

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

**KATEDRA GEOLOGIE**

**REFLEXNÍ SEISMICKÝ PROFIL A INTERPRETACE PODPOVRCHOVÉ STAVBY  
OKRAJE HORNOMORAVSKÉHO ÚVALU U NÁKLA.**

**bakalářská práce**

**Ondřej Koukal**

**Environmentální geologie (B1201)**

**prezenční studium**

**vedoucí práce: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.**

**Červen 2019**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu a zdroje.

V Olomouci dne

.....

*Chtěl bych poděkovat vedoucímu svojí práce, panu prof. Mgr. Ondřeji Bábkovi, Dr. za konzultace, cenné rady a vedení při psaní této práce. Dále bych rád poděkovat panu Mgr. Danovi Šimíčkoví Ph.D., spolužákům Dominikovi Cholastovi a Mateji Chovancovi, za pomoc při měření v terénu a během analýzy dat.*

## **Bibliografická identifikace:**

**Jméno a příjmení autora:** Ondřej Koukal

**Název práce:** Reflexní profil a interpretace podpovrchové stavby okraje Hornomoravského úvalu u Nákla.

**Typ práce:** Bakalářská práce

**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geologie.

**Vedoucí práce:** prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

**Rok obhajoby práce:** 2019

**Abstrakt:** Cílem této práce je zpracovat reflexní seismický profil v oblasti Hornomoravského úvalu v okolí obce Mezice a interpretace podpovrchové stavby této lokality. Praktická měření v terénu jsou prováděna za pomoci seismografu Terraloc Mk8 od firmy ABEM a seismického zdroje PEG-40. Popsány jsou, jak postup při měření reflexní seismikou, tak následná analýza dat v programu ReflexW. Výstupem je seismický 2D profil, jeho interpretace a srovnání s geologickou stavbou oblasti.

**Klíčová slova:** Reflexe, seismologie, seismické vlny, Hornomoravský úval.

**Počet stran:** 53

**Počet příloh:** 2

**Jazyk:** Český jazyk

## **Bibliographical identification:**

**Autor's first name and surname:** Ondřej Koukal

**Title:** Reflective seismic profile and interpretation of the subsurface structure the edge of the Upper Morava Basin System near Náklo.

**Type of thesis:** Bachelor

**Institution:** Palacky University of Olomouc, Faculty of science, Department of Geology.

**Supervisor:** prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

**The year of presentation:** 2019

**Abstract:** The aim of this work is to process the reflex seismic profile in the area of the Hornomoravský úval in the vicinity of the village of Mezice and the interpretation of the subsurface structure of this location. Practical field measurements are performed using Terraloc Mk8 from ABEM and a PEG-40 seismic source. Both the procedure for reflective seismic measurement and the subsequent data analysis are executed in the ReflexW software. The outputs are a seismic 2D profile, its interpretation and comparison with geological structure of the area.

**Keywords:** Reflection, seismology, seismic waves, Upper Morava Basin System.

**Number of pages:** 53

**Number of appendices:** 2

**Language:** Czech

## **Obsah**

|  |    |
|--|----|
| ÚVOD.....  | 7  |
| 1 VYMEZENÍ A CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....                        | 8  |
| 1.1 Geomorfologický popis .....  | 8  |
| 1.1.1 Geomorfologie širšího území .....                                  | 8  |
| 1.1.2 Hornomoravský úval.....  | 10 |
| 1.1.3 Hydrologie .....   | 11 |
| 1.1.4 Klimatické poměry.....   | 12 |
| 1.2 Geologická charakteristika .....                                     | 13 |
| 1.2.1 Regionálně geologické zařazení a stratigrafie .....                | 13 |
| 1.2.2 Tektonická stavba a seismická aktivita hornomoravského úvalu ..... | 17 |
| 2 REFLEXNÍ SEISMIKA .....  | 20 |
| 2.1 Seismická vlna .....   | 21 |
| 2.2 Typy vln .....   | 22 |
| 2.3 Snellův zákon, Huygensův-Fresnelův princip a difrakce .....          | 23 |
| 2.4 T-x diagram.....   | 25 |
| 2.5 Vlnové interakce s prostředím .....                                  | 26 |
| 2.6 Více kanálový záznam .....   | 27 |
| 2.7 Dráha odražených vln a jejich tvar .....                             | 27 |
| 2.8 Stacking .....   | 28 |
| 2.9 Dynamické korekce (NMO) .....  | 28 |
| 3 METODIKA .....   | 29 |
| 4 VÝSLEDKY .....   | 31 |
| 4.1 Profil .....   | 31 |
| 4.1 Geometrie měření.....  | 31 |
| 4.2 Analýza dat.....   | 32 |
| 5 DISKUSE .....  | 41 |
| 5.1 Vrtná prozkoumanost .....  | 41 |
| 5.2 Geologická stavba úvalu.....   | 42 |
| 5.2 Interpretace profilu Mezice1 a Drahlov .....                         | 44 |
| 6 ZÁVĚR.....   | 46 |



# ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá možností využití mělkého refrakčního seismického profilování pro studium podpovrchových struktur v Hornomoravském úvalu, konkrétně v okolí obce Mezice. Reflexní seismika má v geofyzikální historii dlouholetou tradici a naskýtá nám možnost nahlédnout pod povrch do značných hloubek a získat tak představu o geologické stavbě, kterou nám jiné metody neposkytnou.

Tato metoda se využívá v dnešní době hlavně v sedimentologii nebo při vyhledávání ložisek nerostných surovin, jako jsou například ropa. Další a neméně důležitou aplikací této metody je výzkum zlomových struktur nebo jeskynních systémů. Další velmi častou aplikací seismiky je průzkum podloží staveb.

Cílem práce je potvrdit nebo vyvrátit přítomnost zlomu v okolí obce Mezice a vysvětlit základní fungování použité geofyzikální metody. Jako první se v teoretické části práce, věnuji základní geologické a morfologické stavbě studovaného území. Dále v práci, vysvětluji základní geofyzikální principy reflexní seismiky, popisuji použitou aparaturu ABEM Terraloc Mk8 a zdroj PEG-40. Následně je v práci popsána i analýza získaných dat pomocí softwaru ReflexW a jejich interpretace a srovnání se staršími ERT profily a vrtnými záznamy z dané lokality.



# 1 VYMEZENÍ A CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmová oblast se nachází v Olomouckém kraji v okolí obce Mezice. Jedná se o 368 metrů dlouhý profil při okraji polní cesty, spojující tuto obec s nedalekou šterkovnou Náklo (Obr. 1). Obec Mezice je součástí sousední obce Náklo (spolu s obcí Lhota nad Moravou) od které je vzdálena přibližně 0,5 km a spadá do jejího územního plánu. Od města Olomouc je lokalita vzdálena přibližně 10 km na severozápad a 5 km jihovýchodně od města Litovel.



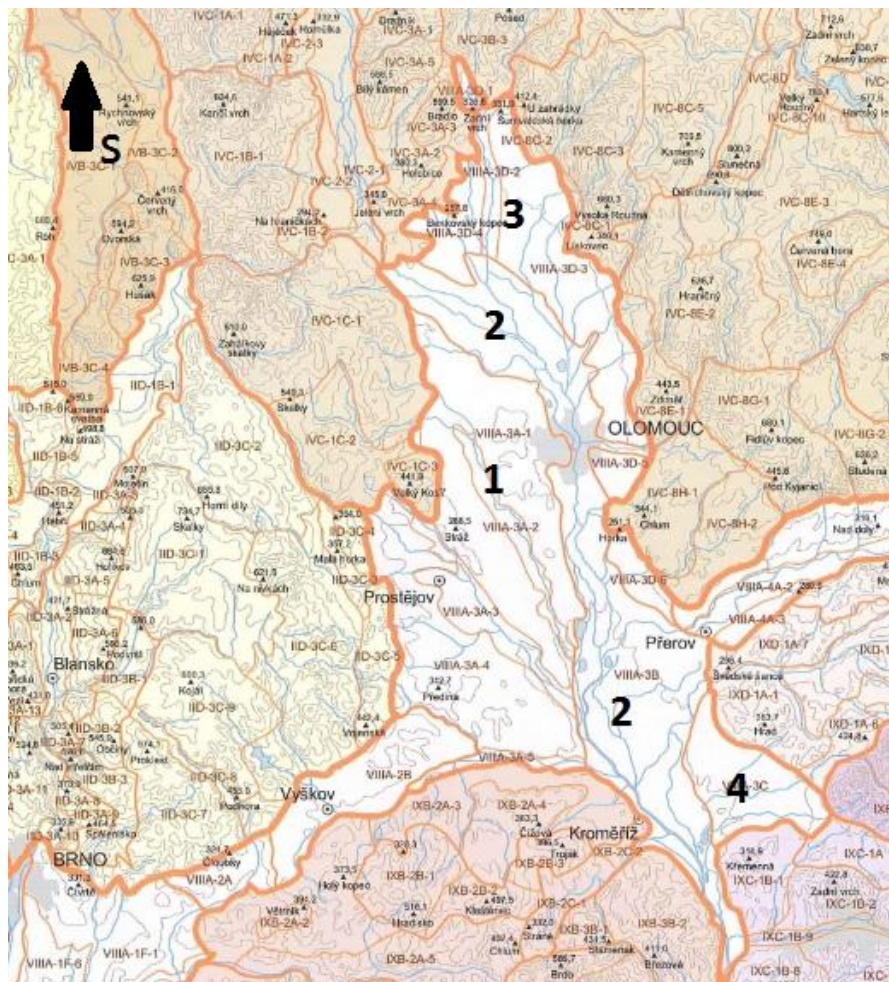
**Obrázek č. 1:** poloha zájmového území v mapě České republiky (dostupné 26/06/2019: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.1912234&y=49.6164443&z=10>) - upraveno.

## 1.1 Geografická charakteristika

### 1.1.1 Geomorfologie širšího území

Studované území se, dle Demka (2002), řadí v rámci geomorfologického členění povrchu České republiky do geomorfologického celku nazývaného Hornomoravský úval - který je součástí geomorfologické soustavy Vněkarpatských sníženin, která spadá do podsoustavy Západních Vněkarpatských sníženin (Obr. 2). Geomorfologická podsoustava Západních Vněkarpatských sníženin, se dále dělí na následující celky: Dyjsko-svratecký úval, Vyškovskou bránu, Moravskou bránu a již zmíněný Hornomoravský úval.

Dyjsko-svratecký úval je geomorfologický celek, který se nachází v jihovýchodní části Západních Vněkarpatských sníženin. Jeho rozloha činí 1453,43 km<sup>2</sup>. Střední výška je 210 m a střední sklon činí 1°32'. Nejvyšším bodem je Výhon s výškou 355,4 m n. m. Úval je plochou sníženinou, vyplněnou terciárními a kvartérními sedimenty. Jedná se o nivní sedimenty a říční terasy řek Jevišovky, Dyje a Jihlavy, doplněné sprašemi. Dyjsko-svratecký úval je na severozápadě omezen Jevišovskou pahorkatinou a Bobrovskou vrchovinou. Severní hranici definuje Dražanská vrchovina. Na jihovýchodě sousedí Dyjsko-svratecký úval s Dolnomoravským úvalem, od něhož je oddělen Ždanickým lesem a Mikulovskou vrchovinou. Severovýchodně se úval napojuje na další celek Západních Vněkarpatských sníženin, Vyškovskou bránu.



**Obrázek č. 2: geomorfologické členění Hornomoravského úvalu, 1 – Prostějovská pahorkatina, 2 – Středomoravská niva, 3 – Uničovská plošina, 4 – Holešovská plošina (Demek et al., 2002) - upraveno.**

Vyškovská brána je geomorfologický celek, který propojuje Hornomoravský úval s úvalem Dyjsko-svrateckým. Opět se jedná o protáhlou sníženinu tektonického původu, nacházející se mezi Litenčickou pahorkatinou a Dražanskou vrchovinou o celkové rozloze 140,14 km<sup>2</sup>, střední výšce 226,5 m a středním sklonu 2°25'. Vyškovská brána má

pahorkatinný erozně akumulární povrch na neogenních a kvartérních sedimentech. Nejvyšším bodem je vrchol Na hanácké 339 m.

Moravská brána se nachází v severovýchodní části Západních Vněkarpatských sníženin. Jde o plochou pahorkatinu situovanou mezi Podbeskydskou pahorkatinou a Nízkým Jeseníkem, v povodí řek Moravy a Odry, jejíž plocha je 538,69 km<sup>2</sup>, střední výška 263,5 m a střední sklon 2°02' (Demek et al., 2002). Příkopová propadlina SV-JZ směru, byla vyplněna sedimenty bádenského stáří. V severovýchodní části převládají sedimenty pleistocenního stáří z dob halštovského kontinentálního zalednění, spolu s rozsáhlými sprašovými pokryvy plynule přechází do Hornomoravského úvalu (viz kapitola 2). Moravská brána je tektonicky vymezena zlomovými svahy vůči Nízkému Jeseníku a Maleníku. Nejvyšším bodem je Lučická Stráž s výškou 339,2 m n. m. Poslední součástí Západních Vněkarpatských sníženin je Hornomoravský úval.

### 1.1.2 Hornomoravský úval

Hornomoravský úval je širokou a protáhlou sníženinou, situovanou severojižním směrem, o celkové ploše 1318,43 km<sup>2</sup> (Demek et al., 2002). Jeho středem protéká řeka Morava, která také tvoří osu úvalu. Největšími přítoky řeky Moravy jsou reky Bečva a Haná. Dříve, byl úval příkopovou propadlinou, která byla následně vyplněna neogenními a kvartérními sedimenty. Na východě je úval tvořen sedimenty náplavových kuželů Jeseníků a na západě nížinnými pahorkatinami. Nejvyšší bod v Hornomoravském úvalu, je Šumvaldská horka, s výškou 331,0 m n. m. Střední výška úvalu činí 225,8 m a střední sklon 0°54'. Od Mohelnické brázdy je úval oddělen Třesínským prahem u Mladče na západ od města Litovel. Hornomoravský úval lze dále, podle geomorfologické klasifikace, rozčlenit na několik podcelků. Mezi tyto podcelky patří Prostějovská pahorkatina, Středomoravská niva, Holešovská plošina a Uničovská plošina (Demek et al., 2002).

Prostějovská pahorkatina zabírá převážnou část Hornomoravského úvalu v jeho západní části. Z východu k ní přiléhá Středomoravská niva, která se táhne napříč celým úvalem od severozápadu na jihovýchod. V jihovýchodní oblasti sousedí Středomoravská niva s Holešovskou plošinou. Severovýchodní část zaujímá Uničovská plošina.

Hornomoravský úval sousedí na severu s Mohelnickou brázdou, na severovýchodě s Nízkým Jeseníkem. Z východu k němu přiléhá Moravská brána a Podbeskydská

pahorkatina. Jihovýchodním směrem od úvalu se nachází Hostýnsko-vsetínská hornatina a Vizovická vrchovina. Na jihu až jihozápadě sousedí Hornomoravský úval s Chřiby, Litenčickou pahorkatinou a Vyškovskou bránou. Západním směrem od úvalu leží Drahanská vrchovina a směrem na severozápad se rozkládá Zábřežská vrchovina.

### 1.1.3 Hydrologie

Řeka Morava je největším a nejdelším říčním tokem na Moravě. Pramení pod Kralickým Sněžníkem (1424 m n. m.), který je nejvyšším vrcholem pohoří nesoucího stejný název a je zároveň nejvyšší horou Pardubického kraje. Pramen se nachází v nadmořské výšce 1370 m.

Povodí Moravy má protáhlý tvar v severojižním směru s výběžkem směřujícím na východ, který připadá řece Bečvě. Ta se s řekou Moravou stéká pod Olomoucí. Bečva je zároveň druhou nejvýznamnější řekou povodí Moravy a je největší levobřežní přítok této hlavní řeky celého povodí. Mezi další přítoky Moravy patří například řeky Desná, Moravská Sázava, Třebůvka, Oskava, Bystřice, Romže či Haná.

Řeka Morava protéká skrz Mohelnickou brázdou, následně pak napříč Hornomoravským úvalem až do Dolnomoravského úvalu, kde se v nadmořské výšce 150 m na státní hranici s Rakouskem stéká s řekou Dyjí. Celková délka povodí Moravy na našem území činí 284,5 km. Mimo naše území, až po soutok s Dunajem, narůstá celková délka povodí na 354 km. Z hydrologického hlediska připadá toto povodí k úmoří Černého moře, do kterého Dunaj vtéká.

Průměrný spád řeky Moravy (mezi 64 a 130 km – v oblasti Hornomoravského úvalu) činí přibližně 94 cm na jeden kilometr. Hloubka koryta je značně variabilní. Na horním toku se průměrné hloubky koryta pohybují okolo 0,5 m a na dolním toku okolo 2,2 m. Šíře koryta se pohybuje mezi 18 až 40 m (Bábek et al., 2018). Průměrný roční průtok je opět velmi variabilní a závisí na konkrétním úseku řečiště. Na horním toku řeky se hodnoty ročního průtoku pohybují okolo 38,3 m<sup>3</sup> za sekundu a na dolním toku okolo 340 m<sup>3</sup> za sekundu. V oblasti města Olomouce, je průměrný roční průtok přibližně 98,5 m<sup>3</sup> za sekundu (www1). Průtok většiny přítoků řeky Moravy nepřesahuje 40 m<sup>3</sup> za sekundu. V případě řeky Bečvy, je však tato hodnota mnohem vyšší, průměrný roční průtok řeky Bečvy se pohybuje okolo 239 m<sup>3</sup> za sekundu.

#### 1.1.4 Klimatické poměry

Hornomoravský úval leží v mírném klimatickém pásu, pro který jsou typická mírná zimní i letní období. Vzhledem k jeho vrchovinnému omezení na západě a převažujícím západním a severozápadním vzdušným proudům, je většina vláhy zachycována, a proto se jedná o území s málo vydatnými srážkami v porovnání s jinými regiony České republiky.

Oblast spadá do teplé klimatické oblasti T-2. Průměrný roční úhrn srážek v oblasti toku řeky Moravy činí 570 – 650 mm (Máčka 2016). Úhrn srážek ve vegetačním období činí 350 – 400 mm a pouhých 200 – 300 mm v období zimním. Podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., 2007), nejvíce srážek v Hornomoravském úvalu spadne v červenci a nejméně v únoru. Počet dnů s úhrnem srážek nad 10 mm je přibližně 17 do roka. Dní se srážkami do 10 mm je 130 a tento počet vzrůstá směrem do pahorkatin až na 170 dní. Sněhový pokryv v hornomoravském úvalu bývá nesouvislý a je přerušován častými oblevy. Výška sněhového pokryvu je průměrně do 20 cm.

Průměrný počet zamračených dnů za rok je 145 a jasných dní 35 za rok. Průměrná relativní vlhkost vzduchu se pohybuje okolo 76 %, kdy její maxima obvykle připadají měsíci prosinci a minima měsíci květnu.

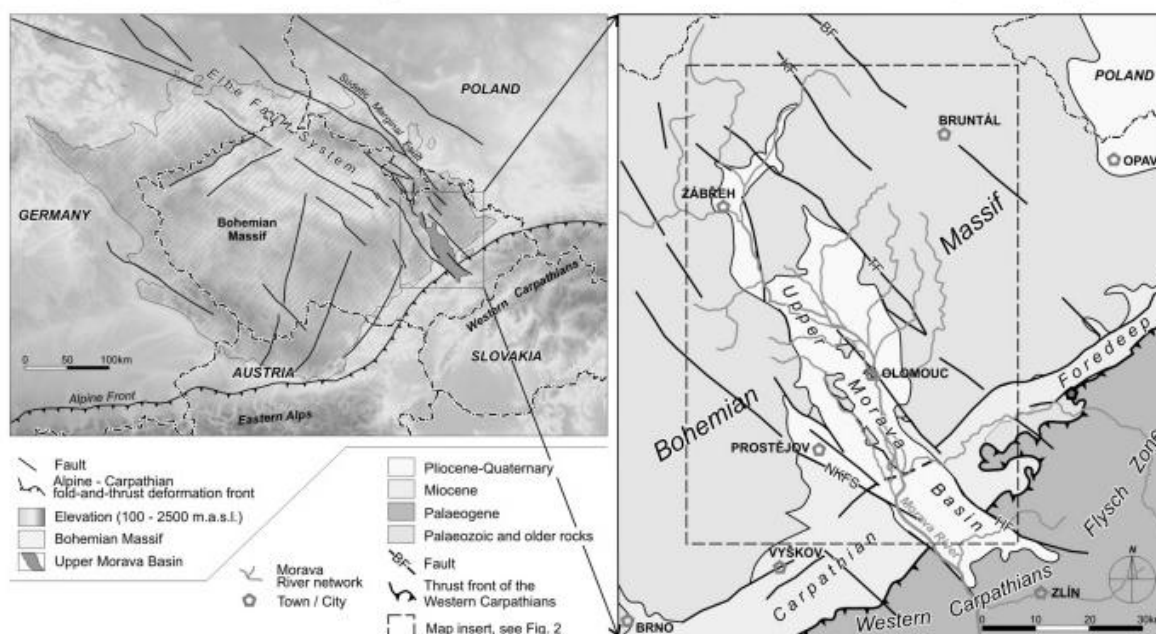
Pro hornomoravský úval je typický zvýšený počet mlžných dní (až 88 dní), díky jeho poloze ve sníženině, obklopené vrchovinami. Roční průměrná teplota se pohybuje v intervalu 8 – 9 °C.

## 1.2 Geologická charakteristika

### 1.2.1 Regionálně geologické zařazení a stratigrafie

Z hlediska regionální geologie se území České republiky dělí do dvou celků, které se od sebe liší geologickým vývojem i geofyzikálními parametry zemské kůry (Kachlík 2003). Prvním a největším celkem je Český masív, který zaujímá většinu našeho území. Jedná se o fragment variského (hercynského) orogenu, vznikající v období devonu a karbonu kolizí perigondwanských mikrokontinentů s Laurusií. Variský tektogén probíhal napříč Evropou od Pyrenejského poloostrova až k Černému moři (Mísař et al., 1983).

Druhým celkem ležícím na území České republiky jsou Západní Karpaty. Tento celek, situovaný ve východní části Moravy a Slezska, je dílčí součástí rozsáhlého horského systému ležícího v jižní Evropě, zvaného tethydní alpidy (Chlupáč, Štorch 1992). Podle Kachlíka (2003) vznikal během mezozoika a terciéru kolizí kontinentálních fragmentů severního okraje Afriky a varisky konsolidovanou západoevropskou epivariskou platformou. Stavba západních karpát byla tedy utvářena alpínskými orogenními procesy (Chlupáč et al., 2002). Oblast západních karpát, která zasahuje na naše území je v porovnání s Českým masívem značně menší.



Obrázek č. 3: geologická mapa České republiky (vlevo), styk Českého masívu a vnějších Západních Karpát (vpravo), (Bábek et al., 2018).

Konkrétně na naše území zasahují jen vnější části Západních Karpat, tvořené příkrovy mezozoických a terciérních hornin, tzv. flyšové Karpaty (Chlupáč et al., 2002). Ty byly na východní okraj Českého masívu nasunuty z jihu a jihovýchodního směru až v miocenu, před přibližně 15 – 25 miliony let. Tuto část Karpat zasahující na naše území dělíme dle regionálně geologického zařazení na tyto geologické celky: flyšové pásmo, vídeňskou pánev a karpatskou předhlubeň (Čtyroký, Stráník 1995). Pod nimi v podloží se nachází autochtonní mezozoikum a paleogén. Na rozdíl od Českého masívu, ve kterém převažují jednotky krystalinického rázu a platformního pokryvu, jsou v Západních Karpatech převažující nemetamorfované sedimentární formace (Obr. 3), což je způsobeno kromě odlišného utváření a tektonických procesů, i rozdílným stářím obou jednotek (Kachlík 2003).

### **Moravskoslezská zóna Českého masívu**

Moravskoslezská zóna se nalézá na nejvýchodnější části Českého masívu a zahrnuje ve svojí stavbě metamorfované hornin krystalinika a devonských a spodno-karbonských hornin (Mísař et al., 1983). Mezi hlavní jednotky řadíme moravikum, silezikum a brunovistulikum.

Horniny moravika vystupují v dyjské klenbě, svratecké klenbě, krystaliniku svinovsko-vranovském a nectavském. Jsou reprezentovány metamorfovanými horninami typu svorů, fylitů, mramorů, pararul, ale také horninami magmatického charakteru, jako jsou například žuly.

Silezikum je oblastí oddělující moravskoslezskou zónu od ostatních oblastí Českého masívu. Horniny silezika odpovídají stářím devonu a spodnímu karbonu. Opět jsou tyto horniny pestrou škálou metamorfitů, jako jsou například erlány, amfibolity, ruly, migmatity či kvarcity. Součástí silezika jsou i horniny magmatické jako například gabra, granodiority a diority.

Brunovistulikum budují rozsáhlé granitoidní masívy před-devonského (kadomského) stáří. Hlavní horniny budující brunovistulikum jsou granodiority, aplity, pegmatity a granity. Zastoupení v brunovistulikum však mají i metamorfované horniny.

Nedílnou součástí moravskoslezské oblasti jsou i devonské a spodno-karbonské sedimenty, tvořeny převážně vápenci, slepenci a drobami, které vystupují na povrch spolu s ostrůvky krystalinik i v Hornomoravském úvalu.

## **Flyšové pásmo Západních Karpat**

Jedná se o příkrovový alochton tektonického rázu s převážně flyšovou stavbou o mocnosti až 7km (rytmické střídání sedimentů písčité a jílovité frakce). S ohledem na směr nasouvání z centrální části pohoří (od JV na SZ) a prakticky téměř horizontálními násunovými plochami, se jednotlivé skupiny příkrovů ukládaly na sebe. Od nejvýše uložených příkrovů v nich rozlišujeme: vnitřní (magurskou) skupinu příkrovů a vnější (krosněnskou) skupinu příkrovů.

Magurskou skupinu příkrovů tvoří tři jednotky: račanská, bystrická a bělokarpatská. Podle Chlupáče (2002), je račanská jednotka zastoupena faciálně pestrými sedimenty staří spodní křída až spodní oligocén. Horniny jednotky bělokarpatské jsou stáří svrchní křída až eocénu a horniny jednotky bystrické mají stáří paleocén – eocén.

Skupina vnějších příkrovů má opět povahu flyšových uloženin, avšak na rozdíl od magurské skupiny jsou v ní přítomny i horniny neflyšového typu jako jsou například silicity a vápence (Chlupáč et al., 2002). Tato skupina podle Čtyřokého (1995) zahrnuje jednotky: předmagurkou, slezskou (jura - oligocén), zdouneckou (spodní křída až oligocén), podslezskou (pestré uloženiny křída až eocénu), ždánickou (svrchní křída – spodní miocén s útržky sedimentů jury) a pouzdraňskou (eocén – spodní miocén).

## **Vídeňská pánev**

Jedná se o rozsáhlou vnitrohorskou neogenní pánev se složitou tektonickou stavbou založenou na systému zlomů zasahujících hluboko (až několik tisíc metrů) do předneoidního podloží budovaného příkrovem (Čtyřoký, Stráník 1995). Pevně je vyplněna mořskými a sladkovodními sedimenty miocenního stáří. Mimo naše území zasahuje i na Slovensko a do Rakouska.

## **Karpatská předhlubeň**

Karpatská předhlubeň se nachází v předpolí karpatského orogénu. Jedná se o podélnou depresi vyplněnou mořskými miocenními sedimenty a sladkovodními pliocenními sedimenty (Chlupáč et al., 2002). V podloží karpatské předhlubně jsou uloženy horniny Českého masívu prekambriického až paleogenního stáří a na východní části se noří pod flyšové pásmo nebo jsou zakomponovány do jeho stavby (Čtyřoký et al., 1995). Na základě rozdílné stavby a stratigrafie se člení na tři základní části: jižní, střední a severní část.



Jižní část definuje hranice s Rakouskem a osa nesvačilského příkopu. Střední část je omezena severní hranicí Hornomoravského úvalu a severní část vymezuje hranice s Polskem (Chlupáč et al., 2002).

Studovaná oblast se nachází právě ve střední části předhlubně v mladší příčné depresi nazývané Hornomoravský úval, která spolu s Mohelnickou brázdou tuto střední část předhlubně přerušuje (Čtyroký, Stráník 1995). Jak Hornomoravský úval, tak Mohelnická brázda jsou vyplněny převážně pliocenními a svrchnomiocenními fluviolakustrinními a kontinentálními sedimenty (Kachlík 2003). Pánev Hornomoravského úvalu utvářely pohyby na zlomech labské linie, jejichž tektonická aktivita byla v miocenu opět oživena.

### **Hornomoravský úval**

Hornomoravský úval je mladou sedimentační pánví tektonického původu pozdně kenozoického stáří, vyplněnou sedimenty, převážně pliocenního až kvartérního stáří (Špaček et al., 2014). Jedná se o oblast, situovanou na severovýchodním okraji Českého masívu. Tato dodnes značně tektonicky aktivní oblast, je vymezena systémem zlomů směru severozápad-jihovýchod. Mezi nejvýznamnější zlomové struktury, obecně označované jako poruchové pásmo Hané, patří zlom temenický, holešovský, zlom kosíře a zlomový systém nectavakvasice.

Úval je podlouhlou sedimentační pánví, taktéž převážně směřující ze severozápadu na jihovýchod. Tato pánev je vyplněna i více než 300 m mocnou výplní říčních a jezerních sedimentů pliocenního až kvartérního stáří (Špaček et al., 2014) s občasným výskytem miocenních mořských sedimentů. Pliocenní sedimenty jsou v této oblasti zastoupeny převážně štěrky, písky a jíly (Růžička 1989). Horniny spodního až svrchního pleistocénu jsou tvořeny hlavně říčními štěrky a písky (Zeman 1971, Růžička 1973, Novák et al, 2017). Vzhledem k působení řeky Moravy v této oblasti, lze předpokládat její značný vliv na uspořádání těchto sedimentárních útvarů.

V oblasti se nachází celkem 5 říčních teras: lukovská, brodecká, kralická (hlavní), neikonická a údolní terasa (Růžička 1973, Bábek et al., 2018). Podle Růžičky (1973), má lukovská terasa relativní výšku báze 20 metrů a povrch 25-26 metrů. Brodecká terasa má relativní výšku báze ve 13 metrech a povrch přibližně v 17 metrech nad hladinou řeky Moravy. Tato terasa je tvořena převážně štěrky, které náleží řece Moravě (Růžička 1973). Hlavní terasou v údolní nivě je terasa kralická. Její báze kolísá okolo hladiny dnešní řeky

Moravy a povrch se nachází v 10-12 metrech nad ní (Růžička 1973). Kralickou terasu tvoří celkem dvě akumulace fluviálních sedimentů. Spodní akumulace má mocnost přibližně 4-5 metrů a je tvořena hlavně písčítými štěrky s menším zastoupením písků a siltu. Mocnost svrchní akumulace se pohybuje v rozmezí 5-9 metrů a je převážně tvořena písčítými štěrky s menším výskytem hrubozrnných písků či písčitých jíílů. Tato akumulace však většinou připadá přítokům řeky Moravy (Růžička 1973). Další terasou v údolí řeky Moravy je terasa nenakonická s výškou báze 4-5 metrů pod hladinou dnešní řeky Moravy a povrchem ve výšce 4 metry nad její hladinou. Převážně je tvořena písčítými štěrky s menším výskytem písků. Poslední terasou je údolní terasa – vyplňuje dnešní nivu řeky Moravy. Je tvořena také písčítými štěrky o mocnosti až 6 metrů, s pokryvem náplavových hlín. Na několika místech, zde vystupují i horniny drahanského a jesenického kulmu, zastoupeny jílovými břidlicemi, prachovci a drobami.

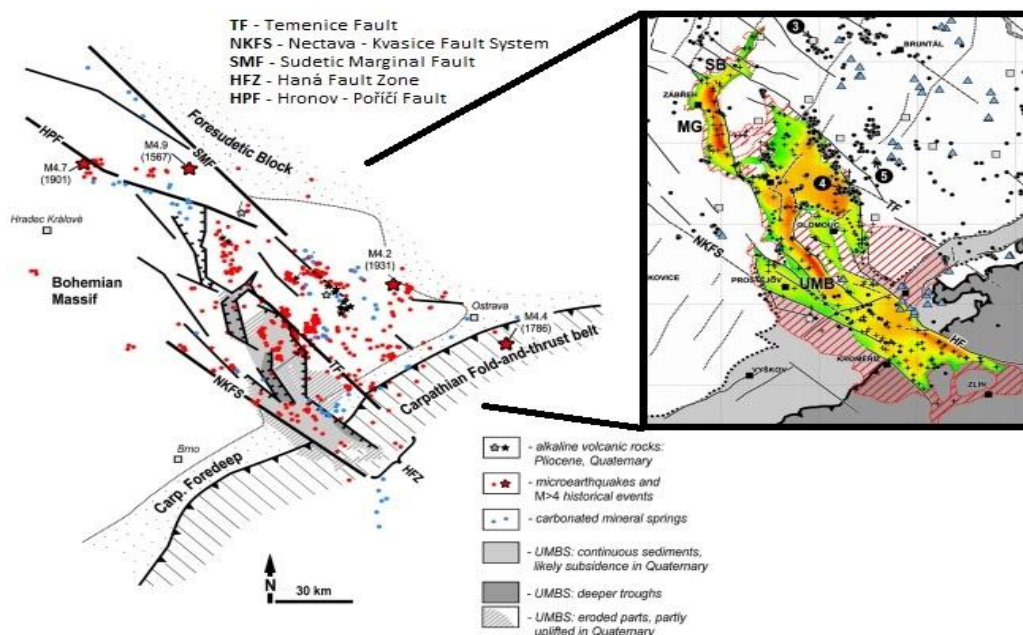
Datování pomocí optické stimulované luminiscence (OSL) vzorků písku, uvádí Novák (2017) ve svém článku stáří sedimentů odebraných ve vrtných jádrech (na lokalitách Pňovice, Hrdibořice, Lutín a Dub nad Moravou) v rozmezí  $161,48 \pm 17,19$  do  $0,5 \pm 0,08$  ka. Toto rozpětí koreluje se stratigrafickým rozpětím horní pleistocén až holocén. Nejstarší sedimenty jsou podle Nováka (2017) lokalizovány v hloubkách 4-7 metrů. K podobným výsledkům dospěl ve svém článku i Bábek (2018), který pomocí metody OSL datuje štěrky a štěrkopísky do období od  $16,48 \pm 17,19$  ka do  $34,53 \pm 3,42$  a stáří siltů do období od  $120,87 \pm 12,62$  do  $0,50 \pm 0,08$ ka. Odebrané vzorky pochází z lokalit Doubravice, Dub nad Moravou, Moravičany, Nové zámky, Řepčín, Majetín a Rozvadovice. Bábek (2018) doplnil měření i o datování pomocí izotopu  $^{14}\text{C}$  ze sedmi vrtných jader. Touto metodou byly datovány štěrkopísky do období  $2,108 \pm 0,038$ ka, písky do období  $7,066 \pm 0,072$  ka na  $0,136 \pm 0,10$  ka a silt  $4,19 \pm 0,045$  ka až  $0,673 \pm 0,006$  ka. Podrobnější popis odebraných vzorků z obou článků je uveden v tabulce v příloze 1.

### 1.2.2 Tektonická stavba a seismická aktivita Hornomoravského úvalu

Hornomoravský úval je rozčleněn zlomovými liniemi (převážně SZ – SV až SSZ – JJV směru) do několika ker. Tento soubor zlomů označujeme jako zlomové pásmo Hané (Mísař 1983, Špaček et al., 2014). Kru Hornomoravského úvalu odděluje od kry bradelsko – malenické zlom olomoucký a přerovský, které jsou situovány na spojnici měst Přerov, Olomouc a Litovel. Na tuto linii navazují na jihu zlom holešovský a na severu budínský zlom.

Jihozápadně je kra Hornomoravského úvalu oddělena od kry Dražanské systémem nectava-kvasice a s ním paralelně probíhajícím zlomem kojetínským, který pokračuje dále na jihozápad. Ze severozápadu je úval omezen zlomem temenický od Nízkého Jeseníku.

Ačkoliv je dnes Hornomoravský úval tektonicky relativně klidnou oblastí, v období pozdního miocénu až svrchního pleistocénu, zde probíhaly i mnohé vulkanické pochody. Několik malých vulkanických těles lze nalézt v severovýchodní části úvalu a v jeho centru, do něhož se vulkanická aktivita přesouvala v průběhu času. Nejmladší vulkanické horniny můžeme nalézt v okolí Bruntálu (Špaček et al., 2014). Dozvuky této vulkanické aktivity můžeme vidět na mnoha místech v podobě karbonátových vývěrů. Tyto vývěry se zvýšeným tokem juvenilního CO<sub>2</sub>, jsou převážně vázány na seismicky aktivní oblasti (obr. 4).



**Obrázek č. 4:** zjednodušená mapa tektonické stavby a mocnosti sedimentárních hornin Hornomoravského úvalu s vyznačenými ohnisky zemětřesení, vývěry karbonátových pramenů, výskyty vulkanických hornin a hlavními zlomovými liniemi (Špaček et al., 2014) – upraveno.

Severovýchodní a východní část Západních karpát je, co se týče seismické aktivity, velmi aktivní oblastí. Měřená zemětřesení se vyskytují v oblasti definované městy Trutnov, Svitavy, Zlín, Ostrava a Klodzko (Špaček et al., 2014). Epicentra zemětřesení, zaznamenaná sítí seizmických stanic, jsou většinou vázána na zlomové struktury nacházející se v této oblasti. Toto tvrzení však není vždy pravidlem a jsou zaznamenány i zemětřesné roje v oblastech bez výskytu známých tektonických poruch. Zlomové struktury jsou také doprovázeny větší mocností plio-pleistocenních sedimentárních hornin (Obr. 4).

Zemětřesení zaznamenaná v oblasti jsou však často velmi slabá (od M 0,6 do M 2,5). Jejich síla se pohybuje v intervalu magnituda od 3 do 4 M (Špaček et al., 2014). Některé seismické otřesy jsou i tak slabé, že je lidé zde žijící ani nezaregistrují. Několik zemětřesení však přesáhlo i hranici M4. Například seismické otřesy v okolí Trutnova z roku 1901, jsou s magnitudem 4,7 považovány za jedno z nejsilnějších zemětřesení v oblasti (Špaček et al., 2014). Další silné zemětřesení bylo zaznamenáno v roce 1931 v okolí Opavy s magnitudem 4,4. Hypocentra většiny těchto zemětřesení byla lokalizována v hloubce od 9 do 18 km (Obr. 4).

## 2 REFLEXNÍ SEISMIKA

Reflexní seismika je geofyzikální metodou, založenou na odrazech seismických vln od seismických rozhraní. Princip této metody, spočívá v tom, že v daný moment na daném místě vytvoříme seismickou vlnu, pomocí seismického zdroje. Tato uměle vytvořená vlna se pohybuje geologickým prostředím až do té doby, dokud nenarazí na seismické rozhraní, od kterého se odrazí zpět k povrchu. Čas příchodu této vlny, je následně zaznamenán a analyzován. Reflexní seismické profilování je převážně využíváno k detekci podpovrchových ložisek nerostných surovin, jako jsou například zemní plyn a ropa.

Samotné měření spočívá v umístění velkého množství geofonů (přijímače) v linii profilu nebo v ploše. Vytvořená vlna v místě odpalu putuje i několik kilometrů hluboko pod povrch a odrazí se zpět pod určitým úhlem ke geofonům. V praxi je ne příliš často využívána metoda jednoho geofonu (přijímače), kdy jsou zaznamenávány a dále interpretovány pouze vlny dopadající na geologické rozhraní pod povrchem v kolmém směru. Seismický paprsek urazí za určitou dobu určitou dráhu, která je součtem trasy dvakrát (od přijímače k rozhraní a zpět). Tuto změřenou dobu, musíme dělit dvěma (*two way time* - TWT) pro další interpretaci naměřených dat (Musset, Khan 2000). Také je nutno si uvědomit, že vlna se nepohybuje v ideálním homogenním a izotropním prostředí. Materiály pod povrchem (horniny), mají často rozdílné hustoty a porozitu, která ovlivňuje rychlost šíření vlny v geologickém prostředí (viz níže).

K profilování lze také využít i metodu více geofonů (přijímačů), kdy jsou geofony rozestavěny do sítě (3D profilování), či do linie (2D profilování). Naměřená data je nutno následně laboratorně odfiltrovat, pomocí softwaru k tomu určenému, protože změřený záznam je do jisté míry zastíněn okolními ruchy. Tyto ruchy mohou přicházet z různých zdrojů, jako například z nedaleké dálnice, vodovodního potrubí či vodního toku nebo větru, který rozechvívá vegetaci, jejíž kořeny následně přenáší vlnění kořenovým systémem do půdy. Proto je nutné i dbát na výběr místa, kudy povedeme linii profilu.

Pro lepší pochopení fungování této geofyzikální metod je třeba vysvětlit si některé základní pojmy a principy.

## 2.1 Seismická vlna

Z fyzikálního hlediska je seismická vlna mechanickým kmitem (elastickou deformací) šířící se v prostoru. Během tohoto vlnění je přenášena energie vzniklá při vzruchu, který vlnu vyvolal, a kterým může být přírodní zdroj (zemětřesení, sesuv, vulkanická aktivita, dopad meteoritu) nebo umělý zdroj (úder kladivem, urychlený pád závaží, vibrační mechanismus a další). V horninovém masívu se vlny šíří všemi směry a tvoří tak vlnoplochy. V homogenním izotropním prostředí jsou vlnoplochy kulovité, avšak v běžném anizotropním prostředí zemské kůry mají vlnoplochy obecný prostorový tvar. Díky složitosti interpretace vlnoploch v trojrozměrném prostředí, se vlny zjednodušují na takzvané paprsky, které jsou vždy kolmé na vlnoplochy a jejichž dráhu a celkové chování lze lépe modelovat pomocí 2D prostoru (Musset, Khan 2000).

Seismická vlna je definována vlnovou délkou ( $\lambda$ ), amplitudou ( $a$ ), frekvencí ( $f$ ) a rychlostí šíření ( $v$ ). Rychlost, jakou se vlna pohybuje prostředím, určují fyzikální vlastnosti tohoto prostředí (v našem případě horniny – tabulka č. 1). Čím méně je materiál porózní, tím větší má hustotu a vlnění se v něm pohybuje vyšší rychlostí, na rozdíl od materiálů s nižší hustotou a vyšší porositou, ve kterých je pohyb vlnění zpomalen. Rychlost šíření vlny horninou závisí i na hloubce, ve které se nachází (Musset, Khan 2000). Podle vzrůstajícího tlaku nadloží v hloubce, vzrůstá i hustota materiálu a tím i rychlost šíření seismických vln.

*Tabulka č. 1: rychlosti seismických vln v různých materiálech (Musset, Khan 2000).*

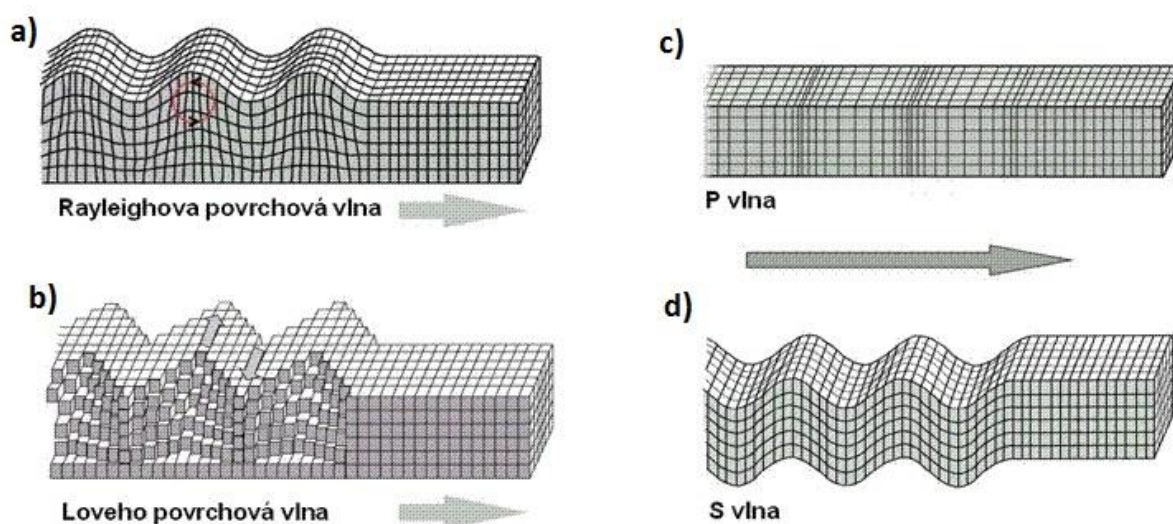
| Typ horniny / materiálů | Rychlost vlny v km/s |
|-------------------------|----------------------|
| Vzduch                  | 0,3                  |
| Voda                    | 1,4 – 1,5            |
| Olej                    | 1,3 – 1,4            |
| Led                     | 3,4                  |
| Jíl                     | 1,0 – 2,5            |
| Suchý písek             | 0,2 – 1,0            |
| Mokrý písek             | 1,5 – 2,0            |
| Anhydrit                | 6,0                  |
| Křída                   | 2,1 – 4,5            |
| Uhlí                    | 1,7 – 3,4            |
| Dolomit                 | 4,0 – 7,0            |
| Vápenec                 | 3,9 – 6,2            |
| Břidlice                | 2,0 – 5,0            |
| Sůl                     | 4,6                  |
| Pískovec                | 2,0 – 5,0            |
| Bazalt                  | 5,3 – 6,5            |
| Granit                  | 4,7 – 6,0            |
| Gabro                   | 6,5 – 7,0            |
| Ultramafické horniny    | 7,5 – 8,5            |

Vlnová délka je definována jako vzdálenost dvou nejbližších bodů, kmitajících ve stejné fázi, za dobu jednoho kmitu (www2). Amplituda je dosažené maximum periodicky se opakující vlny (www3). Frekvence udává počet opakování periodického děje v daném časovém úseku (počet kmitů za sekundu, Hz).

## 2.2 Typy vln

Seismické vlny lze podle jejich povahy rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou vlny objemové (body waves) a druhou skupinou jsou vlny na rozhraní (interface waves).

Objemové vlny (Obr. 5) se dále dělí na dva typy: P-vlny (podélné – primární) a S-vlny (příčné - sekundární).



Obrázek č. 5: a) Rayleighova vlna, b) Loveho vlna, c) P-vlna, d) S-vlna (dostupné 26/06/2019: [https://www.aldebaran.cz/lab/doppler/2\\_cteni\\_2.php](https://www.aldebaran.cz/lab/doppler/2_cteni_2.php)) - upraveno.

Rychlost šíření vln podélných je v geologickém prostředí vyšší a mohou se šířit jak v pevných látkách, tak v kapalinách. Jejich částice přitom kmitají ve shodě se směrem pohybu vlny (Geldart et al., 1990). Na prvopočátku kmitu dochází ke stlačení částic prostředí a následně k jejich oddálení, čímž se dají srovnat i se zvukovými vlnami, šířícími se vzduchem (Musset, Khan 2000). Vlnění příčné naopak kmitají kolmo na směr pohybu vlny a nemohou se pohybovat kapalnými látkami (Geldart et al., 1990). Pro výpočet rychlostí P-vln  $v_p$  a S-vln  $v_s$  lze využít následující rovnice:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} \quad 1)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad 2)$$

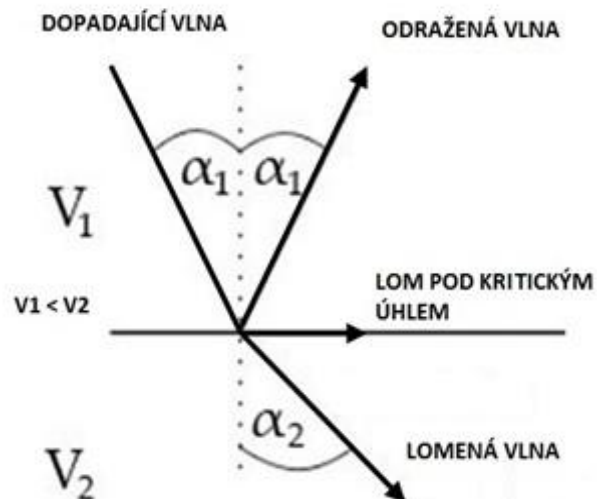
V rovnici pro výpočet rychlosti P-vln  $v_p$  (1) a S-vln  $v_s$  (2) reprezentuje  $\lambda$  a  $\mu$  Laméovy koeficienty a  $\rho$  hustotu. Laméovy koeficienty jsou fyzikálními veličinami, které definují elastické vlastnosti izotropního a pružného prostředí (www4).

Vlny na rozhraní se dělí na vlny Rayleighovy a Loveovy (Obr. 5). Oba tyto typy vln se projevují hlavně na a v blízkosti povrchu, ale druhotně i v oblastech seismických rozhraní. Směrem do hloubky se jejich energie vytrácí bez změny frekvence. Jejich pohyby jsou však mnohem komplexnějšího rázu než u P-vln a S-vln (Chlupáč, Kachlík 2011). Rayleighovy vlny vykonávají pohyb po vertikální elipse. Loveovy vlny kmitají horizontálně kolmo na směr šíření vlny. Jejich rychlost je ve srovnání s S-vlnami a P-vlnami nižší, ale právě díky pohybu při povrchu, mohou za ničivé následky zemětřesení.

### 2.3 Snellův zákon, Huygensuv-Fresnelův princip a difrakce

**Snellův zákon** definuje chování paprsku procházejícího z jednoho prostředí do prostředí druhého s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi. (Obr. 6).

Paprsek dopadající na rozhraní má úhel dopadu  $\alpha_1$  a rychlost  $v_1$ . Do druhého prostředí s odlišnými vlastnostmi, poté putuje rychlostí  $v_2$  a úhlem  $\alpha_2$  se jím dále šíří (Geldart et al., 1990). Chování paprsku podle Snellova zákona popisuje následující rovnice (3):



Obrázek č. 6: odražená vlna, lomená vlna a lom pod kritickým úhlem (dostupné 26/06/2019: <http://geofyzika.webz.cz/princseism.php>) – upraveno.

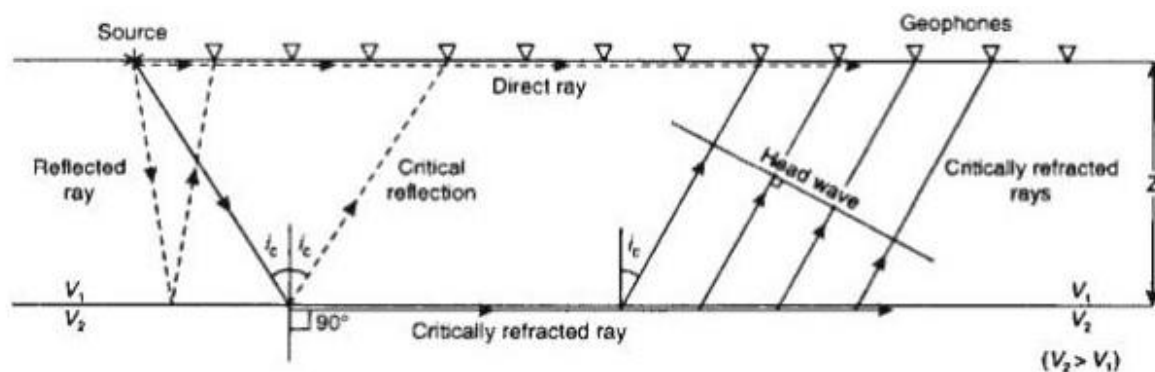
$$\frac{\sin \alpha_1}{v_1} = \frac{\sin \alpha_2}{v_2} \quad 3)$$



Pokud paprsek dopadá na rozhraní pod kritickým úhlem dopadu, dochází ke **kritické refrakci** (critical refraction), kdy paprsek pokračuje podél rozhraní a jelikož podléhá Huygensovu principu, vytváří **čelné vlny** (headwaves), které jsou odraženy zpět k povrchu (Obr. 7). Kritickou refrakci lze popsat následující rovnicí ( $i_c$  je kritický úhel refrakce):

$$\sin \alpha_c = \frac{v_1}{v_2} \quad 4)$$

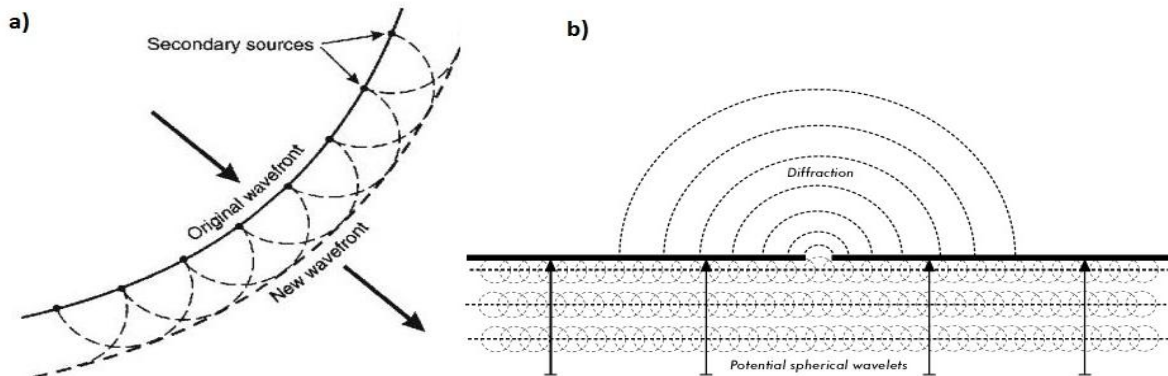
Paprsek šířící se z prostředí s nižší seismickou rychlostí do prostředí s vyšší seismickou rychlostí, pod úhlem dopadu větším než je kritický úhel, podléhá odrazu, protože je překonán mezní úhel dopadu. Mezní úhel dopadu nám definuje hodnotu úhlu dopadu, kdy bude paprsek ještě podléhat lomu. Vlnění je v tomto případě odraženo zpět k povrchu a nikdy nedojde k jeho průniku do prostředí nacházejícího se pod rozhraním a dochází k tzv. **totálnímu odrazu paprsku** (critical reflection), (Obr. 7).



**Obrázek č. 7: odraz paprsku, kritický odraz a kritická refrakce (dostupné 26/06/2019: <http://www.ukm.my/rahim/Seismic%20Refraction%20Surveying.htm>).**

**Huygensuv-Fresnelův princip** popisuje každý bod vlnoplochy jako potenciaální zdroj nového vlnění (Geldart et al., 1990). Z každého bodu vlnoplochy vychází do vnější oblasti další vlna. Tyto vlny mezi sebou interferují a zmenšují nebo naopak zvětšují svoji amplitudu. Tento princip lze využít k vytvoření modelu chování vln při odrazu a lomu, při jejich šíření či ohybu na překážce – tedy v momentě, kdy vlny dospějí k rozhraní dvou prostředí (Obr. 8a).

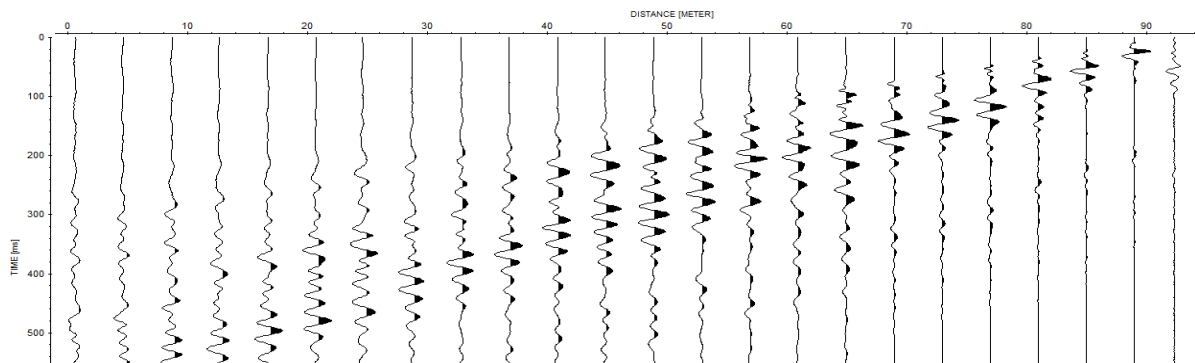
Jak již bylo řečeno – Huygens-Fresnelův princip lze využít k popisu chování vln při průchodu skrz rozhraní. S tímto jevem souvisí i **difrakce** (Geldart et al., 1990). Vlna procházející rozhraním (respektive malým otvorem v něm) by se podle očekávání měla pohybovat dále prostředím s jasně vymezenými hranicemi (Obr. 8b). Tento jev však nenastane, a díky difrakci se procházející vlnoplocha opět chová jako další zdroj vlnění v prostoru, šířícím se všemi směry (Musset, Khan 2000).



**Obrázek č. 8:** a) Huygensuv-Fresnelův princip šíření vln, b) difrakce (dostupné 26/06/2019: [http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw\\_04\\_07\\_04.html](http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw_04_07_04.html)) - upraveno.

## 2.4 T-x diagram

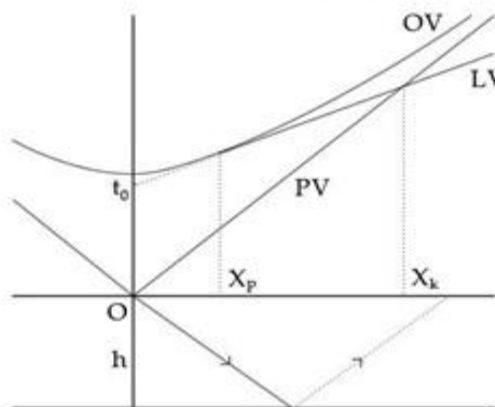
Příchod vyvolaných vln je na povrchu zaznamenáván sérií geofonů nejčastěji v přímém profilu. Při zvyšování vzdálenosti od zdroje seismických vln narůstá i čas jejich příchodu k jednotlivým geofonům (Obr. 9). Pokud tyto časy prvních příchodů vyneseme do grafu, s osou  $x$  znázorňující čas  $t$  a osou  $y$  znázorňující vzdálenost  $x$ , získáme grafický záznam nazývaný  $t$ - $x$  diagram. Propojením časů příchodu získáme tzv. hodochronu, která má určitý sklon.



**Obrázek č. 9:**  $t$ - $x$  diagram, osa  $x$  – vzdálenost v metrech, osa  $y$  – čas v metrech za sekundu.

Sklon hodochrony, se odvíjí od rychlosti vln a platí, že čím větší je rychlost šíření, tím menší sklon bude hodochrona mít. Po určité dráze, kterou první příchody urazí od zdroje, dojde k zalomení hodochrony. Ta dále pokračuje pod jiným úklonem (Obr. 10). Toto zalomení indikuje přítomnost horizontálního nebo mírně ukloněného seismického rozhraní v odpovídající hloubce (Musset, Khan 2000).

Hodochrony přímé (PV), odražené (OV) a lomené (LV) vlny



Obrázek č. 10: hodochrony přímé, odražené a lomené vlny (dostupné 03/07/2019: <http://geofyzika.webz.cz/princseism.php>).

## 2.5 Vlnové interakce s prostředím

Vlna procházející geologickým prostředím může narazit na geologické rozhraní. Pokud odraz proběhne, může se vlna chovat několika rozdílnými způsoby, které však často probíhají současně. Jednou z těchto možností je, že je vlna odražena a dochází k reflexi. Rozhraní, od kterého se vlna odráží, nazýváme **reflektor**. Reflektovaných vln, využívá reflexní seismika. Aby mohlo k odrazu dojít, musejí být obě prostředí značně fyzikálně rozdílná – co se týče hustoty prostředí  $\rho$  a rychlosti vlny  $v$  v prostředí. Vynásobením hustoty ( $\rho$ ) a rychlosti ( $v$ ) šíření vln v daném prostředí (5) získáme tzv. **akustickou impedanci** ( $Z$ ). Na základě rozdílnosti akustických impedancí dvou prostředí s  $\rho_1$  a  $\rho_2$ ,  $v_1$  a  $v_2$ , lze vypočítat koeficient průchodu  $T$  (6) a koeficient odrazu  $R$  (7).

$$Z = \rho \cdot v \quad 5)$$

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad 6)$$

$$T = \frac{2\rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad 7)$$

Druhou možností je lom (refrakce) při průchodu přes seismické rozhraní. Další a poslední možností, je situace, kdy vlna pokračuje dále přes rozhraní do druhého prostředí beze změny směru či rychlosti.

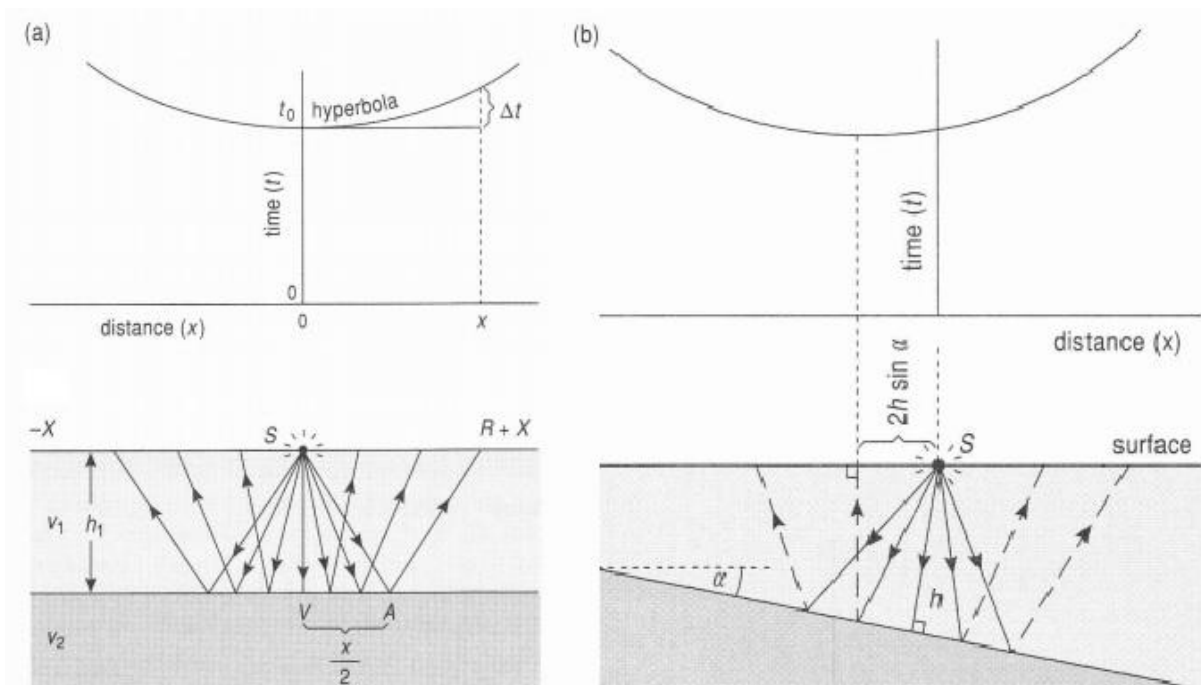
## 2.6 Více-kanálový záznam

Během měření reflexní seismikou lze využít dva způsoby měření. Prvním způsobem je systém jednoho přijímače. Při tomto způsobu měření, je záznam zaznamenáván pouze jedním geofonem lokalizovaným v blízkosti zdroje.

Druhým způsobem záznamu je metoda více přijímačů. Na rozdíl od předešlé metody, je využíváno mnoha geofonů, které mohou být seřazeny do linie (výsledkem měření je 2D profil) nebo mohou tvořit jakousi síť (výsledkem je 3D model). Zaznamenaná hodochrona příchoďů v t-x diagramu má tvar hyperboly.

## 2.7 Dráha odražených vln a jejich tvary

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, odražená vlna má v t-x diagramu podobu hyperboly (Obr. 11a). Pokud je reflektor ukloněn, posune se střed hyperboly směrem, kterým daný reflektor stoupá (Obr. 11b). Další změna v podobě hyperboly nastává tehdy, je-li rozhraní zdrojem difrakce. Tímto zdrojem může být například zlom a tvar odražených vln se opět zobrazí jako hyperbola (Mussett, Khan 2000). Na rozdíl od předchozích případů bude mít však tato hyperbola více rozevřená ramena.



Obrázek č. 11: a) hyperbolické zobrazení odražených vln, b) hyperbola odražených vln na ukloněném reflektoru (Mussett, Khan 2000).

Pokud je v geologickém prostředí více než jedno rozhraní, mohou vznikat tzv. **násobné vlny**, odražená vlna se na své trajektorii k povrchu odráží, či láme vícekrát a je tedy i několikrát zaznamenána.

Pokud je vzdálenost mezi rozhraními velmi malá, nastává tzv. destruktivní interference, kdy obě vlny interferují, a převládá vlna s nejsilnějším signálem. Díky tomuto jevu se následně dvě rozhraní zobrazí jako jedno.

## 2.8 Stacking

Během měření seismickými metodami, je naším cílem analyzovat ty vlny, které byly uměle vyvolány za účelem zkoumání podpovrchové stavby studovaného území. Okolí profilu je však ovlivňováno mnoha jinými zdroji vibrací, které se taktéž promítnou do našeho záznamu.

Může jít o různé přírodní zdroje, jako jsou například vibrace větru přenášené korunami stromů, či jinými rostlinami, přes kořenový systém do půdy nebo o antropogenní zdroje vibrací jako jsou například vodovodní potrubí a dálnice. Tyto nechtěné ruchy z prostředí nazýváme šum. Existují dva typy šumů, a to soustavný (přetrvává) a chaotický (lze jej odfiltrovat), (Geldart et al., 1990).

Stacking je založen na několikanásobném měření téhož odpalu na stejném místě a sečtením jejich záznamů. Díky použití této metody jsme schopni částečně šum potlačit a umožnit tak vyniknutí námi vyvolaných signálů (Mussett, Khan 2000).

## 2.9 Dynamické korekce (NMO)

Dynamická korekce (NMO – normal moveout) je princip popisující časové zpoždění vln nacházejících se dále od zdroje vlnění. Čím dále se geofon nachází od odpalu, tím delší dráhu musí urazit geologickým prostředím. Logicky tedy platí i to, že čím delší je dráha pohybu dané vlny k tomuto vzdálenému geofonu, tím delší bude i čas potřebný pro překonání této trajektorie. Čas příchodu této vlny, je ovlivněn také mocností vrstvy a rychlostí vlny, jakou se prostředím pohybuje (Obr. 10).

### 3 METODIKA

Pro měření seismického profilu byla použita 24 kanálová aparatura Terraloc Mk8 od firmy ABEM, Švédsko – digitální seismograf (Obr. 12). Odolný obal, voděodolnost a možnost pracovat s tímto zařízením až do teplot okolo  $-5^{\circ}\text{C}$ , dělá z tohoto přístroje perfektní terénní nástroj. Terraloc Mk8 je vybaven počítačem, podporujícím operační systém Windows XP. Obsahuje ovládací software SeisTW, který lze ovládat buď pomocí zabudovaných tlačítek, přímo na přístroji nebo za pomoci externí klávesnice a myši. Pro připojení myši a klávesnice slouží tři USB porty 2.0. Naměřená data a systém nalezneme na 80 GB harddisku. Přístroj má také vestavěný barevný display.

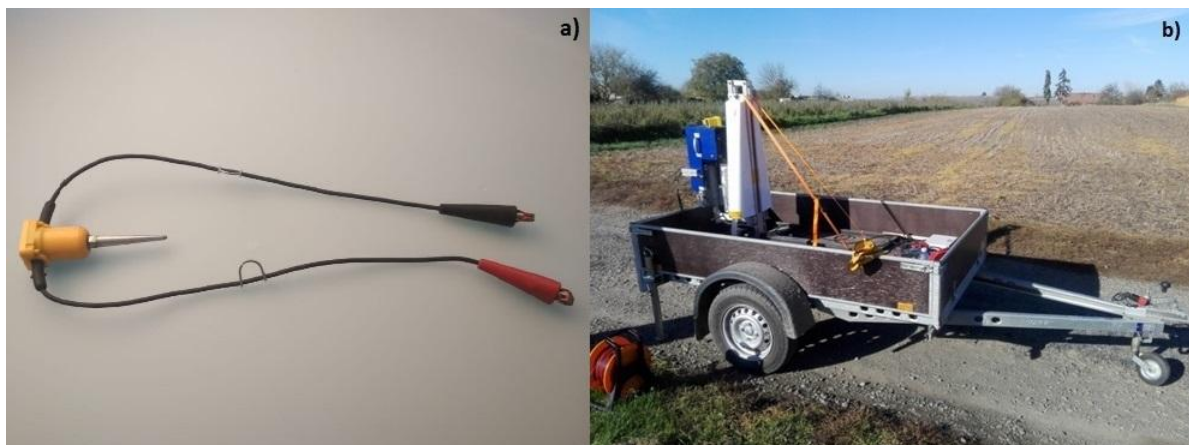


*Obrázek č. 12: aparatura Terraloc Mk8 ABEM.*

Seismograf lze napájet pomocí externí baterie nebo jakýmkoli jiným zdrojem s výstupním napětím 10 – 30 voltů stejnosměrného proudu. Takovým zdrojem může být například autobaterie.

Sestava Terraloc Mk8 obsahuje také sadu 25 kusů vertikálních geofonů SM-48, 10 Hz (Obr. 13a). Jeden geofon slouží jako spouštěč a zbylých 24 jsou připojeny k seismickým kabelům. Tyto seismické kabely jsou v balení ve dvou kusech, kdy každý z nich má 12 přípojek pro geofony vzdálených od sebe 12,5 metru a jejich délka činí 147,5 metru.

Jako zdroj bylo použito kladivo PEG-40 (propelled energy generator), výrobce RT Clark, USA, což je ocelové závaží o hmotnosti 40 kilogramů, které je akcelerováno elastomerovými pásy a naráží na hliníkovou desku (Obr. 13b). Toto kladivo je připojeno na přívěsný vozík, za osobní automobil.



**Obrázek č. 13: a) geofon SM-48, b) seismický zdroj PEG-40.**

Po příjezdu na lokalitu, kde měření probíhalo, bylo roztaženo pásmo v linii a podél něj dva seismické kabely. Seismograf je zapojen mezi tyto dva kabely. Následně byly geofony připojeny do svorek v seismických kabelech a zatlačeny do země.

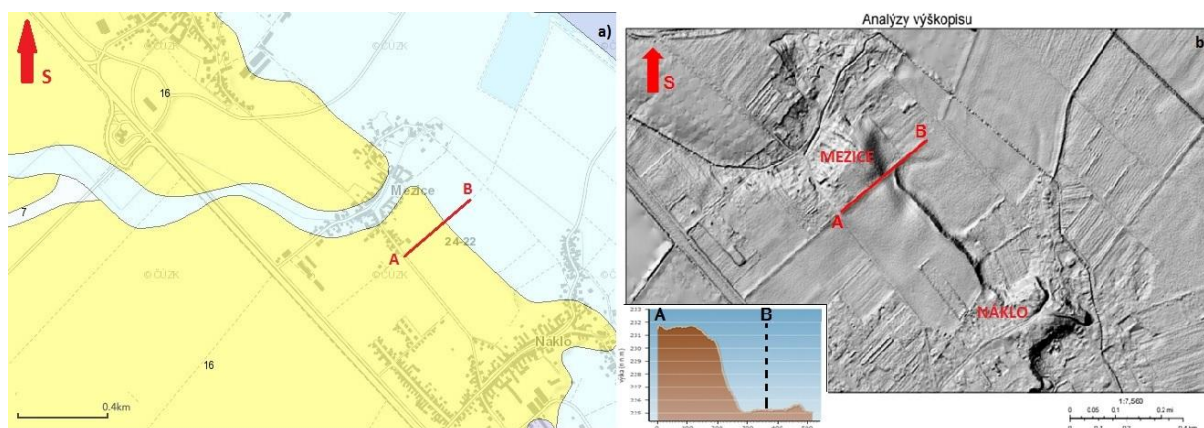
Pro napájení seismografu jsem použít autobaterii. Mód, který jsem zvolil pro měření, byl mód „standard“. Počet stop jsem nastavil na hodnotu 24 – což je celkový počet geofonů. „Sampling interval“ jsem nastavil na hodnotu 1000 ms a „stack mode“ na možnost „preview“. Energie uvolněná při odpalu a off set by měly být po čas měření konstantní, protože pokud tomu tak není, je zanesena do záznamu chyba. Před měřením také připojujeme spouštěcí geofon, který je samostatný.

Uložené soubory jsem následně zkopíroval do počítače a provedl jsem analýzu v software ReflexW 5.0 (Sandmeier, Karlsruhe, Německo). Po nahrání dat, byla zkontrolována geometrie profilu. Následně došlo k filtraci, rychlostní analýze a „stackingu“.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Profil

Profil byl veden po linii podél polní cesty, která vede k štěrkopískovně Náklo, vedle obce Mezice. Celková délka profilu činí 368 metrů. Profil je situován na rozhraní dvou geologických jednotek, vyplývajících z geologické mapy (Obr. 14a). Jde o rozhraní sprašových sedimentů a nivních sedimentů řeky Moravy.



**Obrázek č. 14:** a) geologická mapa (dostupné: 01/07/2019: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>), b) stínovaný reliéf Z-faktor (dostupné: 01/07/2019: <https://ags.cuzk.cz/dmr/>).

Přibližně v polovině profilu je patrná morfologická změna terénu (o 7m), která by mohla indikovat přítomnost zlomové struktury (Obr. 14b). Profil začíná na souřadnicích 49°39'28.242"N, 17°7'16.707"E a končí na souřadnicích 49°39'38.859"N, 17°07'32.706"E.

### 4.2 Geometrie měření

Během měření byly geofony rozmístěny v rozestupu 4 metry podél profilu a zatlačeny do země. Zdroj seismických vln byl podél rozhraní přesouván vždy o vzdálenost 8 metrů a 0,7 metru kolmo od linie profilu (off set). Z tohoto rozmístění geofonů vyplývá, že délka jednoho roztažení byla 92 metrů – první geofon byl zatlačen do země na nultém metru pásma.

Celkem jsem roztažení seismických kabelů opakovl čtyřikrát. Celková délka profilu tedy činí 368 metrů. Pro každé roztažení bylo změřeno 14 odpalů; celkem 56 odpalů. První z odpalů byl umístěn v polovině vzdálenosti mezi předposledním a posledním geofonem a všechny ostatní byly odpáleny mimo linii roztažení, s rozestupy 8 metrů až do max.



vzdálenosti 92 m od posledního geofonu (viz. Tabulka 2). Všechny odpaly byly umístěny v kolmé vzdálenosti (offset) 0,7 metru kolmo od linie profilu (příloha 2).

**Tabulka č. 2: geometrie měření.**

| Název roztažení | Délka roztažení (m) | Označení odpalů | Umístění předstřelů (m)  |
|-----------------|---------------------|-----------------|--|
| M1              | 0-92                | 001-014         | 90, 98, 106, 114, 122, 130, 138, 146, 154, 162, 170, 178, 186, 194   |
| M2              | 92-184              | 015-028         | 182, 190, 198, 206, 214, 222, 230, 238, 246, 254, 262, 270, 278, 286 |
| M3              | 184-276             | 029-042         | 274, 282, 290, 298, 306, 314, 322, 330, 338, 346, 354, 362, 370, 378 |
| M4              | 276-368             | 043-056         | 366, 374, 382, 390, 398, 406, 414, 422, 430, 438, 446, 454, 462, 470 |

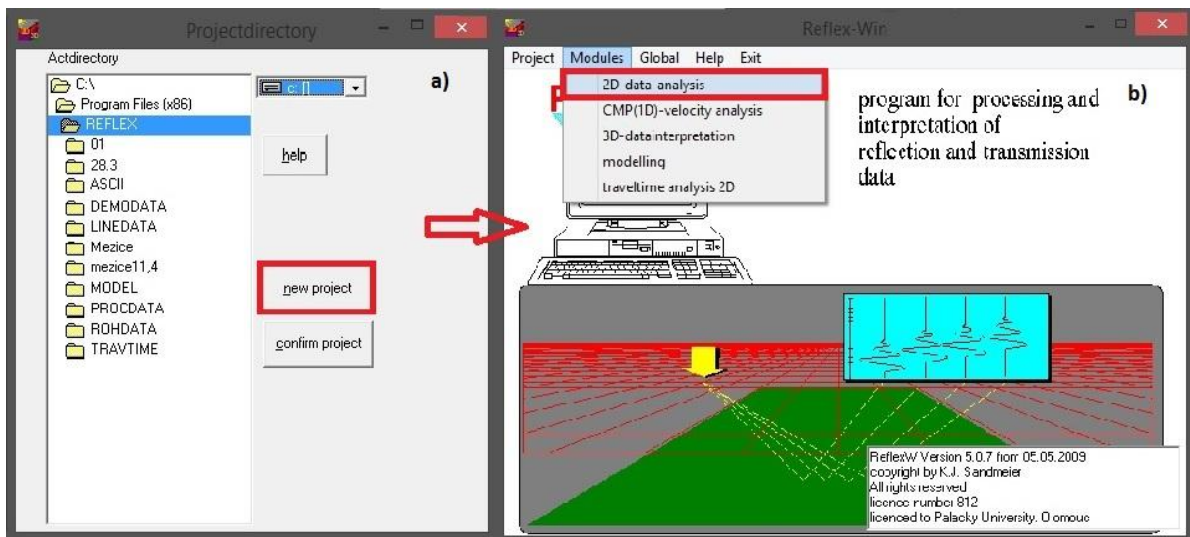
### 4.3 Analýza dat

Každý odpal je v software WinSeis uložen jako samostatný soubor ve formátu SG2, který je připraven ke zpracování v software ReflexW. Analýza dat byla provedena v programu ReflexW, ve kterém lze zpracovat naměřená data metodou reflexní i refrakční seismiky, a také pomocí radaru. Tento software lze spustit na počítačích s operačními systémy Windows. Pomocí ReflexW lze provádět 2D i 3D analýzy dat, kdy je výsledkem buď 2D model nebo 3D model.

Standardní postup zpracování reflexních seismických měření pro vytvoření 2D seismického modelu zahrnuje (i) nahrání dat do programu ReflexW a zobrazení t-x diagramů, (ii) úprava geometrie v modulu CPM-geometry, (iii) filtrace signálu pomocí široké škály filtrů, které umožní eliminovat nežádoucí vlny, šумы a posílí požadovaný signál, (iv) rychlostní analýza a (v) stacking, po jejichž provedení získáme požadovaný 2D řez profilem. Získaný 2D profil můžeme následně dále upravovat podle potřeby.

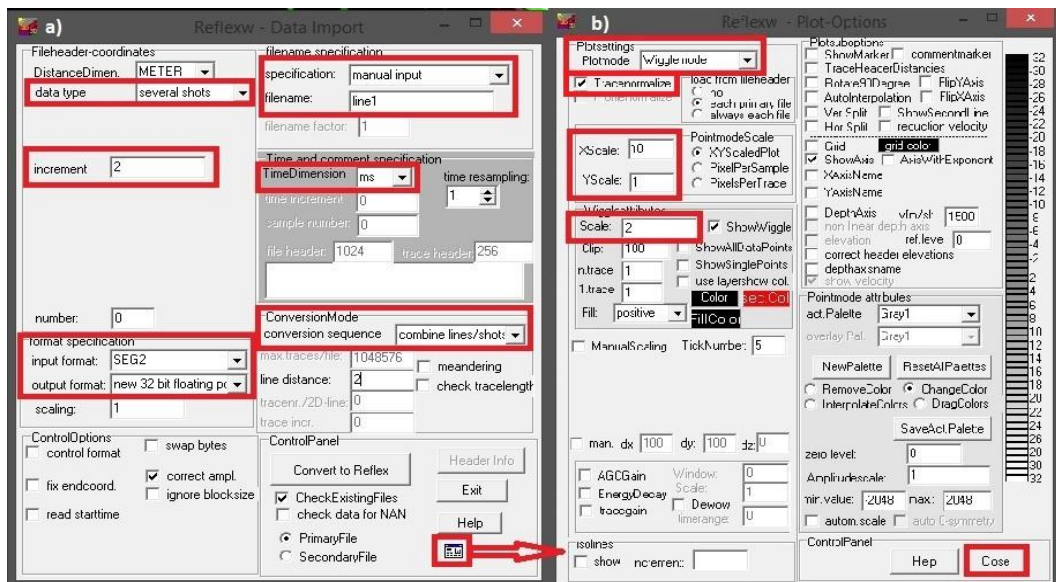
### Nahrání dat

Po spuštění programu ReflexW se otevře základní okno pro vytvoření nového nepootvřeného starého projektu z nabídky umístění na disku (Obr. 15a). Pro vytvoření nového projektu zmáčkneme tlačítko „New project“. Otevře se menší okno, do kterého zadáme název nového projektu a potvrdíme. V následujícím okně vybereme modul s názvem „Modules“ a v nabídce možnost „2D data analysis“ (Obr. 15b). Otevře se nám pracovní plocha programu ReflexW, s podoknem pro import dat („Data import“).



Obrázek č. 15: a) Vytvoření nového projektu, b) Modul 2D analysis.

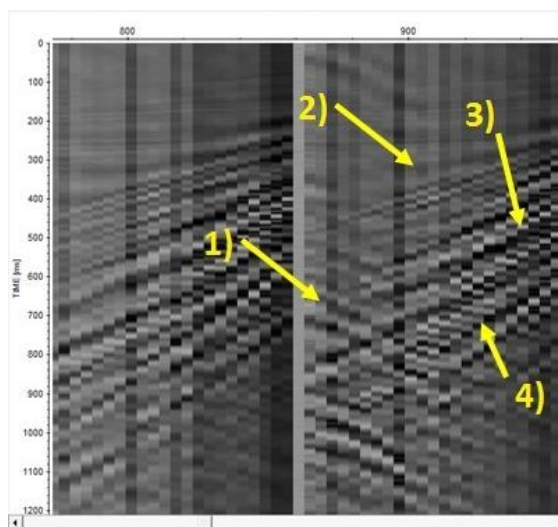
V okně „Data import“ nastavíme nabídku „Data type“ na možnost „Several shots“ (Obr. 16a), zadáme hodnotu „Increment“ 2, nastavíme formát dat jako „32 bit floating point“, nastavíme „File name specification“ na „Manual input“ a v políčku „Filename“ zadáme název souboru. Dále je třeba nastavit „Time dimension“, na „ms“ nastavit „Conversion sequence“ na možnost „Combine line/Shot“.



Obrázek č. 16: a) Data import, b) Plot option.

Pokud jsou všechny tyto kroky dokončeny, stiskneme malé čtvercové tlačítko v pravém dolním rohu okna. Otevře se nám nastavení „Plot option“ (Obr. 16b). V „Plot option“ zvolíme z nabídky v poli „Plot mode“ možnost „Wigglemode“, nastavíme „Xscale“ na hodnotu 10 a „Yscale“ na hodnotu 1. Také je vhodné aktivovat možnost „Tracenormalize“. Nastavení potvrdíme stisknutím tlačítka „Close“, které nás vrátí do předešlého okna s názvem „Data import“.

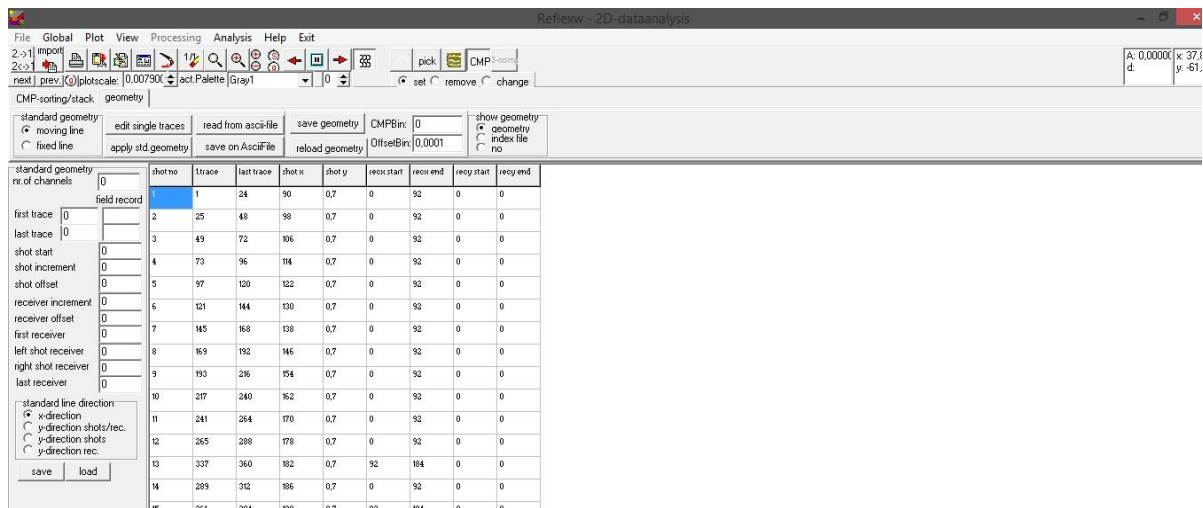
Pro pokračování stiskneme tlačítko „Convert to Reflex“. Tím potvrdíme veškeré doposud definované nastavení pro import dat a otevře se nám okno pro označení dat, která jsme naměřili v terénu a která máme uložena na disku v našem počítači. Po otevření dat, která chceme analyzovat, se nám zobrazí na pracovní ploše programu ReflexW t-x diagram s jednotlivými odpaly, automaticky složenými do souvislé linie (Obr. 17). Pomocí šipek v horní části programu můžeme rolovat skrze měřenou linii a pomocí lupy přibližovat nebo oddalovat jednotlivé části linie.



*Obrázek č. 17: T-x diagram desátého odpalu ve vzdálenosti 162 metrů prvního roztažení s typy vln: 1) vlna odražená; 2) vlna lomená; 3) vlna přímá; 4) groundroll.*

## Nastavení geometrie

Dalším bodem pro úpravu našich dat, je třeba definovat nebo zkontrolovat geometrii profilu. Tento krok započneme tak, že stiskneme na modul „CMP“ v horní liště pracovní plochy programu ReflexW. Po otevření modulu „CMP“ aktivujeme modul „Geometry“ a zkontrolujeme parametry (Obr. 18). Geometrie je většinou automaticky stanovena a nalezneme v ní čísla jednotlivých „shotů“, jejich pozici a pozici přijímače. Pokud je geometrie zadána správně stiskneme tlačítko „Save geometry“ a můžeme přejít k další úpravě dat. Pokud není geometrie zadána správně, musíme provést ruční úpravu hodnot.

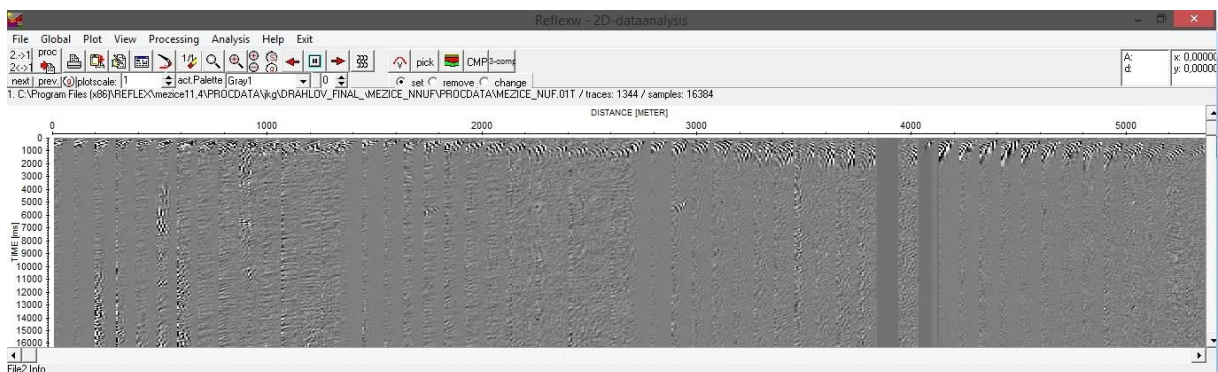


**Obrázek č. 18:** Kontrola geometrie v tabulce uvádějící číslo odpalu (shot no.), počet záznamů na 1 odpal (1. trace - last trace), x- a y- pozici odpalu (shot x a shot y), pozici prvního a posledního geofonu (receiver start a receiver end).

## Filtrování

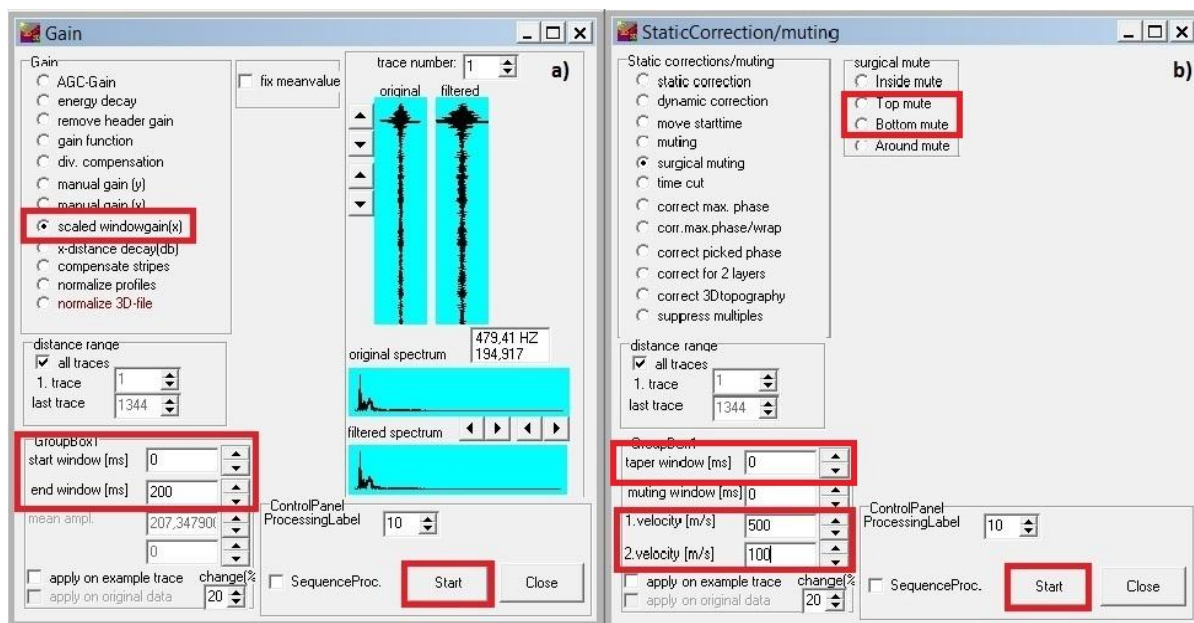
Cílem filtrování je připravit naše data pro následující „stacking“ a rychlostní analýzu. Zahrnuje dva hlavní body úprav a to zaprvé, normalizaci energie (energy normalization) a eliminaci nebo potlačení povrchových vln a dalších nežádoucích prvků.

Jako první krok by měla být provedena normalizace energie, která slouží k upravení amplitud vln. Nejjednodušší cestou je použití tzv. „Gain“ filtru (19). Spustíme ho tak, že aktivujeme modul „Processing“ na pracovní liště programu ReflexW a vybereme možnost „Gain“ z nabídky. Otevře se nám menší okno s nastavením (Obr. 20a). Zvolíme možnost „scaled windowgain (x)“. Následně podle potřeby nastavíme hodnoty pro „start window“ a „end window“ a potvrdíme tlačítkem start.

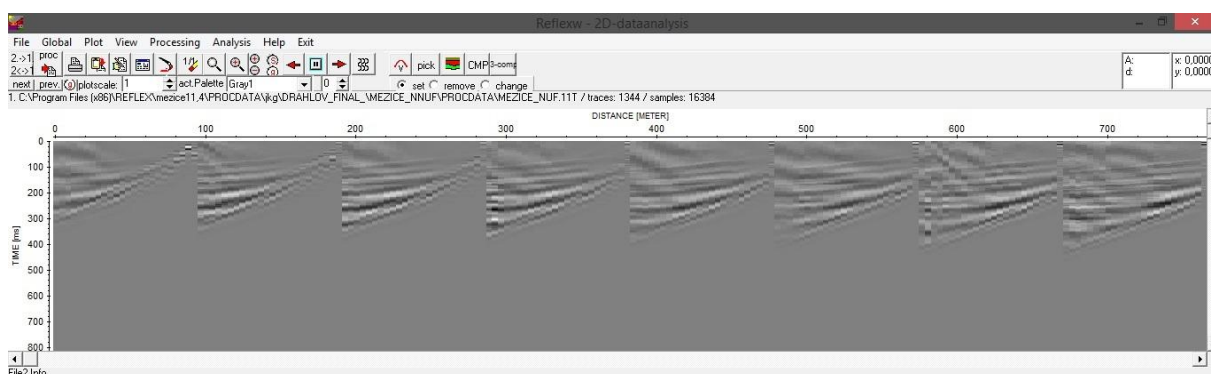


**Obrázek č. 19:** výsledek filtrace scaled windowgain (x) se zadanou hodnotou pro end window 200 m/s.

Druhým krokem je filtr „Surgical muting“, tento krok slouží k vymazání nechtěných signálů v určité námi definované oblasti, zejména povrchových vln (groundroll) a lomených vln (Obr. 20b). Filtrace probíhá na základě zvolených limitů seismických rychlostí, které chceme odfiltrovat. Opět jej otevřeme pomocí modulu „Processing“ v nabídce „StaticCorrection/muting“. Po otevření okna zvolíme možnost „Top/Bottom mute“ a nastavíme hodnoty požadovaných rychlostí, které chceme vymazat. Potvrzením tlačítka „Start“ filtraci spustíme (Obr. 21). Zadávané rychlosti je však potřeba několikrát otestovat, protože muting nemusí odfiltrovat všechny nežádoucí ruchy ze seismického záznamu.



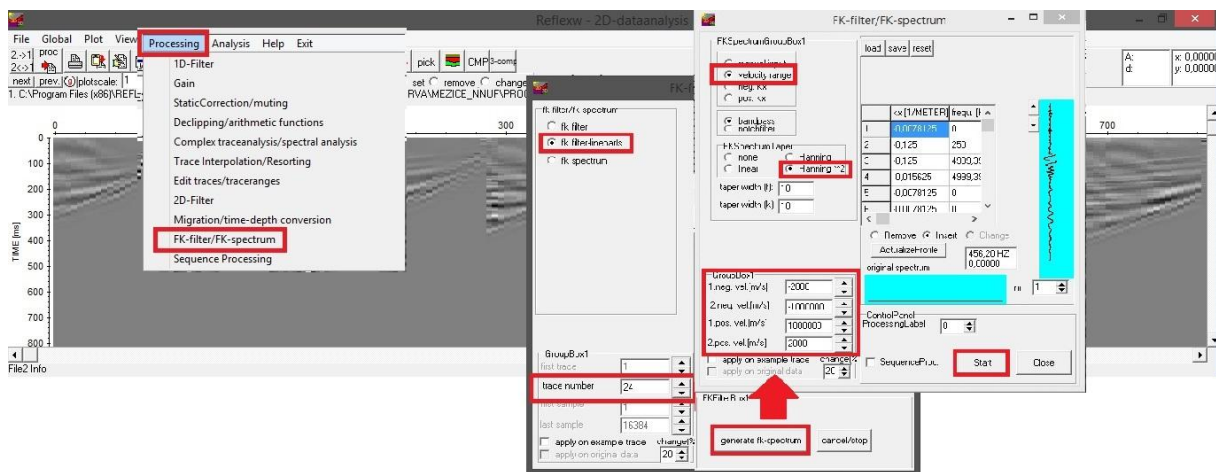
**Obrázek č. 20: filtr Gain (a), filtr Muting (b).**



**Obrázek č. 21: výsledek filtrace po provedení „surgical muting - bottom“ s použitými hodnotami: pro taper window 190 m/s a pro 1. Velocity 500m/s.**

Alternativním krokem je využití „FK-Filtru“, který slouží nikoli k úplnému odstranění, ale pouze k zeslabení nežádoucích signálů povrchových vln (groundroll). FK-filtr nalezneme v modulu „Processing“, kde vybereme z nabídky možnost „FK-Filter/FK-spectrum“. Po

otevření příslušného okna filtru zvolíme možnost „fk filter-linepats“ a nastavíme „trace number“ na hodnotu 24 (počet geofonů). Stiskneme tlačítko „generate fk-spectrum“ (Obr. 22).

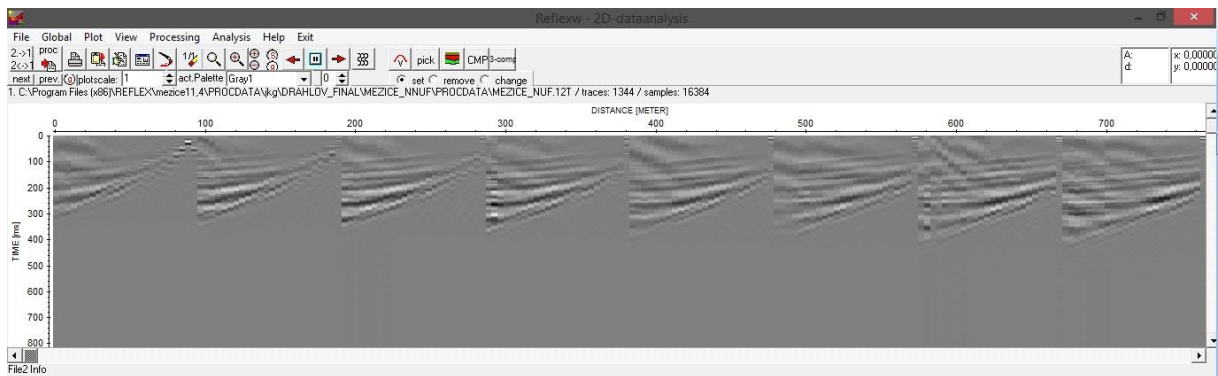


**Obrázek č. 22: FK-filtr s nastavením hodnot: 1.neg.vel. -2000 m/s, 2.neg.vel. -1000000 m/s; 1.pos.vel. 1000000 m/s; 2.pos.vel. 2000.**

Program ReflexW nám otevře další okno s nastavením konkrétních hodnot seismických rychlostí pro FK-filtr v modulu „GroupBox1“. Před samotným zadáváním hodnot rychlostí však musíme vybrat možnost „velocity range“ a „Hanning \*\*2“. První dvě pole rychlostí mají hodnoty negativní druhé dvě kladné. V mojí práci jsem vyzkoušel několik variant hodnot pro FK-filtr (Tabulka 3). Po zadání všech zmíněných parametrů stiskneme tlačítko „Start“ a FK-filtr začne vypočítávat úpravy. Jako nejlepší možnost se jeví hodnoty 1 (Obr. 23).

**Tabulka č. 3: vyzkoušené možnosti pro zadané hodnoty FK-filteru.**

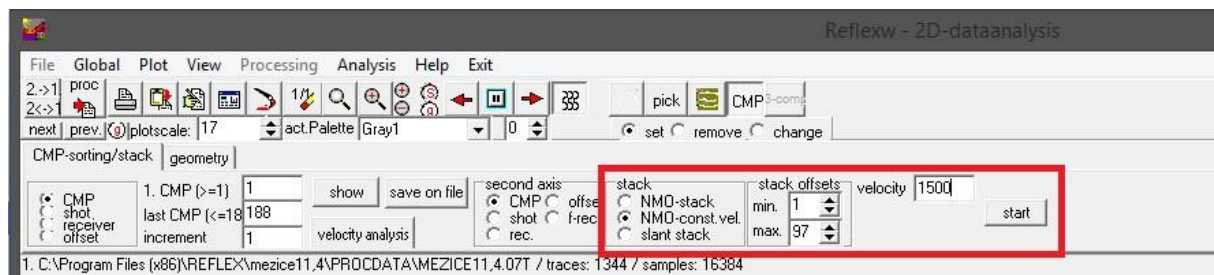
| Možnost | 1.Neg. Vel. | 2.Neg. Vel. | 1.Pos. Vel. | 2.Pos. Vel. |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1       | -2000       | -1000000    | 1000000     | 2000        |
| 2       | -2000       | -1500000    | 1500000     | 2000        |
| 3       | -1000       | -1000000    | 1000000     | 1000        |
| 4       | -3000       | -1000000    | 1000000     | 3000        |
| 5       | -2000       | -20000      | 20000       | 2000        |
| 6       | -5000       | -1000000    | 1000000     | 5000        |
| 7       | -4000       | -1000000    | 1000000     | 4000        |
| 8       | -1500       | -1000000    | 1000000     | 1500        |
| 9       | -6000       | -1000000    | 1000000     | 6000        |



**Obrázek č. 23: výsledný FK-filtr s aplikovaným nastavením: 1.neg.vel. -2000 m/s, 2.neg.vel. -1000000 m/s; 1.pos.vel. 1000000 m/s; 2.pos.vel. 2000.**

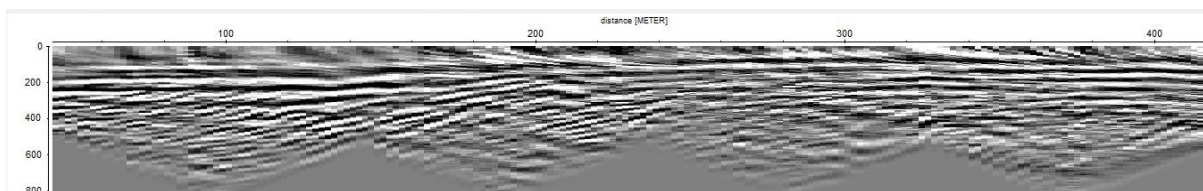
### Rychlostní analýza a seskupování (stacking)

Otevřeme modul CMP v horní liště programu ReflexW. V tomto modulu zvolíme modul „CMP-sorting/stacking“ a vybereme si možnost třídění podle odpalů (shot) nebo společného středního bodu (CMP). Pro účely této práce bylo použito seskupování na základě CMP – tedy jsem zvolil možnost „CMP“. Automaticky se nám nastaví hodnoty v polích „1. CMP ( $\geq 1$ )“ na hodnotu 1, „last CMP ( $\leq 188$ )“ na hodnotu 188 a „increment“ na hodnotu 1. V poli „stack“ zvolíme možnost „NMO-const. vel.“. Nastavíme rychlost (velocity) na hodnotu 1500 a stiskneme tlačítko „start“ (Obr. 24). ReflexW nám vykreslí rychlostní profil.



**Obrázek č. 24: rychlostní analýza za pomoci funkce NMO-const. vel.**

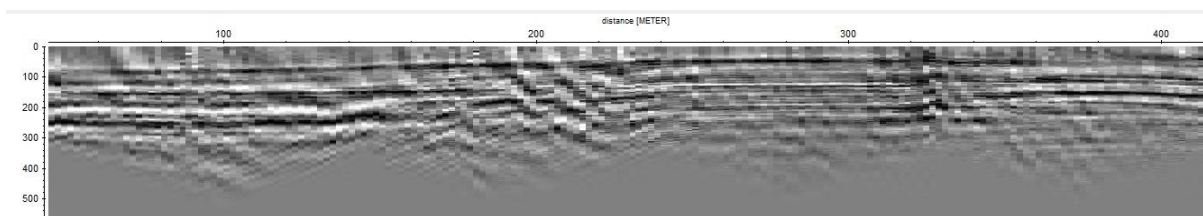
Výsledkem rychlostní analýzy profilu Mezice 1 je následující obrázek (Obr. 25). Pro tuto analýzu byl aplikován filtr „gain“ a následně filtr „surgical muting – bottom“ s parametry pro „taper window“ 250 a „2. velocity“ 120. Následně byl použit FK-filtr s parametry 1 popsanými v tabulce 3. Následně byla provedena rychlostní analýza (velocity 1000 m/s) a stacking.



**Obrázek č. 25: seismický profil Mezič 1 – varianta 1.**

Z obrázku je patrné, že spodní část profilu (od TWT = ~300 ms dále) je stále silně ovlivněna povrchovými vlnami (groundroll), které se nepodařilo odfiltrovat. Nicméně v rozmezí TWT = 50 300 ms je patrný záznam horizontálních reflexních rozhraní.

Druhá varianta téhož profilu Mezič 1 byla získána kombinací filtru „gain“, „surgical muting - bottom“ s nastavenými parametry „taper window“ 190 a „2. velocity“ 500. Následně byl použit FK-filtr opět s parametry 1 z tabulky 3. Provedená rychlostní analýza byla však spuštěna s „velocity“ 1500 m/s (Obr. 26).

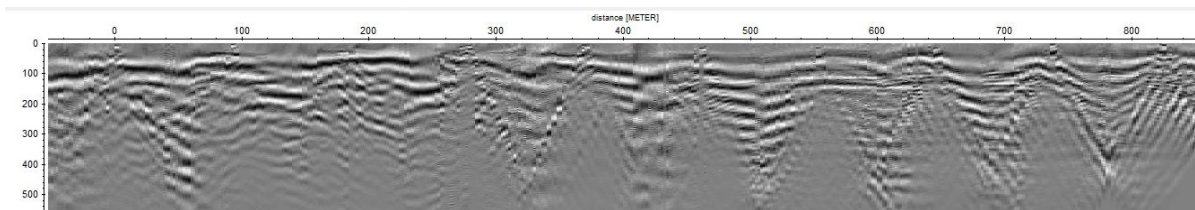


**Obrázek č. 26: seismický profil Mezič 1 – varianta 2.**

V tomto profilu již byly zcela odstraněny povrchové vlny a profil dobře zobrazuje reflexní rozhraní v rozmezí cca 50 až 250 ms. Z profilu je patrné, že reflexní záznam v levé části profilu (50 – 150 m) se výrazně liší od pravé části (cca 240 – 420 m). Tento rozdíl může indikovat předpokládaný subvertikální zlom, který probíhá přibližně uprostřed profilu.

Druhým zpracovávaným profilem byl seismický profil Drahlav, jehož nepublikovaná data z měření mi byla poskytnuta vedoucím práce (Obr 27). Celkem bylo provedeno 9 roztažení, s geofony v rozestupu po 4 metrech a celkovým počtem 118 odpalů. Celková délka profilu tedy činí 828 metrů. Na jedno roztažení dlouhé 92 metrů připadá 12 odpalů, jen v případě posledního roztažení se jedná o 22 odpalů. Odpaly byly prováděny 1 metr od linie profilu (off set). Nastavení filtru gain, mutingu a FK-filtru bylo totožné jako pro profil Mezič 1 (varianta 1). Byla provedena rychlostní analýza (velocity 1500 m/s) a stacking.



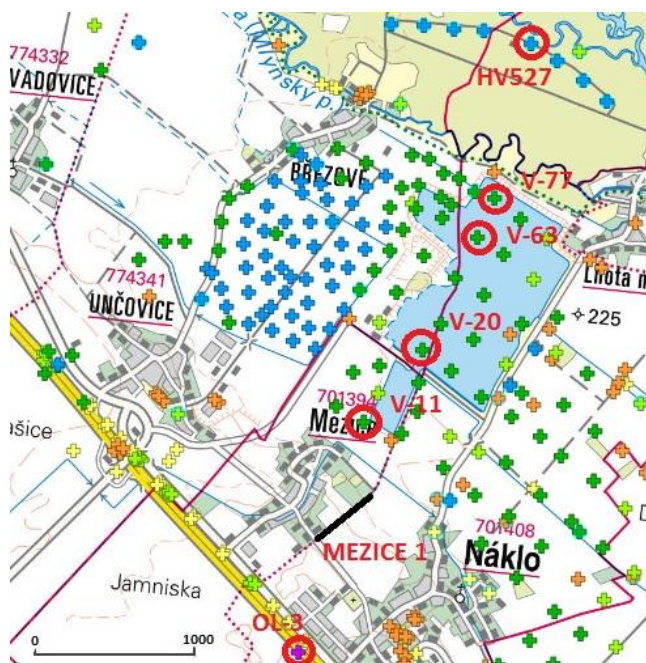


***Obrázek č. 27: Výsledky zpracování seismického záznamu pomocí ReflexW na profilu Drahlav.***

## 5 DISKUSE

### 5.1 Vrtná prozkoumanost

Pro interpretaci profilů Mezice 1 a Náklo 16, bylo vybráno několik průzkumných vrtů (Obr. 28) z databáze vrtné prozkoumanosti institutu ČGS (tabulka 3). Tyto vrty tvoří linii dlouhou 4004,7 metrů, která má směr SSV-JJZ. Z hodnot přiložených v tabulce 3 vyplývá, že mocnost kvarterních uloženin, které jsou po celé linii tvořeny nivními sedimenty řeky Moravy (kromě vrtu OL-3, jehož kvartér je zastoupen sprašemi), zvolna stoupá z hodnoty 7,7 metrů na hodnotu 33,0 metrů ve směru SSV-JJZ. Pod kvartérem se nachází vrstva jílových



Obrázek č. 28: mapa vrtné prozkoumanosti s černě vyznačenou linií profilu Mezice1 (dostupné 07/07/2019 [https://mapy.geology.cz/vrtna\\_prozkoumanost](https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost)).

sedimentů (v případě vrtu OL-3 se jedná o štěrkopíský) neogenního stáří. Mocnost této vrstvy není z databáze známa, jelikož po dosažení rozhraní neogén/kvartér vrty dále nepokračují. Pod neogenními sedimenty oblasti se pravděpodobně nachází, v zde neznámé hloubce, horniny drahanského a jesenického kulmu, devonu moravskoslezské oblasti, případně krystalinických hornin brunovistulika.

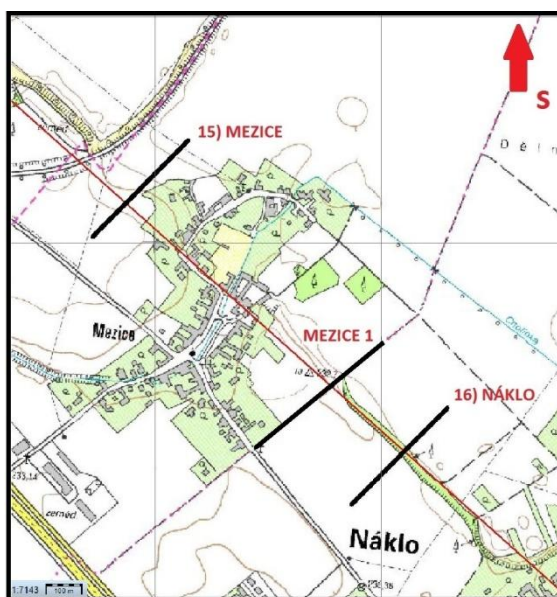
Tabulka č. 4: vrtná prozkoumanost v okolí obce Mezice.

| Označení vrtu | ID GDO | Souřadnice x | Souřadnice y | Nadmořská výška (m) | Zastižený kvartér (m) | Hloubka (m) | Hornina pod kvartérem | Stáří  |
|---------------|--------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------|
| OL-3          | 426097 | 1114143,3    | 555892,4     | 230,5               | 7,7                   | 100,2       | štěrkopisek           | neogén |
| V-11          | 425884 | 1112740,9    | 555488,3     | 226,3               | 15,3                  | 17,0        | jíl                   | neogén |
| V-20          | 425890 | 1112297,4    | 555131,9     | 225,5               | 15,0                  | 16,0        | jíl                   | neogén |
| V-63          | 425710 | 1111710,8    | 554633,0     | 225,7               | 20,2                  | 21,0        | jíl                   | neogén |
| V-77          | 425724 | 1111371,4    | 554690,8     | 226,3               | 20,2                  | 21,0        | jíl                   | neogén |
| HV527         | 426131 | 1110427,5    | 554468,1     | 226,5               | 33,0                  | 39,0        | jíl                   | neogén |

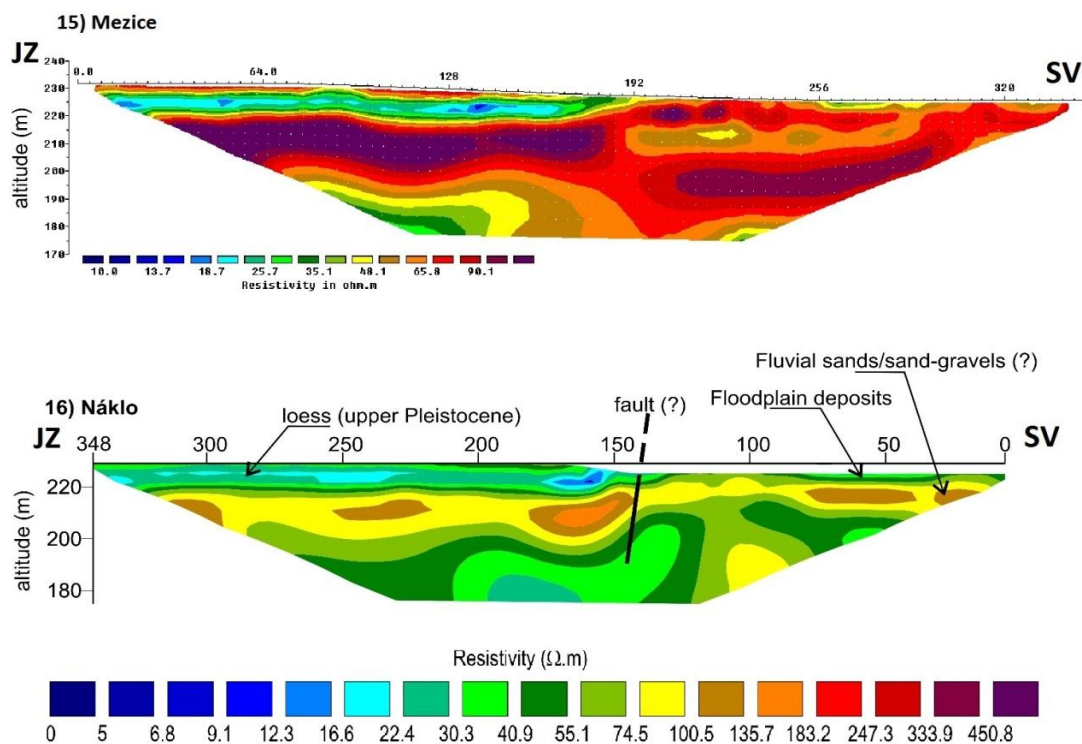
## 5.2 Geologická stavba úvalu

Pro porovnání mého seismického profilu Mezice 1., jsem použil ERT (electrical resistivity tomography) profily pořízené na linii Mladeč-Skrbeň (Bábek et al., 2018; Bábek nepublikovaná data), (Obr. 29). Jedná se celkem o čtyři profily ERT a jeden profil seismický. První dva profily jsou přímo situovány v okolí obce Mezice.

První z profilů ERT (Mezice 15) je situován na severozápadním okraji obce (Obr. 30). Jeho počátek je na souřadnicích 49°39.738'N, 17°6.972'E. Druhý profil (Náklo16) je lokalizován na jihovýchodě asi 500 metrů od mého seismického profilu (Mezice 1) s počátkem na souřadnicích 49°39.540'N, 17°7.624'E (Obr. 30). Oba profily směřují od jihozápadu na severovýchod a jsou dlouhé 348 metrů.

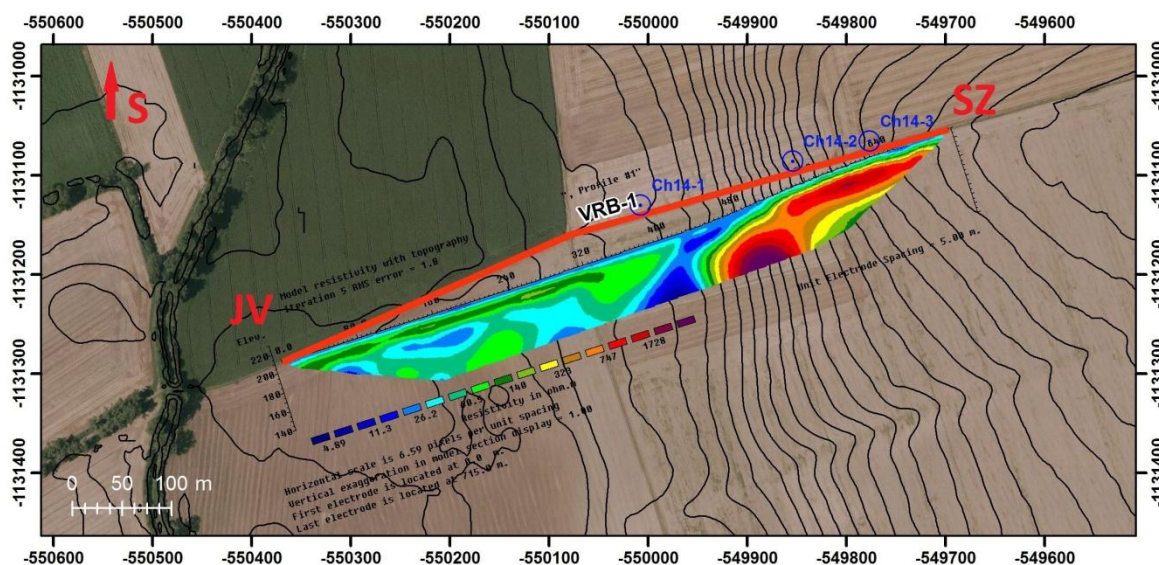


Obrázek č. 29: mapa ERT profilů Náklo16, Mezice1 a Mezice15 (dostupné 07/072019 /<https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>).



Obrázek č. 30: ERT profily Mezice 15 a Náklo 16 s vyznačením předpokládaných subvertikálních zlomů na rozhraní hornomoravského úvalu a hněvotínské hráti.

Třetí profil ERT s označením VRB-1 je lokalizován v okolí obce Charváty. Tato obec se nachází asi 6 kilometrů jižně od města Olomouc a také leží na styku hněvotínské hrástě a lutínské příkopové propadliny. Tento profil je dlouhý 715 metrů. Začátek profilu leží na souřadnicích 49°30.188' N, 17°13.22' E a končí na souřadnicích 49°30.345' N, 17°13.732' E. Elektrody byly ve vzdálenosti 5 metrů od sebe (Obr. 31).



**Obrázek č. 31: ERT profil VRB-1 (nepublikováno).**

Z ERT profilu na obr. 29 plyne přítomnost tří domén měrného odporu: 1) doména s velmi nízkými měrnými odpory  $< 25 \Omega\text{m}$ ; 2) doména se středními hodnotami měrného odporu v rozmezí  $\sim 25$  až  $\sim 150 \Omega\text{m}$  na metrůži 0 – 400 m, víceméně v celém hloubkovém profilu; 3) doména s vysokými hodnotami resistivity od  $\sim 150$  do  $> 2000 \Omega\text{m}$  na metrůži  $\sim 420$  až 715 m.

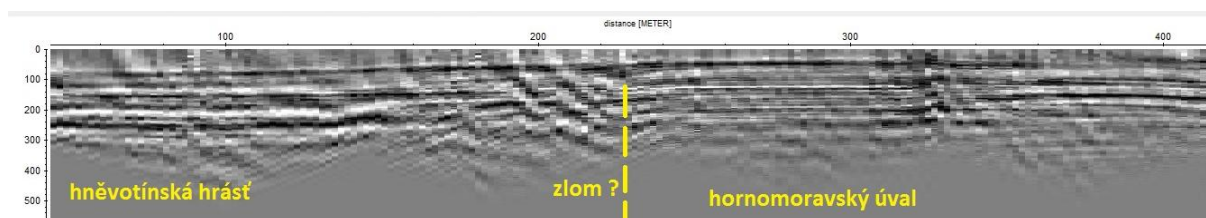
První doménu lze považovat za vodivou zónu v okolí zlomu, který od sebe odděluje první a druhou doménu. Doména 2) reprezentuje kvartérní (možná i pliocenní) klastické sedimenty výplně lutínské brázd. Doménu 3) lze interpretovat jako pravděpodobné vyzdvižené podloží hněvotínské hrástě (paleozoikum?, brunovistulikum?).

Tuto stavbu lze také podložit seismickým profilem Drahlav, který se nachází na totožném místě jako ERT profil VRB-1.

### 5.3 Interpretace profilu Mezice 1 a Drahlov

Z pořízeného seismického záznamu Mezice 1 (obr. 32) lze vypočítat polohu reflektoru v úrovni TWT 250 ms, která dle použitého rychlostního modelu s rychlostí 1500 m/s odpovídá přibližné hloubce 188 metrů pod povrchem. Z přiložené první verze seismického profilu Mezice 1 (Obr. 25) tento reflektor není příliš patrný a ztrácí se v okolním šumu, který bylo velmi složité potlačit a v této první verzi profilu se to zcela nepodařilo. Proto je lepší interpretovat druhou verzi profilu Mezice 1 (Obr. 26), kde je díky silnějšímu mutingu záznam čistší a zmíněný reflektor je lépe viditelný.

Rychlosti 250 m/s – tedy 0,25 km/s odpovídají podle tabulky 1 suchým pískům, což odpovídá geologické situaci na hněvotínské hrásti. Tento reflektor se přibližně ve vzdálenosti 220-230 metrů od jihozápadního počátku profilu uklání do větších hloubek a mizí ze záznamu v hloubce přibližně 160 metrů a dále se na záznamu nezobrazuje. Pravděpodobně je to způsobeno silnější filtrací (muting), která zmenšila hloubku záznamu. Hloubková změna reflektoru však také koreluje s geomorfologickou změnou terénu na povrchu, kterou profil protíná a která se nachází ve vzdálenosti přibližně 220 metrů od jihozápadního počátku profilu. Úklon reflektoru by mohl naznačovat přítomnost tektonické zlomové poruchy v této oblasti (obr. 30).

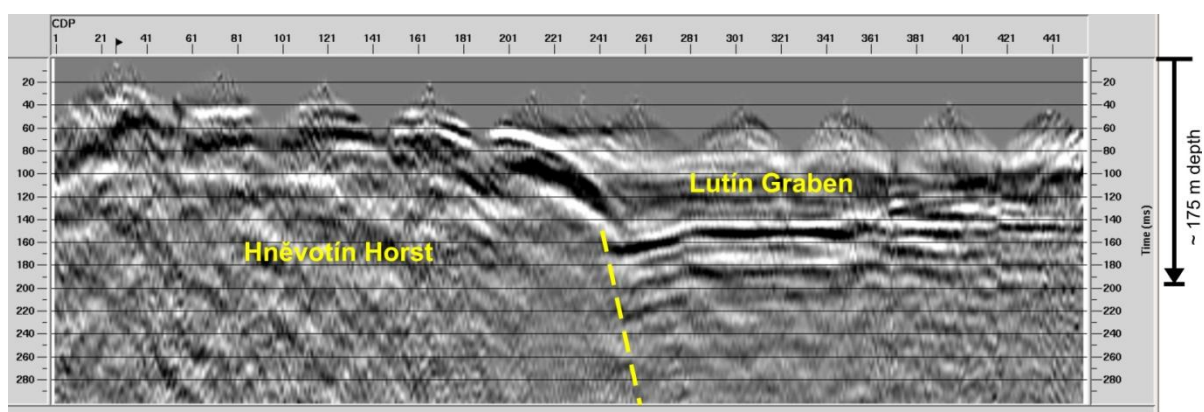


Obrázek č. 32: interpretace seismického profilu Mezice 1.

V pravé části záznamu nejsou jiné reflektory patrné. Jednou z možností je, že jsou lokalizovány v hlubších částech profilu, které seismický záznam nezobrazuje. Tato možnost by podporovala hypotézu o přítomnosti zlomu na měřené linii, jelikož díky poklesu hornin podél zlomu by se pokračování daného reflektoru nacházelo ve větší hloubce profilu. Druhou možností je zastínění chybným záznamem prvního a třetího geofonu v posledním roztažení profilu, které částečně záznam v této oblasti znehodnotilo.

Přítomnost zlomové poruchy podporují i ERT profily Náklo 16 a Mezice 15 (Obr. 30), na kterých je taktéž patrný pokles vrstvy v hloubce přibližně 14 metrů s rezistivitou okolo 115  $\Omega$ m, ve vzdálenosti 180 metrů od jihozápadního počátku roztažení. Tato horninová vrstva dále pokračuje hlouběji v profilu směrem na severovýchod v hloubce přibližně 30 metrů.

Pro porovnání stavby území mi byla poskytnuta seismická data ze staršího měření z okolí obce Drahlov (Obr. 33). Tento seismický profil dlouhý 828 metrů je situován na stejném místě jako ERT profil VRB-1. Geometrie profilu byla totožná s geometrií profilu Mezice 1 s tím rozdílem, že roztažení bylo opakováno devětkrát. Na záznamu Drahlov je taktéž patrný úklon reflektoru (hloubka 40 metrů) přibližně v polovině profilu. Na rozdíl od seismického profilu Mezice1 však reflektor pokračuje v hloubce 80 metrů dále směrem na severozápad. Přerušovanou linií je na obrázku vyznačen pravděpodobný výskyt zlomu oddělující hněvotínskou hrást' (Hněvotín Horst) od lutínské brázdy (Lutín Graben).



**Obrázek č. 33: seismický profil Drahlov (nepublikováno).**

## 6 ZÁVĚR

V mojí práci jsem se věnoval měření reflexně seismického profilu v okolí obce Mezice u Nákla v rámci Hornomoravského úvalu.

V teoretické části byla popsána geologická stavba úvalu s fyzikální podstatou a principy reflexní seismiky.

Data z terénního měření na profilu Mezice a starší seismická data z nepublikovaného seismického profilu Drahlav, byla analyzována za pomoci softwaru ReflexW. Důraz byl při práci s daty kladen na odstranění povrchových vln za pomoci FK-filtru, mutingu a filtru gain.

Následně byla provedena rychlostní analýza metodou vytvoření 2D rychlostního modelu. V poslední fázi zpracování byla data seskupena (stacking) metodou NMO s použitím vytvořeného rychlostního modelu s aplikací různých hodnot seismických rychlostí.

Výsledné seismické profily jsou v práci prezentovány a srovnány s vrtnými daty a staršími ERT profily z okolí lokalit s cílem ověřit přítomnost předpokládaných sub-vertikálních zlomů na linii Mladeč-Skrbeň.

Geometrie reflektorů v zpracovaném reflexně seismickém profilu Mezice1 podporuje hypotézu o přítomnosti strmě ukloněného zlomu, který odděluje vyzdviženou hněvotínskou hrást' od zaklesnuté části hornomoravského úvalu (sensu stricto).

## LITERATURA

Bábek O., Sedláček J., Novák A., Letál A., (2018): Electrical resistivity imaging of anastomosing river subsurface stratigraphy and possible controls of fluvial style change in a graben-like basin, Czech Republic. – Elsevier, *Geomorphology* 317. Published online 24. 05. 2018

Čtyroký P., Stráník Z. (1995.) Zpráva pracovní skupiny české stratigrafické komise o regionálním dělení Západních Karpat. - *Věst. Čes. geol. Úst.* 70, 3, 67-72. Praha.

Demek J., Blata B., Buček A., Czudek T., Dědečková M., Hrádek M., Ivan A., Lacina J., Loučková J., Raušer J., Stehlík O., Sládek J., Vaněčková L., Vašátko J. (2002): *Hory a nížiny: zeměpisný lexikon ČR 2. vydání.* – Agentura ochrany přírody a krajiny České Republiky.

Geldart L. P., Telford W. M., Sheriff R. E. (1990): *Applied Geophysics. Second Edition.* Cambridge Univ. Press.

Chlupáč I., Štorch P. (1992). Regionálně geologické členění Českého masívu na území České republiky: Zpráva pracovní skupiny pro regionální geologickou klasifikaci Českého masívu při Československé stratigrafické komisi. *Časopis pro mineralogii a geologii.* 37, 4, s. 257-275. ISSN 0008-7378.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): *Geologická minulost České republiky.* – 436 s., Academia Praha.

Kachlík V. (2003): *Geologický vývoj České republiky – Doplněk k publikaci „Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva.“* – Ústav geologie a paleontologie, Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

Máčka Z. (2016): *Litovelské Pomoraví – Landscape Around Anastomosing River Pattern of Morava.* – Springer. Published online 09. 03. 2016.

Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Geologie ČSSR – Český masív 1. vydání* – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Musset A. E., Aftab Khan M. (2000): *Looking into the Earth. An Introduction to Geological Geophysics.* Cambridge Univ. Press.



Novák A., Bábek O., Kapusta J., (2017): Late Quaternary tectonic switching of siliciclastic provenance in the strike-slip-dominated foreland of the Western Carpathians; Upper Morava Basin, Bohemian Massif. – Elsevier, *Sedimentary geology* 355. Published online 15. 06. 2017.

Růžička M. (1973): Fluviální sedimenty řeky Moravy v okolí Olomouce. – Sborník geologických věd – řada A. sv. 9. 1973.

Růžička M. (1989): Pliocén Hornomoravského úvalu a Mohelnické brázdy (The Pliocene of Upper Morava Basin and Mohelnice Graben). Sborník Geologických Věd, *Antropozoikum* 19, 129–151.

Špaček P., Bábek O., Štěpánčiková P., Švancara J., Pazdírková J., Sedláček J. (2014): The Nysa-Morava Zone: an active tectonic domain with Late Cenozoic sedimentary graben in Western Carpathians' foreland (NE Bohemian Massif). – Springer – Verlag Berlin Heidelberg. Published online 11. 12. 2014.

Tolasz R., a kol. (2007): Atlas podnebí Česka. – Český hydrometeorologický ústav Praha, Univerzita Palackého v Olomouci.

Zeman A. (1971): Pleistocenní fluviolakustrinní a fluviální sedimenty v jižní části Hornomoravského úvalu (Pleistocene fluviolacustrine and fluvial sediments in the southern part of the Upper Morava Basin). *Věstník Ústředního Ústavu Geologického* 46, 19–30.

Technický manuál REFLEXW (© Karl Sandmeier, Karlsruhe).

ABEM Terraloc Seismic System Reference Manual.

**Internetové zdroje:**

- 1) <http://portal.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/historicka-data> (15. 02. 2019).
- 2) [https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlnov%C3%A1\\_d%C3%A9lka](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlnov%C3%A1_d%C3%A9lka) (04. 03. 2019).
- 3) <https://cs.wikipedia.org/wiki/Amplituda> (05. 03. 2019).
- 4) [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lam%C3%A9ovy\\_koeficienty](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lam%C3%A9ovy_koeficienty) (08. 03. 2019).
- 5) <https://mapy.cz/zakladni?x=17.1912234&y=49.6164443&z=10> (26. 06. 2019).
- 6) [https://www.aldebaran.cz/lab/doppler/2\\_cteni\\_2.php](https://www.aldebaran.cz/lab/doppler/2_cteni_2.php) (26. 05. 2019).
- 7) <http://geofyzika.webz.cz/princseism.php>
- 8) [http://suryblog.cz/?page\\_id=504](http://suryblog.cz/?page_id=504) (26. 06. 2019).
- 9) <http://www.ukm.my/rahim/Seismic%20Refraction%20Surveying.htm> (26. 06. 2019).
- 10) [http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw\\_04\\_07\\_04.html](http://www.vias.org/wirelessnetw/wndw_04_07_04.html) (26. 06. 2019).
- 11) <https://mapy.geology.cz/geocr50/> (01. 07. 2019).
- 12) <https://ags.cuzk.cz/dmr/> (01. 07. 2019)
- 13) [https://mapy.geology.cz/vrtna\\_prozkoumanost/](https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/) (01. 07. 2019)

# PŘÍLOHA 1

**Table 1**  
Location of ERT profiles.

**Bábek (2018)**

| Site # | Identification  | WGS(84) coordinates of profile start (0 m) | Profile line trend | Total length (m) | Electrode spacing (m) |
|--------|-----------------|--|--------------------|------------------|-----------------------|
| 1      | Bělkovice       | N 49°40.614', E 17°19.035'                 | WSW                | 381              | 3                     |
| 2      | Dlouhá Loučka   | N 49°49.345', E 17°12.259'                 | SSW                | 333              | 3                     |
| 3      | Doubravice      | N 49°44.655', E 16°58.882'                 | NE                 | 303              | 3                     |
| 4      | Dub nad Moravou | N 49°28.935', E 17°17.146'                 | S                  | 285              | 3                     |
| 5      | Hněvotín        | N 49°34.043', E 17°8.479'                  | NE                 | 272              | 4                     |
| 76     | Holice          | N 49°33.549', E 17°17.666'                 | ENE                | 496              | 4                     |
| 7      | Hrdibořice      | N 49°29.214', E 17°12.846'                 | WSW                | 206              | 2                     |
| 8      | Kožušany        | N 49°32.183', E 17°16.624'                 | WSW                | 309              | 3                     |
| 9      | Kurfurst 1      | N 49°39.657', E 17°12.667'                 | SSE                | 158              | 3                     |
| 10     | Kurfurst 2      | N 49°39.646', E 17°12.579'                 | NW                 | 94               | 2                     |
| 11     | Kurfurst 3      | N 49°39.631', E 17°12.592'                 | NW                 | 285              | 3                     |
| 12     | Litovel – west  | N 49°42.488', E 17°03.457'                 | SSW                | 285              | 3                     |
| 13     | Litovelské luhy | N 49°41.777', E 17°7.244'                  | N                  | 77.5             | 2.5                   |
| 14     | Maječín         | N 49°30.413', E 17°19.475'                 | ENE                | 106.5            | 1.5                   |
| 15     | Mezice          | N 49°39.738', E 17°6.972'                  | NE                 | 348              | 4                     |
| 16     | Náklo           | N 49°39.540', E 17°7.624'                  | SW                 | 348              | 4                     |
| 17     | Nemilany        | N 49°32.874', E 17°14.822'                 | E                  | 237              | 3                     |
| 18     | Nové Sady       | N 49°34.063', E 17°16.138'                 | E                  | 189              | 3                     |
| 19     | Nové Zámky 1    | N 49°43.184', E 17°01.946'                 | ESE                | 285              | 3                     |
| 20     | Nové Zámky 2    | N 49°43.200', E 17°01.954'                 | ESE                | 237              | 3                     |
| 21     | Přivoice        | N 49°42.661', E 17°9.640'                  | NE                 | 309              | 3                     |
| 22     | Rozvadovice 1   | N 49°40.723', E 17°4.495'                  | NNE                | 573              | 3                     |
| 23     | Řepčín 1        | N 49°36.955', E 17°14.230'                 | ENE                | 237              | 3                     |

**Table 2**  
Results of optically stimulated luminescence dating.

**Novák (2017)**

| Sample | Mineral | Grain size (µm) | Aliquots | De (Gy)/OSL    | U (ppm)     | Th (ppm)     | K (%) | Water content (%) | Cosmic dose rate (Gy/ky) | Dose rate (Gy/ky) | Age (ky)       |
|--------|---------|-----------------|----------|----------------|-------------|--------------|-------|-------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| OB14-1 | Qz      | 125–250         | 24       | <sup>a</sup>   | 1.71 ± 0.33 | 3.84 ± 1.14  | 1.5   | 15 ± 5            | 0.17 ± 0.02              | 1.98 ± 0.18       | See below      |
| OB14-2 | Qz      | 125–250         | 23       | 1.7 ± 0.21     | 4.09 ± 0.75 | 10.07 ± 2.06 | 1.9   | 10 ± 5            | 0.21 ± 0.02              | 3.43 ± 0.32       | 0.5 ± 0.08     |
| OB14-3 | Qz      | 125–180         | 24       | 10.04 ± 0.5    | 3.4 ± 0.64  | 10.46 ± 2.2  | 1.9   | 10 ± 5            | 0.2 ± 0.02               | 33.3 ± 0.31       | 3.02 ± 0.32    |
| OB14-6 | Qz      | 125–180         | 22       | 311.79 ± 17.27 | 1.33 ± 0.2  | 4.19 ± 0.71  | 1.9   | 15 ± 5            | 0.14 ± 0.02              | 2.24 ± 0.18       | 138.97 ± 13.6  |
| OB14-7 | Qz      | 125–250         | 17       | 414.16 ± 24.01 | 2.33 ± 0.41 | 7.41 ± 1.47  | 1.8   | 15 ± 5            | 0.16 ± 0.02              | 2.57 ± 0.23       | 161.48 ± 17.19 |
| OB14-8 | Qz      | 125–250         | 23       | 331.57 ± 17.74 | 3.08 ± 0.46 | 5.28 ± 1.59  | 2     | 15 ± 5            | 0.16 ± 0.02              | 2.74 ± 0.25       | 120.87 ± 12.62 |
| OB14-9 | Qz      | 125–250         | 19       | 69.1 ± 3.3     | 1.73 ± 0.85 | 4.59 ± 0.85  | 1.5   | 15 ± 5            | 0.14 ± 0.02              | 2.0 ± 0.17        | 34.53 ± 3.42   |
| OB14-4 | Qz      | 125–250         | 18       | 226.17 ± 7.86  | 1.6 ± 0.19  | 4.57 ± 0.88  | 2     | 15 ± 5            | 0.2 ± 0.02               | 2.44 ± 0.19       | 92.6 ± 8.03    |

<sup>a</sup> OB14-1 has bimodal distribution: younger part (15 aliquots) De (Gy) = 259.56 ± 11.21; age (Ky) = 131.1 ± 13.38; older part (9 aliquots) De (Gy) = 430.12 ± 15.94; age (ky) = 217.25 ± 21.63.

## PŘÍLOHA 2

| Číslo odpalu | První stopa | Poslední stopa | Umístění odpalu | Off set | Počátek roztažení | Konec roztažení |
|--------------|-------------|----------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|
| 1            | 1           | 24             | 90              | 0,7     | 0                 | 92              |
| 2            | 25          | 48             | 98              | 0,7     | 0                 | 92              |
| 3            | 49          | 72             | 106             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 4            | 73          | 96             | 114             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 5            | 97          | 120            | 122             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 6            | 121         | 144            | 130             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 7            | 145         | 168            | 138             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 8            | 169         | 192            | 146             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 9            | 193         | 216            | 154             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 10           | 217         | 240            | 162             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 11           | 241         | 264            | 170             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 12           | 265         | 288            | 178             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 13           | 337         | 360            | 186             | 0,7     | 92                | 184             |
| 14           | 289         | 312            | 194             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 15           | 361         | 384            | 198             | 0,7     | 92                | 184             |
| 16           | 313         | 336            | 206             | 0,7     | 0                 | 92              |
| 17           | 385         | 408            | 214             | 0,7     | 92                | 184             |
| 18           | 409         | 432            | 222             | 0,7     | 92                | 184             |
| 19           | 433         | 456            | 230             | 0,7     | 92                | 184             |
| 20           | 457         | 480            | 238             | 0,7     | 92                | 184             |
| 21           | 481         | 504            | 246             | 0,7     | 92                | 184             |
| 22           | 505         | 528            | 254             | 0,7     | 92                | 184             |
| 23           | 529         | 552            | 262             | 0,7     | 92                | 184             |
| 24           | 553         | 576            | 270             | 0,7     | 92                | 184             |
| 25           | 577         | 600            | 274             | 0,7     | 92                | 184             |
| 26           | 601         | 624            | 278             | 0,7     | 92                | 184             |
| 27           | 673         | 696            | 282             | 0,7     | 184               | 276             |
| 28           | 625         | 648            | 286             | 0,7     | 92                | 184             |
| 29           | 697         | 720            | 290             | 0,7     | 184               | 276             |
| 30           | 649         | 672            | 298             | 0,7     | 92                | 184             |
| 31           | 721         | 744            | 306             | 0,7     | 184               | 276             |
| 32           | 745         | 768            | 314             | 0,7     | 184               | 276             |
| 33           | 769         | 792            | 322             | 0,7     | 184               | 276             |

|    |      |      |     |     |     |     |
|----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 34 | 793  | 816  | 330 | 0,7 | 184 | 276 |
| 35 | 817  | 840  | 338 | 0,7 | 184 | 276 |
| 36 | 841  | 864  | 346 | 0,7 | 184 | 276 |
| 37 | 865  | 888  | 354 | 0,7 | 184 | 276 |
| 38 | 889  | 912  | 362 | 0,7 | 184 | 276 |
| 39 | 913  | 936  | 366 | 0,7 | 184 | 276 |
| 40 | 937  | 960  | 370 | 0,7 | 184 | 276 |
| 41 | 1009 | 1032 | 374 | 0,7 | 276 | 368 |
| 42 | 961  | 984  | 378 | 0,7 | 184 | 276 |
| 43 | 1033 | 1056 | 382 | 0,7 | 276 | 368 |
| 44 | 985  | 1008 | 390 | 0,7 | 184 | 276 |
| 45 | 1057 | 1080 | 398 | 0,7 | 276 | 368 |
| 46 | 1081 | 1104 | 390 | 0,7 | 276 | 368 |
| 47 | 1105 | 1128 | 398 | 0,7 | 276 | 368 |
| 48 | 1129 | 1152 | 406 | 0,7 | 276 | 368 |
| 49 | 1153 | 1176 | 414 | 0,7 | 276 | 368 |
| 50 | 1177 | 1200 | 422 | 0,7 | 276 | 368 |
| 51 | 1201 | 1224 | 430 | 0,7 | 276 | 368 |
| 52 | 1225 | 1248 | 438 | 0,7 | 276 | 368 |
| 53 | 1249 | 1272 | 446 | 0,7 | 276 | 368 |
| 54 | 1273 | 1296 | 454 | 0,7 | 276 | 368 |
| 55 | 1297 | 1320 | 462 | 6   | 276 | 368 |
| 56 | 1321 | 1344 | 470 | 10  | 276 | 368 |