva *aliasing*, vznikanie frekvenčných komponent v diskretnom signáli, ktoré v pôvodnom signáli neboli (Obrázok 1). Pri vzorkovacej frekvencii 250 Hz môže byť maximálna frekvencia signálu, ktorý vzorkujeme 125 Hz (Nyquistova frekvencia). V prípade, že je maximálna frekvencia signály napríklad 150 Hz, potom sa 25 Hz, ktoré sú nad Nyquistovou frekvenciou symetrický transformujú pod ňu a poškodia signál na frekvenciách 100 až 125 Hz.



Obrázok 1: Vznik aliasovej frekvencie (červená) v dôsledku nesprávne zvolenej vzorkovacej frekvencie.

Každá diskretná rada vzniknutá vzorkovaním z analógového signálu má hodnoty vo svojich „peakoch“ najbližšie možné hodnotám pôvodného analógového signálu v tom istom čase. To, ako blízko bude táto diskretná hodnota blízko hodnote reálnej je dané rozlíšením snímacieho zariadenia – aparatury zberu dát.

Proces odpočtu hodnôt z diskkrétnej rady sa nazýva konverzia (Scherbaum, 2001). Prebieha v analógovo-digitálnom konvertore (Obrázok 2). Každá hodnota analógového signálu je vlastne hodnota napätia U_x v čase x . Predpokladajme, že napätie U_x ostáva konštantné počas doby potrebnej na konverziu. Vstup napätia U_x iniciuje spustenie analógového RAMP generátora, ktorý začne produkovať s časom lineárne rastúce napätie U_a . Napätie U_a je skontrolované v komparátore COMP2 či je väčšie alebo rovné nule. Keď už raz prekročí hodnotu $0V$, vyšle komparátor COMP2 impulz logickému elementu, ktorého napätie sa prepne na hodnotu 1. Logický element je pripojený k hodinám, ktoré vyšlú impulz napätia hodnoty 1 po každom časovom cykle a flip-flop zariadeniu. Flip-flop zariadenie je pripojené ku komparátoru COMP1 a má hodnotu napätia 1. Keď sú vstupy do logického elementu kladné (z hodín, komparátora COMP2 a flip-flop zariadenia), tak logický element vyšle impulz n-bitovému zberaču. V komparátore COMP1 sa porovnáva, či je lineárne rastúce napätie U_a väčšie alebo rovné U_x . Pokiaľ je, tak komparátor vyšle impulz flip-flop zariadeniu a to sa prepne na hodnotu napätia 0. Logický element tým pádom prestane vysielat' impulzy n-bitovému zberaču. Ten používa binárne kódovanie s množstvom uložených impulzov daných vzorcom $2^n - 1$ (24 bitový zberač uloží maximálne $2^{24} - 1$ impulzov).



Obrázok 2: Analógovo digitálny konvertor.

Celý princíp kvantifikácie spočíva v tom, že sa počíta počet časových cyklov, ktoré musia uplynúť kým napätie U_a prekoná hodnotou U_x (Scherbaum, 2001). Presnosť, s akou sa stanoví hodnota napätia U_x je daná počtom impulzov, ktoré je n-bitový zberač dát

schopný uchovať v pamäti. Podľa počtu bitov zberača sa určuje dĺžka jedného časového cyklu v hodinách.

Pri zberačoch dát sa zavádza hodnota least significant bit (LSB, najmenší významný bit) a most significant bit (MSB, najväčší významný bit). V seizmológii je dôležitá hodnota LSB (Scherbaum, 2001). Čo je LSB je bližšie vysvetlené na príklade.

Príklad:

Číslo 13 je v binárnej sústave zapísané 1101. LSB je najmenší bit, tj. $1 \cdot 2^0$, MSB je najväčší bit, $1 \cdot 2^3$. V binárnom kóde sa zapisuje zľava doprava od MSB po LSB.

$$13 = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3$$

Hodnote LSB zodpovedá zmena napätia, ktorá spôsobí zmenu práve tohto posledného bitu. Obecné vzaté je to najmenšia vstupná zmena ktorá spôsobí zmenu výstupu. Je daná vzorcom:

$$Q = \text{hodnota LSB} = \frac{\text{celý rozsah napätia}}{2^n}$$

Pre lineárne rastúce napätie U_a je potom maximálna chyba $\pm Q/2$. Konvertor s n-bitovou pamäťou nazývame konvertorom s n-bitovým rozlíšením.

Ďalšia veličina, ktorou sa hodnotí kvalita analógovo-digitálneho konvertora je dynamický rozsah (Scherbaum, 2001). Je daný pomerom medzi maximálnou amplitúdou a minimálnou, ktorú je konvertor schopný zachytiť. Dynamický rozsah môže byť uvádzaný vo frekvenčnej oblasti aj v časovej oblasti. Uvádza sa v decibeloch. Je daný vzorcom:

$$D = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{\max}}{A_{\min}} \right)$$

Pre diskrétné dáta predstavuje rozsah čísel, ktoré môžu byť reprezentované pre daný počet bitov. Pre n-bitový analógovo-digitálny konvertor je tento rozsah $2^n - 1$ čísel. Vzorec pre výpočet rozsahu v decibeloch je potom:

$$D = 20 \log_{10}(2^n - 1)$$

2.2. Štatistika

Kvalitu seizmického signálu zachytávaného na stanici je možné charakterizovať a klasifikovať pomocou štatistickej analýzy (Groos a Ritter 2009). Predpokladáme, že všetky zaznamenané signály, bez ohľadu na dobu v ktorej boli zachytávané sa riadia istým rozdelením. Toto rozdelenie, ako môžeme vidieť podľa histogramu seizmického signálu je nápadne podobné rozdeleniu normálnemu (Bendat a Piersol, 1994). Signál, ktorý je stacionárny (nie je postihnutý nestacionárnymi zdrojmi šumu o špecifických amplitúdach na špecifických frekvenciách) sa normálnym rozdelením prakticky riadi.

Normálne rozdelenie je definované vzťahom

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

kde μ je stredná hodnota, a σ je smerodajná odchýlka meranej veličiny. Značí sa $N(\mu, \sigma^2)$. μ naberá hodnoty od $-\infty$ do $+\infty$, σ^2 je kladné a naberá hodnoty od nuly po $+\infty$.

Pre normálne rozdelenie je možné stanoviť význačné intervaly v rámci násobku významnej odchýlky σ (Tabuľka 1). Interval od $-\sigma$ do $+\sigma$ bude ležať medzi percentilmi P_{16} a P_{84} . V tomto intervale sa nachádza 68% z celkového počtu hodnôt skúmanej veličiny (v našom prípade amplitúd signálu). Interval -2σ až $+2\sigma$ bude ležať medzi percentilmi $P_{2,5}$ a $P_{97,5}$. Hodnoty tohto intervalu naberá 95% vzoriek v skúmanej veličine. Tretím dôležitým intervalom je interval -3σ až $+3\sigma$. Jeho hranice tvoria percentily $P_{0,1}$ a $P_{99,9}$.

Tabuľka 1: Významné odchýlky, ich rozsah, dolná a horná hranica.

Odchýlka	% hodnôt	Dolná hranica (percentil)	Horná hranica (percentil)
1* σ	68,269	15,866	84,135
2* σ	95,450	2,275	97,725
3* σ	99,730	0,135	99,865

Tieto intervaly budeme nazývať I68, I95 a I99. Pri normálnom rozdelení sú pomery medzi intervalmi $I99/I95 = 1,5$; $I95/I68 = 2$. Pokiaľ sa skúmaná veličina mení, ale stále sa drží normálneho rozdelenia tak tieto pomery ostávajú konštantné.

Keď pri zmene skúmanej veličiny dôjde k zmene pomerov intervalov, znamená to, že veličina sa odkláňa od normálneho rozdelenia. Toto je prípad signálu postihnutého nestacionárnym šumom, ako si ukážeme nižšie.

Odlišnosť od normálneho rozdelenia sa v štatistike vyjadruje parametrami šikmost' a špicatost', tie sú však pre malú rozlišovaciu schopnosť v prípade seizmického signálu o viac ako milióny vzoriek nevhodné (Groos a Ritter, 2009). Preto Groos a Ritter (2010) zaviedli novú metódu kvantifikácie tejto odlišnosti.

Nestacionárny šum je šum spôsobený ľudskou činnosťou. Ako už bolo spomenuté, jeho energia sa prejavuje v frekvenciách od 1 Hz do prvých desiatok Herzov. Každá jeho komponenta sa vyskytuje len na určitom intervale frekvencií a to s určitou intenzitou, preto jeho merateľným dopadom na bežný signál je odchyľovanie sa celkového signálu od normálneho rozdelenia. Miera, akou je daná stanica „zašumená“ nám určuje jej schopnosť zachytávať a identifikovať slabé zemetrasenia.

Určenie miery odlišnosti sa praktikuje pomocou porovnávania pomerov intervalov I99 a I95. Pomer $I99/I95$ sa nazýva peakfactor (Gross a Ritter, 2010), ktorého hodnota je pri normálnom rozdelení 1,5. Pre signál postihnutý šumom sa bude hodnota percentilov ohraničujúcich intervaly a teda aj samotné hodnoty intervalov meniť – bude sa prejavovať odlišnosť od normálneho rozdelenia, bude sa meniť aj peakfaktor. Práve podľa jeho hodnoty sme schopní stanice klasifikovať. Klasifikujeme podľa tabuľky (Gross a Ritter, 2010):

Tabuľka 2: Rozdelenie hodnôt peakfaktoru do kategórií.

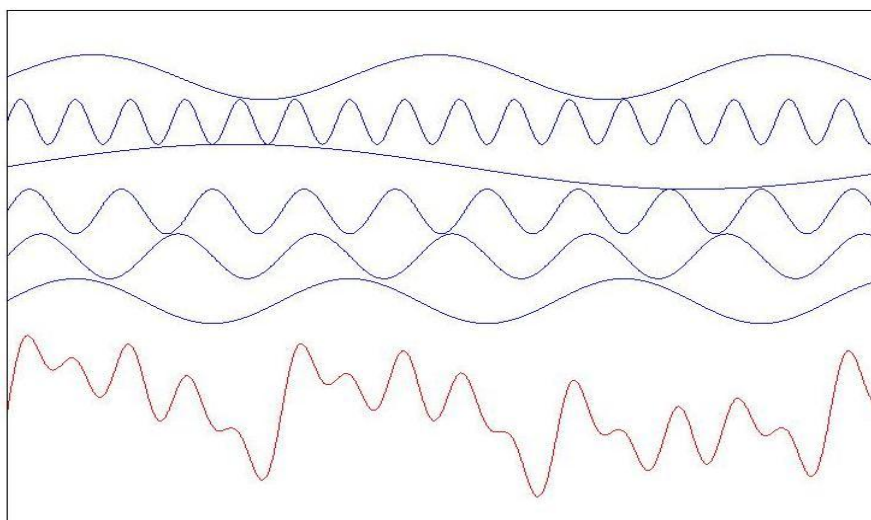
Kategória	I99/I95 (peakfactor)	Vplyv šumu
1	1,5	normálne rozdelenie
2	1,4 – 1,6	malý
3	1,6 – 2	mierny
4	2 – 3,5	veľký
5	menej ako 1,4	zúžený symetrický histogram
6	3,5 a viac	chybné vstupné údaje

Kategória 1 je prípad dokonalého normálneho rozdelenia. Kategória 2 je prípad, keď je signál šumom postihnutý málo. Histogram je veľmi podobný normálnemu rozdeleniu. Kategórie 3 a 4 vykazujú väčší vplyv šumu. Hodnoty na histograme pre tieto kategórie sú rozložené menej „šikmo“ po ramenách histogramu. Prípad kategórie 5 sa v skúmaných dátach nevyskytuje. Pre samotné spracovanie dát v MATLAB-e sme kategóriu 4 zhora ohraničili hodnotou 3,5 a vytvorili sme kategóriu 6, ktorá má hodnoty peakfaktoru väčšie ako 3,5. Kategória 6 obsahuje chybné údaje, napríklad keď na malom úseku dát došlo k pretečeniu (chyba načítavania dát, výrazné zvyšovanie hodnoty amplitúd o niekoľko rádov) a tým pádom k posunu hodnoty percentilov a rozpätia intervalov až o niekoľko rádov.

Výpočet hodnoty peakfaktoru a jeho klasifikácia do kategórií prebieha formou plávajúceho štvorhodinového okna s krokom jednej hodiny. Výsledok sa vykreslí do grafu (hodnoty rozsahov amplitúd) a kategórie sa vynesú do histogramu.

2.3. Harmonická analýza signálu

Najbežnejšou a najucelenejšou formou analýzy signálu je harmonická analýza, ktorá je založená na Fourierovej analýze. Principiálne spočíva v tom, že seizmický signál je súbor množstva signálov, ktoré majú každú vlastnú frekvenciu a intenzitu (Obrázok 3). Prostriedky harmonickej analýzy nám umožňujú tieto čiastkové signály od seba oddeliť a vidieť tak výsledný signál v inom svetle (Stein a Wysession, 2003).



Obrázok 3: Čiastkové signály (modré) a výsledný zložený signál (červený)

Bežný periodický signál (čo seizmický signál je) sa dá zapísať ako súčet vlnových funkcií:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kt + b_k \sin kt),$$

kde koeficienty a_k a b_k sú:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(kt) dt$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sin(kt) dt$$

Takúto funkciu nazývame Fourierovou radou funkcie f pre interval $\langle -\pi, \pi \rangle$. Najčastejšie sa stretávame s tvarom $\omega = \frac{2\pi}{T}$, potom tvary rovníc budú:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t)$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(k\omega t) dt$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(k\omega t) dt$$

Tieto rovnice je však možné zapísať v jednoduchšom komplexnom tvare, a to:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{i\omega_n t},$$

kde

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-i\omega_n t} dt$$

je množina koeficientov a_k a b_k vyjadrená v komplexnom tvare (Stein a Wysession, 2003).

Pri spracovávaní signálov sa predpokladá, že rozsah frekvencií je spojité, preto je potrebné predošlé vzorce previesť zo sumy na integrál. Výsledkom je Fourierov integrál:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega,$$

kde

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

je člen obsahujúci koeficienty a_k a b_k . Prvý výraz sa nazýva inverzná Fourierova transformácia, druhý výraz Fourierova transformácia. Fourierova transformácia umožňuje transformovať signál z časovej oblasti do oblasti kontinuálnej frekvenčnej. Poslednú rovnicu možno napísať aj inak:

$$F(\omega) = |F(\omega)|e^{i\phi(\omega)},$$

kde $F(\omega)$ sa nazýva komplexné spektrum,

$$|F(\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2(F(\omega)) + \text{Im}^2(F(\omega))}$$

sa nazýva amplitúdové spektrum a

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}(F(\omega))}{\text{Re}(F(\omega))}$$

sa nazýva fázové spektrum.

Zavádza sa tiež pojem výkonové spektrum, ktoré je kvadrátom amplitúdového spektra, ktoré sa viac týka problematiky tvorby spektrogramov.

Pre spracovanie signálu v seizmológii je v dnešnej dobe potreba pracovať s digitalizovanými dátami. Preto aj pôvodná funkcia Fourierovej transformácie musí byť prevedená do tvaru, kde sa spojité t mení na $n\Delta t$ (Stein a Wyession, 2003). Dôjdeme tak k vzťahu

$$F(\omega) = \Delta t \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(n\Delta t)e^{-i\omega n\Delta t},$$

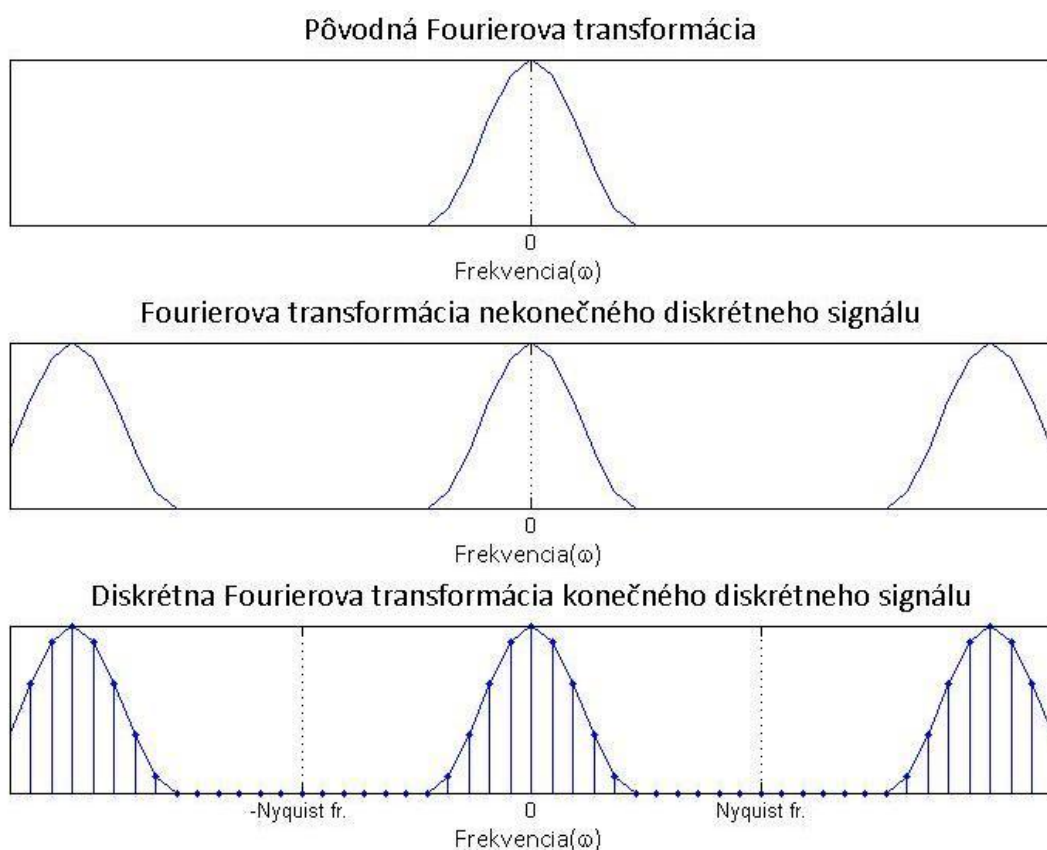
ktorý je spojitou funkciou frekvencií ω z diskrétného nekonečne dlhého signálu s diskretizáciou s krokom n . Výsledkom je spektrum periodické, opakujúce sa s periódou $2\omega_N$ (dvojnásobok Nyquistovej frekvencie).

Posledná rovnica je aplikovateľná na nekonečne dlhý signál. V praxi sa s takýmto spracovávaním signálu nestretávame a signály, ktoré sa spracovávajú sú obmedzené na svoju vlastnú dĺžku $N\Delta t$ (Stein a Wyession, 2003). Po zavedení do vzorca pôvodnej diskkrétnej Fourierovej transformácie pre nekonečne dlhý signál dostávame

$$F(k\Delta\omega) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} f(n\Delta t) e^{-ikn\frac{2\pi}{N}},$$

čo je vzorec známej Diskrétnej Fourierovej analýzy (DFT). Jeho výsledkom je spektrum, ktoré je periodické s periódou $2\omega_N$ a na ose frekvencií diskrétno s krokom $\Delta f = \frac{1}{N\Delta t}$ (Obrázok 4). Časť tohto spektra na intervale $\langle k\omega_{-N}, k\omega_N \rangle$ je osovo symetrická podľa vlastnej stredovej osi.

Výpočet DFT signálu s veľkým množstvom vzoriek sa robí počítačovo a je zdĺhavý. Napríklad, pre signál o $N=4096$ je počet operácií v DFT N^2 , čo je 16 777 216 výpočtov. Preto bola vyvinutá elegantnejšia a rýchlejšia metóda – Rýchla Fourierova Transformácia (Fast Fourier Transform, FFT), ktorá pracuje na inom algoritme, ktorý je rýchlejší. Počet výpočtov pre $N=4096$ je v prípade FFT $N \log_2 N$, tj. 49,152 výpočtov.



Obrázok 4: Spektrum jednotlivých druhov Fourierových transformácií.

Spektrogram, používaný na vyhodnocovanie časového priebehu jednotlivých frekvenčných zložiek aj v tejto práci, je počítaný práve pomocou FFT. Počíta sa spektrum časového okna, toto okno s daným krokom postupne posúva a počíta následné spektrá. Výsledkom je 3-D graf – spektrogram.

Pre rozlíšenie rozdielov „sily“ jednotlivých frekvenčných zložiek sa amplitúdové spektrum vynásobí svojou hodnotou (kvadrát amplitúdového spektra). Tento ťah zvýrazní rozdiely medzi jednotlivými frekvenčnými zložkami. Výsledkom je výkonové spektrum, alebo hustota výkonového spektra (PSD, Power Spectral Density). Tá sa do grafu vynáša v decibeloch, dB. Decibely sú jednotky vhodné k vzájomnému porovnávaniu veličín, ktoré vnímame logaritmicky. Príkladom je zvuk, kde na vysokých intenzitách nie sme tak dobre schopní rozlíšiť rozdiel ako pri nízkych intenzitách. Vzťah na prepočet hodnôt veličiny P je

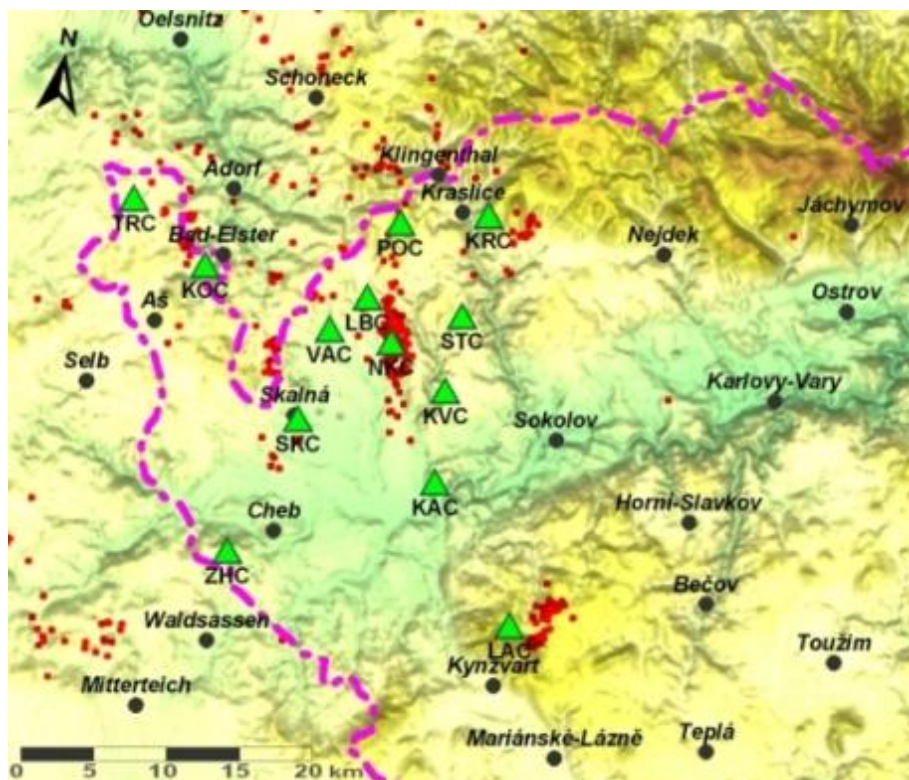
$$p(\text{dB}) = 10 \log_{10} P.$$

Pomocou decibelov sa tiež vyjadruje rozsah snímacích zariadení.

3. *Dáta*

3.1. *Stanice siete WEBNET*

Sieť WEBNET tvorí v súčasnosti 13 stálych staníc (Fischer et al., 2010). Všetky stanice sú digitálne trojzložkové (zložky N, Z, E). Pokrývajú územie 900 km². Seizmometre sú najčastejšie umiestnené v betónových šachtách v hĺbke 5 metrov. Stanice sú porozmiestňované tak, aby bol vplyv obyvateľstva na výsledky čo najmenší (lesy, jaskyne, neobývané oblasti). Celá sieť je rozmiestnená symetricky okolo hlavnej ohniskovej zóny zemetrasení, okolo (predpokladanej) zlomovej zóny Počátky – Plesná. V jej centre je situovaná hlavná stanica Nový Kostel (NKC). Na ploche zóny je umiestnených ďalších šesť staníc (Skálná, Vackov, Luby, Počátky, Studenec, Květná). Zvyšných šesť staníc (Kraslice, Kopaniny, Lazy, Zelená Hora, Kacěrov, Trojmezi) monitoruje menšie ohniskové oblasti.



Obrázok 5: Mapa siete WEBNET (zdroj: <http://www.ig.cas.cz/cz/struktura/observatore/zapadoceska-seismicka-sit-webnet/mapa-site/>)

Stanice sú rozdelené do dvoch podsietí – N a L (Fischer et. al., 2010), ktoré sa líšia systémom zberu dát a v použitej telemetrii. Podsiete sú rozmiestnené s prekryvom. V prípade výpadku jednej zo sietí je získavanie dát neprerušené.

Podsieť N má deväť staníc (NKC, SKC, VAC, LBC, POC, STC, KRC, ZHC, KAC, skratky sú uvedené v tabuľke). Vybavené sú systémom záznamu dát Janus-Trident a mikrovlnným diaľkovým prístupom WaveLan, ktorý umožňuje prístup k staniciam cez internet.

Podsieť L zahŕňa 4 stanice (NKC, KVC, KOC, LAC). Vybavená je systémom zberu dát - aparátúrou Lennartz 5800 PCM s jednosmerným rádiovým diaľkovým prístupom. Rádiový prístup umožňuje zber dát zo vzdialených staníc KOC a LAC.

Stanica Nový Kostel (NKC) je súčasťou oboch podsietí, je vybavená oboma systémami – Janus-Trident aj Lennartz 5800 PCM.

Jedenásť staníc WEBNETU je vybavených pasívnymi seizmometrami SM-3, dve sú vybavené širokopásmovými seizmometrami Guralp 40-T a jedna LE-3D snímačom. Centrálna stanica Nový Kostel je vybavená dvoma seizmometrami – SM-3 aj Guralp 40-T.

Tabuľka 3: Zoznam stálych staníc, ich technické vybavenie, zaradenie do podsiete a rok uvedenia do prevádzky.

Stanica	Označenie stanice	Seizmometer	Aparatúra	Podsiet'	Rok inštalácie
Nový Kostel	NKC	SM-3	5800 PCM	L	1986
		Guralp 40-T	Janus-Trident	N	2001
Kopaniny	KOC	SM-3	5800 PCM	L	1994
Kraslice	KRC	SM-3	Janus-Trident	N	1994
Lazy	LAC	SM-3	5800 PCM	L	1995
Skálná	SKC	SM-3	Janus-Trident	N	1994
Trojmezí	TRC	LE-3D	Gaia		1994
Studenec	STC	SM-3	Janus-Trident	N	1997
Luby	LBC	SM-3	Janus-Trident	N	2001
Vackov	VAC	SM-3	Janus-Trident	N	2001
Květná	KVC	SM-3	5800 PCM	L	2001
Kaceřov	KAC	SM-3	Janus-Trident	N	2001
Počátky	POC	SM-3	Janus-Trident	N	2004
Zelená Hora	ZHC	Guralp 40-T	Janus-Trident	N	2005

Stanice siete WEBNET zabezpečujú zaznamenávanie seizmických udalostí v oblasti Západných Čiech/Vogtlandu v magnitúdach -0,5 až 5 stupňa Richterovej škály. Dynamický rozsah staníc je 120 dB. Frekvenčný rozsah staníc podsiete N je 0,5 až 80 Hz, pre podsiet' L je to 0,5 až 60 Hz. Najcitlivejšie sú stanice vybavené seizmometrami Guralp 40-T, ktoré zaznamenávajú frekvencie v rozsahu 0,033 až 80 Hz.

Vzorkovacie frekvencia všetkých staníc siete WEBNET je 250 Hz. Všetky aparatúry siete N, ktorej stanice sme vybrali k analýze sú 24 bitové.

Okrem stálych staníc je nainštalovaných ďalších niekoľko nestálych staníc. Sú vybavené seizmometrami LE-3D s frekvenčným rozsahom od 1 do 80 Hz. Snímače sú umiestnené v hĺbke dvoch metrov. Aparatúra je 24 bitová typu Gaia, vzorkovacia frekvencia je aj u nich 250 Hz. Pri zemetrasnom roji v roku 2008 bolo nainštalovaných deväť takýchto staníc (Fischer et a., 2010).

Pre analýzu vplyvu antropogénneho šumu na signál sme zvolili tri stanice siete WEBNET. Konkrétne stanicu Nový Kostel (NKC), Skálná (SKC) a Kraslice (KRC). Stanice NKC a SKC sa líšia svojim umiestnením, budeme sledovať kontrast osídlenej a neosídlenej oblasti, stanica KRC je zaujímavá svojim odlišným geologickým podložím.

Stanica Nový Kostel bola prvou stanicou v sieti, v súčasnosti plní funkciu centrálnej stanice. Je vybavená dvoma seizmometrami: SM-3 s aparátúrou Lennartz PCM5800 a Guralp 40-T s aparátúrou na zber dát Janus-Trident. Údaje v práci sú zo seizmometru Guralp 40-T, ktorý je citlivejší s vyšším rozsahom. Práve rozsah od 0,033 Hz spôsobuje, že namerané dáta treba filtrovať, keďže senzor zachytáva na frekvencii 0,33 Hzorské mikrosezmy.

Stanica je umiestená v lese za obcou Nový Kostel (približne 500 obyvateľov). V blízkosti sa nachádzajú len malé usadlosti. Vo vzdialenosti 13 km sú povrchové hnedouhoľné lomy v štádiu rekultivácie pri Sokolove. V bezprostrednej blízkosti stanice sa nachádza súkromná chalupa.

Stanica Skalná je situovaná v jaskyni pod hradom Vildštejn. Nachádza sa na okraji obce. Skalná má asi 2000 obyvateľov. V blízkosti asi pol kilometra je umiestnená fabrika so strojárenskou výrobou. Vo vzdialenosti 1 km je kaolínový lom, ďalšie dva sú vo vzdialenosti 3 km. Obcou prechádza vlak. Stanica je vybavená seizmometrom SM-3 s aparátúrou na zber dát Janus-Trident.

Stanica Kraslice KRC sa nachádza najsevernejšie z vybraných staníc. Seizmometer SM-3 s aparátúrou Janus-Trident je umiestnený v studni na samote v lese. Najbližšie sídlo k stanici je obec Kraslice, vzdialená asi 1 km. Stanica sa nachádza na inom geologickom podloží ako predošlé dve stanice (metamorfity) - na granitoch. Samotná obec Kraslice má cez 7000 obyvateľov.

3.2. Charakteristika dát

Dáta z jednotlivých staníc sú ukladané a komprimované vo formáte GSE2 CM6. Ide o formát bežne používaný pri zaznamenávaní údajov zo seizmogramov v seizmológii.

Signál sa ukladá do súborov po jednej hodine. Pri vzorkovacej frekvencii 250 Hz obsahuje hodinový súbor 900000 vzoriek na jedno pásmo. Pri trojpásmových seizmografoch použitých v sieti WEBNET je teda obsahom každého súboru 2700000 vzoriek. Názov jedného takéhoto súboru má presne stanovený formát, ktorý je nutné pozívať, pretože sa používa ako vstupný parameter pre spracovávanie funkciami v MATLAB-e. Prvá časť názvu má desať číslic. Prvé štyri označujú rok, druhé dve mesiac, druhá dvojica deň a tretia dvojica hodinu. Ide o časovú špecifikáciu dát, ktoré sú v súbore uložené. Nasleduje bodka a za ňou malými písmenami trojmiestna skratka názvu stanice. Napríklad 2010120100.vac je súbor,

obsahujúci signál zo stanice Vackov, zaznamenaný 1.12.2010 od polnoci (nulte j hodiny) do jednej.

Po rozkódovaní takéhoto súboru (napríklad v MATLAB-e) sú výstupom tri vektory hodnôt, každý pre jedno pásmo. Hodnoty na týchto vektoroch udávajú počet impulzov dosiahnutý pri procese konverzie z analógovej do digitálnej podoby. Túto hodnotu je v priebehu načítavania dát potrebné prepočítať na mikrometre za sekundu ($\mu\text{m/s}$).

3.3. Načítanie dát

Vzhľadom na značnú veľkosť jednotlivých hodinových súborov sa ukázalo prijateľnejšie všetky tieto súbory načítať, rozkódovať a opäť uložiť ako hodinové súbory. Keby sme vytvorili jeden súbor zodpovedajúci jednému týždňu, veľkosť tohto súboru by bola niekoľko sto megabajtov, čo je pre následné spracovávanie komplikované a pomalé. Dôležité pri tomto procese je zachovať názov súboru (vyjadrujúci obdobie zberu dát) neporušený. Uchovávanie v hodinových súboroch sa ukázalo ako vyhovujúcejšie hlavne pre jednoduchší výber časového okna, ktoré sme chceli spracovávať. Funkcie pre prácu s dátami si tieto už „hotové“ súbory jednoducho načítavali po jednom.

Rozkódovanie súborov GSE CM6 prebehlo v niekoľkých krokoch. Skript, ktorý sa používa v MATLAB-e na rozkódovanie a načítanie dát robil v záznamoch chyby – tzv. pretekajúce dát. V niektorých úsekoch amplitúdy seizmogramu nekontrolovateľne rástli až o niekoľko rádov. Tento problém sme vyriešili tým, že na prvotné rozkódovanie sme použili program Codeco3 pre UNIX-ové systémy. Pôvodné súbory sme pomocou neho rozkódovali do formátu GSE2 INT a uložili pod rovnakým názvom s príponou .txt.. Takto rozkódovaný súbor sa zväčšil z pôvodných približne 4 MB na konečných 11 MB. Až súbor takto „predpripravený“ sme mohli bez výraznejších chýb načítať pomocou funkcie NacitanieStanice.m do MATLAB-u, vytvoriť premennú a tú potom uložiť v kódovaní ascii.

Funkcia NacitanieStanie.m (Príloha č.1) automatizuje načítavanie jednotlivých hodinových súborov. Vstupné parametre sú prvá hodina, ktorú chceme načítať, posledná hodina, ktorú chceme načítať a trojmiestna skratka stanice. Funkcia nemá výstup do premennej, ale uloží tri .txt súbory v ascii formáte z každej načítavanej hodiny s pridaním informácie o pásme daného súboru.

```
NacitanieStanice('prvahodina', 'poslednahodina', 'STA')
```

Príklad: NacitanieStanice('2010120100.vac', '2010120123.vac', 'VAC')

'2010120100.vacN.txt', '2010120100.vacE.txt', '2010120100.vacZ.txt'...

Jadrom funkcie je iná funkcia – NacteniDat.m. Tá vykonáva samotné rozkódovanie (pokiaľ vopred neprebehlo iným programom, napríklad pomocou Codeco3) a načítanie dát (nezávisle na tom, či pôvodný súbor je alebo nie je rozkódovaný). Funkcia NacteniDat.m nám dáta so vzorkovacou frekvenciou 250 Hz tiež prevzorkuje s frekvenciou 62,5 Hz. Pri prevzorkovaní sa dáta filtrujú antialiasovým filtrom, aby nedošlo k aliasingu. Takto prevzorkované dáta majú z štyrikrát menej vzoriek (225000 na jedno pásmo a hodinu), čo zrýchli rýchlosť spracovania (a v neposlednom rade tiež zjednoduší prácu).

Vlastnosti, ktoré sledujeme, tj. správanie sa signálu v rozsahu od 1 Hz do prvých desiatok hercov (v našom prípade 31,25 Hz) pritom ostanú neporušené.

Funkcia NacteniDat.m má ešte jednu dôležitú úlohu. Obsahuje údaje o citlivosti staníc (rýchlosť pohybu pôdy zodpovedajúca jednému impulzu z konverzie). Načítané dáta z hodinových súborov (obsahujúce amplitúdy v hodnotách LSB zaznamenaných počas konverzie) tak previedla do škály mikrometrov za sekundu.

Systém funkcií založených na práci s hodinovými súbormi je jednoduchý. Z vstupných parametrov sa vytvorí názov prvého a posledného súboru, ktorý sa má načítavať. Keďže časť názvu takéhoto súboru je číslo (časový údaj v názve), je možné v cykle while toto číslo stále zväčšovať (o jednu hodinu), čím sa prepisuje názov načítavaného dátového súboru do momentu, kým nedosiahne zhodu s názvom poslednej načítavanej hodiny známej z vstupného parametru a nesplní sa tak podmienka cyklu while.

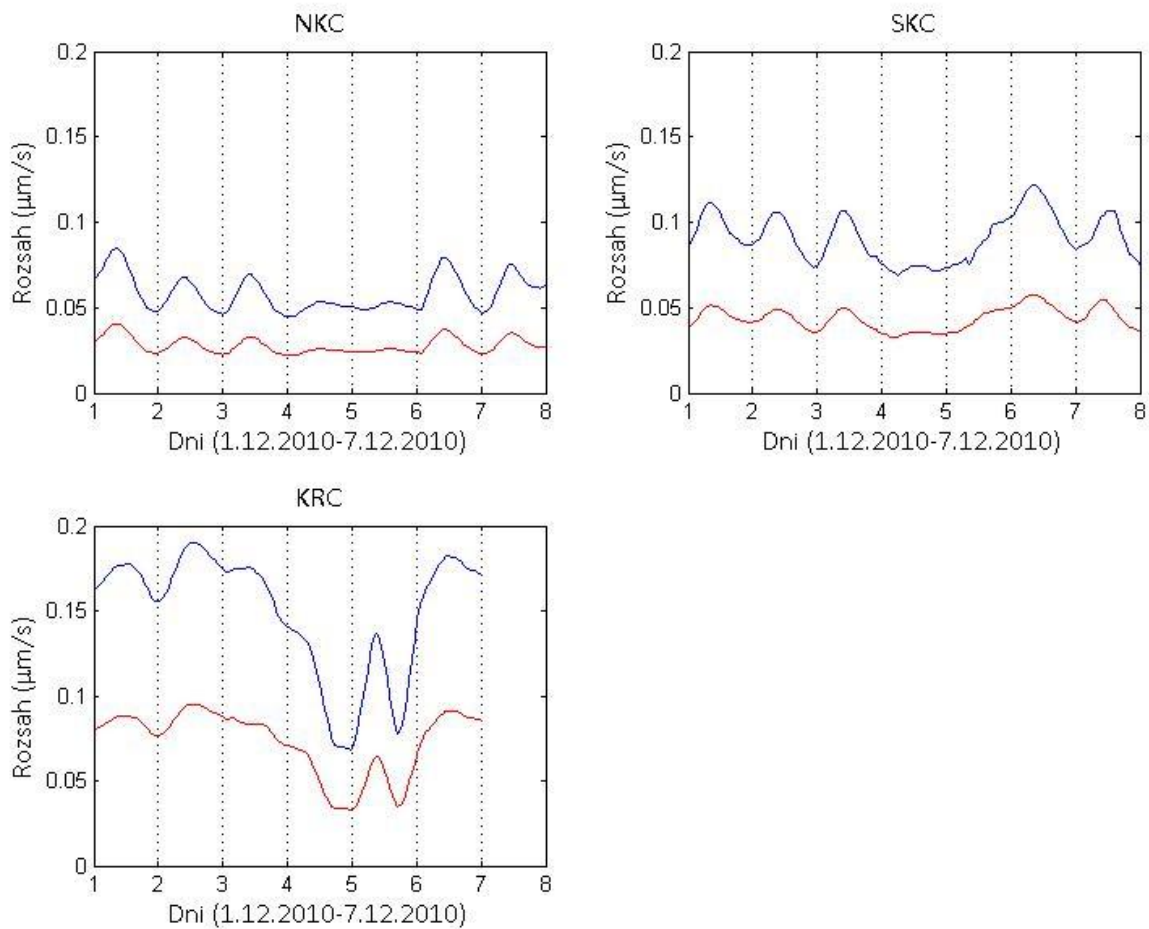
Tento systém využívajú všetky v tejto práci použité funkcie (pre plávajúci rozsah amplitúd, pre plávajúcu kategóriu peakfaktoru...).

4. Výsledky

4.1. Štatistická analýza

Časové variácie vertikálnej zložky signálu je možné demonštrovať pomocou rozsahov amplitúd pre 68%-ný a 95%-ný interval hodnôt - rozsahov amplitúd v rámci

odchýlky 1σ a 2σ (Groos a Ritter, 2010). Hodnoty rozsahov amplitúd sú počítané z plávajúceho štvorhodinového okna s krokom jednej hodiny (funkcia `SwimmingRange.m`, Príloha č.2) po dobu prvého týždňa decembra 2010 (pri stanici KRC sú dáta z obdobia 1.12.2010 až 6.12.2010, chýba posledný deň v porovnaní s ostatnými stanicami). Prvý deň (1.12.2010) je streda, štvrtý (1.12.2010) sobota. Grafy jednotlivých staníc sú zobrazené na Obrázku 5.



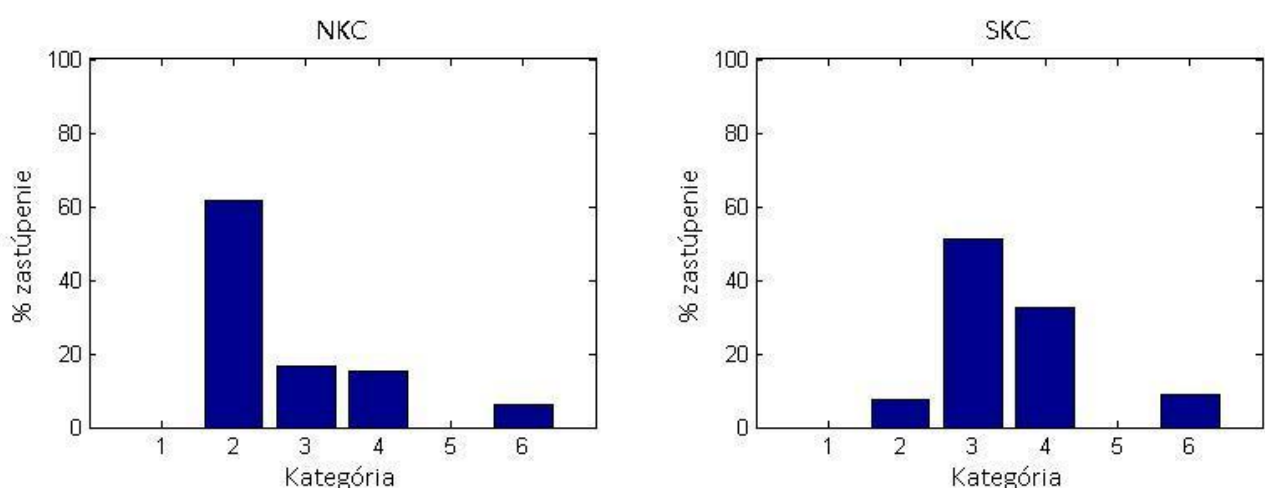
Obrázok 5: Rozsahy hodnôt amplitúd pre 68%-ný (červená) a 95%-ný (modrá) interval hodnôt vertikálnej zložky počítané štvorhodinovým plávajúcim oknom s krokom jednej hodiny na staniach NKC, SKC, KRC v období 1.12.2010 (streda) až 7.12.2010 (utorok), resp. 6.12.2010 (pondelok) na KRC.

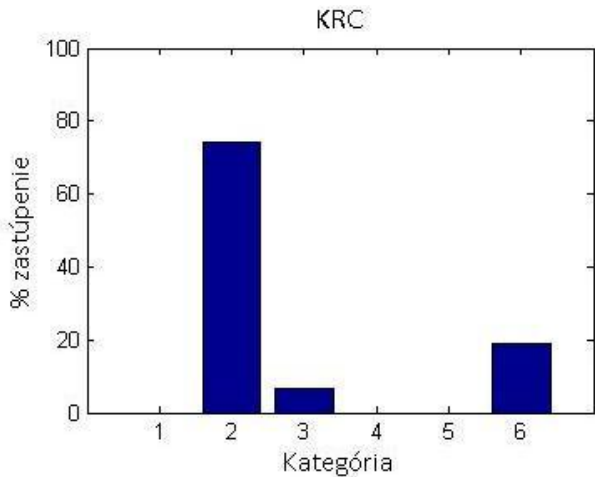
Na grafe zo stanice SKC a NKC sú jasne viditeľné rozdiely v rozsahoch amplitúd medzi dennou a nočnou dobou. Tento fakt, spolu s nižšími rozsahmi amplitúd počas víkendu (predovšetkým v sobotu) je jasným dôkazom, že dominantným faktorom ovplyvňujúcim seizmický signál zachytávaný na staniach je ľudská činnosť. Je možné však sledovať, že

stanica NKC má hodnoty rozsahov nižšie - maximá dosahujú 0,08 $\mu\text{m/s}$ oproti 1,2 $\mu\text{m/s}$ na stanici SKC. Tento fakt môže súvisieť s umiestnením stanice. Kým SKC je v centre obce (v jaskyni pod hradom), NKC je v lese, mimo trvalé osídlenie. Napriek rozdielom v amplitúdach je však u oboch staníc možno skonštatovať, že sú postihnuté nestacionárnym šumom.

Pri grafe stanice KRC môžeme takisto sledovať výraznejší pokles rozsahu amplitúd cez víkend, i keď rozdiely medzi dennými a nočnými hodnotami sú menšie. Čo je ale prvý do očí bijúci fakt je, že hodnoty rozsahov amplitúd tú skoro raz tak vysoké. A to aj napriek tomu, že stanica sa nachádza na kopci v lese. Príčina veľkých amplitúd môže súvisieť s rozdielnym podložím stanice, prípadne s veľkosťou obce Kraslice (obec Kraslice je väčšia než Nový Kostel alebo Skalná). Súčasťou obce Kraslice sú aj lyžiarske vleky, ktoré v sledovanom období takisto môžu mať vplyv na hodnoty amplitúd.

Miera postihnutia šumom sa sleduje na pomere intervalov I99/I95, na zavedenej hodnote peakfaktor (Groos a Ritter, 2010). Ako už bolo spomenuté, hodnota peakfaktoru normálneho rozdelenia je 1,5. Pomocou plávajúceho štvorhodinového okna s krokom jednej hodiny dostaneme (funkcia HistogramRatio.m, Príloha 3), hodnoty peakfaktoru pre dané stanice po dobu celého skúmaného obdobia. Táto hodnota sa podľa Tabuľky 3 zaradí do príslušnej kategórie a z výsledného vektoru obsahujúceho už tieto kategorizované hodnoty sa vykreslia histogramy (Obrázok 6).



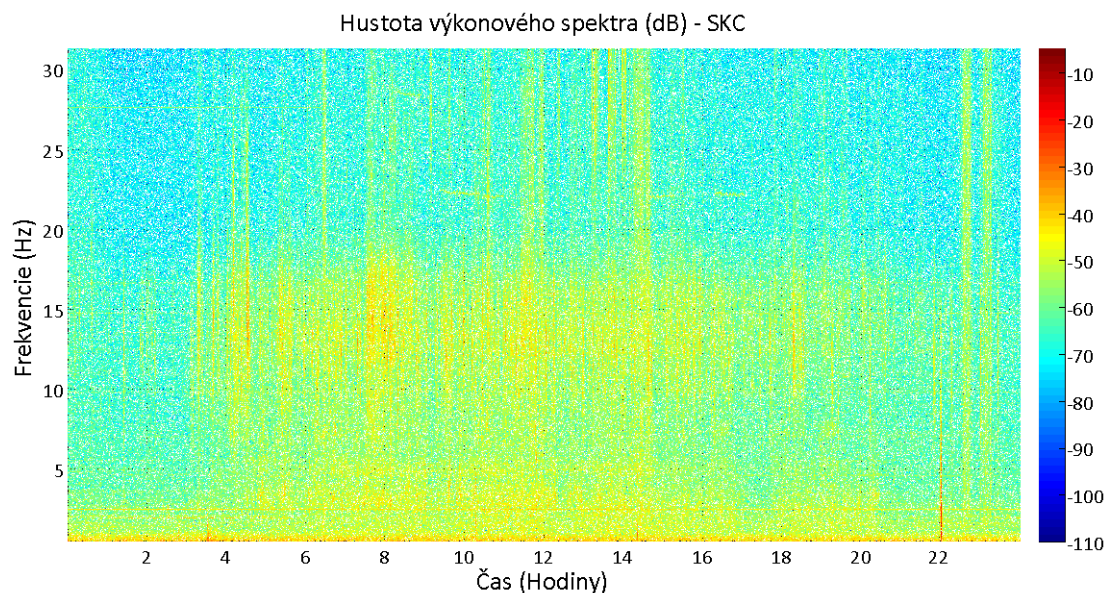


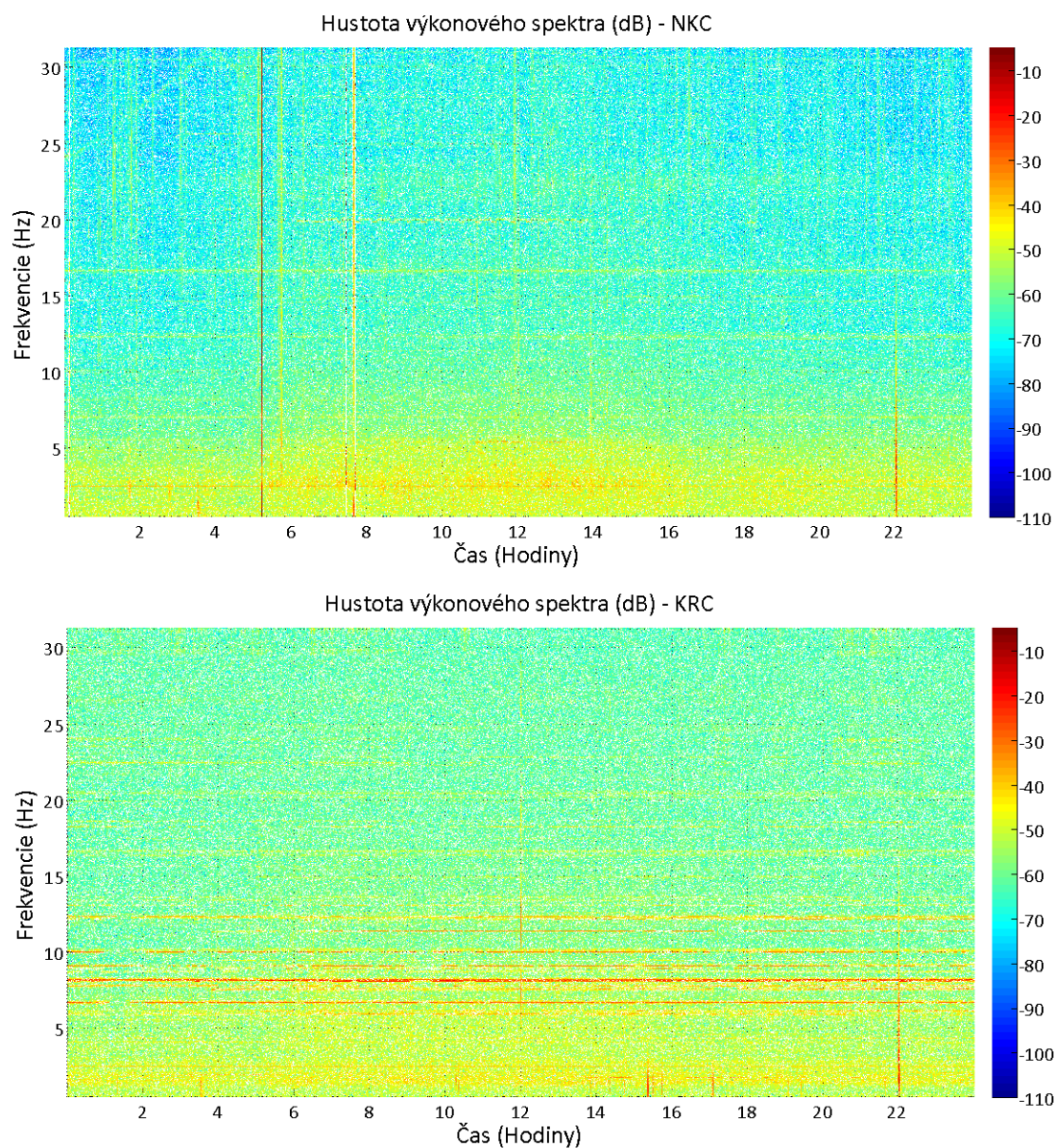
Obrázok 6: *Percentuálne zastúpenie výskytu šumových kategórií na staniciach NKC, SKC, KRC v období 1.12.2010 až 7.12.2010 (resp. 6.12.2010 pre KRC). Počítané z vertikálnej zložky signálu štvorhodinovým plávajúcim oknom s krokom jednej hodiny .*

Rozdielny histogram má stanica SKC. Hodnoty sú rozdelené predovšetkým v tretej a štvrtej kategórii. Vzhľadom na to, že SKC je umiestnená v centre obce a NKC a KRC nie, môžeme seizmický šum obce označiť za hlavnú príčinu zhoršených výsledkov.

4.2. Časovo – frekvenčná analýza

Pre bližšie štúdium frekvenčného pásma obsahujúceho seizmický šum (v našom prípade 1 Hz – 31,25 Hz) vyhotovíme 24 hodinové spektrogramy výkonového spektra pre stanice NKC, SKC aj KRC (Obrázok 7).





Obrázok 7: Časový priebeh hustoty výkonového spektra (PSD) v dB, maximálna hodnota PSD -5 dB zodpovedá $606,53$ $(\text{nm/s})^2/\text{Hz}$. Počítané plávajúcym päťminútovým oknom s krokom jednej minúty po dobu jedného dňa na staniciach NKC, KRC a SKC v štvrtok 2.12.2010.

Ako je vidieť, stanica NKC je postihnutá šumom najmä v oblasti 1 Hz až 5 Hz (s intenzitou do -40 dB). Toto postihnutie je výraznejšie medzi piatou a dvadsiatou druhou hodinou. Vo vyšších frekvenčných pásmach vidíme len stacionárne (po celú dobu trvania spektrogramu) vlny na frekvenciách 12,5 Hz a 17 Hz (intenzita približne -50 dB). Počas dennej doby (od siedmej hodiny do štrnásťtej hodiny) je možné podobné vlnenie o intenzite -45 dB zaznamenať aj na frekvencii 20 Hz. Je to jediná zložka, ktorá zodpovedá časovej zmene

dna a noci. Jej zdroj je tak pravdepodobne niekde v okolí (napríklad chalupa v blízkosti stanice). Širokofrekvenčné impulzy o silných intenzitách (do -5 dB) medzi štvrtou a ôsmou hodinou s najväčšou pravdepodobnosťou zodpovedajú len lokálnym udalostiam na stanici, keďže sa vyskytujú len na spektrograme stanice NKC. Podobná čiara vo frekvenčnom rozsahu 1 Hz až 15 Hz na dvadsiatej druhej hodine sa však vyskytuje na všetkých troch stanicach, čo značí, že ide o slabý otras. Jeho vzdialenosť je asi 300 km a ide pravdepodobne o lokálny otras spôsobený ľudskou činnosťou.

Stanica KRC je najviac postihnutá podobne ako NKC v oblasti frekvencií 1 Hz až 10 Hz (max -40 Hz). Pritom oblasť 5 Hz až 10 Hz je postihnutá silnými stacionárnymi vlnami o intenzite až -20 dB. Práve jeden takýto signál na frekvencii 8 Hz spôsobuje, že hodnoty rozsahov amplitúd sú približne dvakrát vyššie ako na ostatných skúmaných stanicach. Podobné vlny menšej intenzity sa vyskytujú aj vo vyšších frekvenciách. Denné a nočné zmeny frekvenčných zložiek vlnení sa na stanici KRC nevyskytujú.

Denné a nočné zmeny vo frekvenčnom zložení seizmického šumu sú jasne viditeľné na spektrograme stanice SKC. Okrem štandardne postihovaného frekvenčného pásma 1 Hz až 8 Hz (pre všetky stanice) je tu najvýraznejšie postihnuté pásmo 10 Hz až 20 Hz (v intenzite do -40 dB), a to v čase od štvrtej do dvadsiatej druhej hodiny. Poškodenie tohto pásma sa dá s istotou identifikovať ako vplyv antropogénneho šumu. Rušivé impulzy niekoľkokomínútového trvania je možné zaznamenať medzi jedenástou a pätnástou hodinu a v noci okolo dvadsiatej tretej hodiny.

6. Záver

Na základe porovnávania výsledkov štatistickej a časovo-frekvenčnej analýzy pre jednotlivé stanice je možné určiť relatívnu vhodnosť týchto staníc k sledovaniu slabých zemetrasení.

Na všetkých stanicach sa o dvadsiatej druhej hodine vyskytol slabý otras s frekvenčným rozsahu 1 Hz až 10 Hz. Práve takéto otrasy a zemetrasenia sú cieľom pozorovaní na stanicach siete WEBNET. Ako je možné vidieť, intenzity šumu na stanicach sú dostatočne slabé, aby takéto otrasy (zemetrasenia) pôsobili kontrastne a dali sa bez problémov identifikovať. Táto výborná detekčná schopnosť súvisí priamo s umiestnením staníc (a senzorov v rámci staníc) a prístrojovým vybavením staníc.

Na nami zvolených stanicích je však aj napriek tomu možné sledovať isté rozdiely vo výsledkoch v závislosti na umiestnení stanice. Stanica SKC umiestnená v meste je šumom postihnutá nestacionárne, čo sa prejavuje na grafoch časového priebehu rozsahov hodnôt amplitúd (Obrázok 5), na histograme šumových kategórií (Obrázok 6) i na spektrograme (Obrázok 7). Stanice NKC a KRC (aj napriek vyšším hodnotám amplitúd) sú postihnuté výrazne stacionárnejšie (umiestnené sú v lesoch). Pozorovateľné sú tiež výrazné rozdiely na základe geologického podložia a hustoty osídlenia okolia stanice (výrazne vyššie hodnoty rozsahov amplitúd pre stanicu KRC). Napriek týmto rozdielom je však intenzita seizmického šumu na stanicích tak malá, že ich detekčná schopnosť je veľmi dobrá.

Z týchto poznatkov sa dá vydedukovať, že hodnotenie šumu na stanicích pomocou štatistickej analýzy navrhnutej a použitej Groosom a Ritterom (2010) v Hornorýnskom prielome je v podmienkach siete WEBNET potrebné doplniť preskúmaním seizmogramu a porovnaním hodnôt intenzity šumu s hodnotami slabých zemetrasení. Keby sme hodnotili stanice len z hľadiska rozdelenia hodnôt peakfaktoru, došli by sme ku skresľujúcim výsledkom, ktoré by napríklad stanicu SKC označili za nevhodnú k sledovaniu slabých zemetrasení. Faktom je, že pri porovnaní siete WEBNET a siete staníc v Hornorýnskej panve (pre ktorú bola Groosova a Ritterova metóda optimalizovaná) zistíme, že sieť WEBNET je v vo výrazne „tichšom“, slabšie osídlenom prostredí bez tak veľmi rozvinutej cestnej a premyslenej infraštruktúry ako je v Nemecku.

Napriek dobrým detekčným výsledkom je treba poznamenať, že uvedené zistenia platia len pre časové obdobie 1.12.2010 až 7.12.2010. Toto obdobie je príliš krátke a príliš jednotvárne na to, aby sa z jeho výsledkov dalo klasifikovať správanie šumu počas celého roku a pre celú sieť WEBNET. Pre takúto klasifikáciu bude potrebné podobnou metodikou zhodnotiť čo najväčšie množstvo staníc, čo najdlhšie časové úseky v rôzne obdobia v roku (prázdniny, sviatky, ročné obdobia). Len takto je možné získať dostatočne obsiahne vedomosti o vlastnostiach seizmického šumu v sieti WEBNET a vedieť jeho dopady eliminovať.

Zoznam použitej literatúry

Babuška, V., Plomerová, J., 2008. Control of paths of quaternary volcanic products in western Bohemian Massif by rejuvenated Variscan triple junction of ancient microplates. *Stud Geophys Geod* 52, 607-630. [non vidi]

Bankwitz, P., Schneider, G., Kämpf, H., Bankwitz, E., 2003. Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: study case Cheb Basin (Czech Republic). *J Geodyn* 35/1-2, 5-32. [non vidi]

Blecha, V., Štěpánek, M., Fischer, T., 2009. Geological interpretation of gravity profiles through the Karlovy Vary granite Massif (Czech Republic). *Stud Geophys Geod* 53, 295-314. [non vidi]

Dreger, D.S., Tkalčić, H., Jonston, M., 2000. Dilational processes accompanying earthquakes in the Long Valley caldera. *Science* 288, 122-125. [non vidi]

Fischer, T., Horálek, J., Michálek, J., Boušková, A., 2010. The 2008 West Bohemia earthquake swarm in the light of the WEBNET network. *J Seismol* 14, 665-682.

Gogen, K., Wagner, G.A., 2000. Alpha-recoil track dating of Quaternary volcanoes. *Chem Geol* 166, 127-137. [non vidi]

Groos, J.C., Ritter, J.R.R., 2009. Time domain classification and quantification of urban seismic noise. *Geophysical Journal International* 179, 1213-1231.

Groos, J.C., Ritter, J.R.R., 2010. Seismic noise: A challenge and opportunity for seismological monitoring in densely populated areas. *Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie* 30, 77:86.

Leydecker, G., 2005. Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800-2004. Data file www.bgr.de/quakecat, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover [non vidi]

Neuhoffer, H., Guth, D., 1989. Local stations and local network. In: Bormann P (ed) Monitoring and analysis of the earthquake swarm 1985/86 in the region Vogtland/Western Bohemia. Potsdam: Akad der Wissench der DDR, pp 43-50. [non vidi]

Scherbaum, F., 2001. Of Poles and Zeros. Dodrecht: Kluwer Academic Publishers. Analog to digital conversion, s. 73-80

Stein, S., Wysession, M., 2005. An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. Seismograms as Signals, s. 369-391

Wyss, M., Shimazaki, K., Škremer, S., 1997. Mapping active magma chambers by b values beneath the off-Ito volcano, Japan. J Geophys Res 102(B9), 20413-20422. [non vidi]

Prílohy

Príloha č.1

```
function NacitanieStanice(firsthour,lasthour,STA)
% funkcia postupne nacita data z jednej stanice za jednotlivé hodiny
% firsthour ...prva hodina vo formate 'yyyymmddHH'
% lasthour ...posledna hodiny vo formate 'yyyymmddHH'
% sta      ...skratka stanice 'STA'

firsthour=strcat(firsthour,'0000');
lasthour=strcat(lasthour,'0000');
datevector=datevec(firsthour,'yyyymmddHH');
% vektor datumu a casu, priprava pre while
lasthournum=datenum(lasthour,'yyyymmddHH');
% priprava pre while podmienku
hournum=datenum(datevector);
% priprava pre while
sta=lower(STA);
% nazov stanice v malych pismenkach pre NacteniDat1

while hournum<=lasthournum
    hourstring=datestr(datevector,'yyyymmddHH');
    nazovstanice=strcat(hourstring,'.',sta,'.txt');
    nazovstanice1=strcat(hourstring,'.',sta);

    [n,z,e]=NacteniDat1 (nazovstanice,STA);
    disp(nazovstanice)

    datevector(1,4)=datevector(1,4)+1;      % posun v nazve stanice
    hournum=datenum(datevector);

    % ukladanie jednotlivych zloziek

    nazovstaniceN=strcat(nazovstanice1,'N');
    save (nazovstaniceN,'n','-ascii')

    nazovstaniceZ=strcat(nazovstanice1,'Z');
    save (nazovstaniceZ,'z','-ascii')

    nazovstaniceE=strcat(nazovstanice1,'E');
    save (nazovstaniceE,'e','-ascii')
end
```

Príloha č. 2

```
function [data95,data68]=SwimmingRange1(data)
%[data95,data68],(data)
% Funkcia zo zadaneho vektoru dat vypocita a vrati vektor rozpatia amplitud
% pre 95 a 68 percentny interval
% funguje ako plavajuce okno 4 hodiny s krokom 1 hodina

shift = 0; shift2=1;
i=(length(data)/225000)-3;
data95=(zeros (1,i)); data68=(zeros (1,i));           % priprava vektorov

% vypocet intervalov 95 a 68 do vektorov

for k=1:i

    a=data((1+shift) : (225000*4+shift));

    q95=quantile(a,0.97725)-quantile(a,0.02275);
    q68=quantile(a,0.84135)-quantile(a,0.15866);

    data95(1,0+shift2)=q95;
    data68(1,0+shift2)=q68;

    shift=shift+225000;
    shift2=shift2+1;

end
```