

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Geotechnologie



Sabina Alyyeva

**POUŽITÍ SEISMICKÉHO PRŮZKUMU PŘI VYHLEDÁVÁNÍ UHLOVODÍKŮ NA
MOŘI**
SEISMIC SURVEY FOR OFFSHORE OIL AND GAS EXPLORATION

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Jan Vilhelm CSc.

Praha, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

Alyyeva Sabina

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Doc. RNDr. Janu Vilhelmovi CSc. za odbornou pomoc, cenné připomínky a rady a v neposlední řadě za jeho trpělivost při vedení práce.

Abstrakt

V této práci je nastíněno používání seismického průzkumu prováděného na moři za účelem vyhledávání ložisek ropy a plynu. Konkrétně se práce zabývá metodou reflexní seismiky, která je nejvíce používaná při mořském průzkumu. Cílem této bakalářské práce je stručně obeznámit čtenáře se základy metody, s typy používaného přístrojového vybavení a se samotným průběhem měření. Bakalářská práce zároveň podává základní informace o složení uhlovodíků, jejich vzniku i akumulaci v geologickém prostředí. V neposlední řadě je v práci uveden postup zpracování a interpretace naměřených seismických dat.

Abstract

This thesis briefly summarizes the use of seismic survey methods conducted offshore for the purpose of oil and natural gas exploration. Specifically it deals with seismic reflection method which is mostly used in marine exploration. The aim of this work is briefly introduce the fundamentals of the seismic exploration method, principles of used equipment and the measurement process itself. More over the thesis also shortly presents the composition of hydrocarbons and the process of their formation and accumulation in the geological environment. Last but not least it deals with the data processing and interpretation of seismic data.

Klíčová slova: seismický průzkum, uhlovodíky, zpracování dat, seismická aparatura

Keywords: seismic survey, hydrocarbons, data processing, seismic equipment

Obsah

Úvod	7
1 Charakteristika uhlovodíků	8
1.1 Složení a vznik kaustobiolitů	8
1.2 Migrace a akumulace uhlovodíků	9
2 Seismické metody průzkumu.....	11
2.1 Metoda odražených vln	11
2.2 Metoda SRB	12
2.3 3D průzkum.....	13
3 Seismická aparatura.....	15
3.1 Přijímače seismického signálu	15
3.1.1 Přijímače typu Streamer	15
3.1.2 Přijímače typu OBS.....	17
3.1.2.1 Systém OBC.....	18
3.1.2.2 Systém OBN.....	18
3.2 Zdroj seismické energie	19
3.3 Registrace seismického signálu na palubě	20
4 Realizace měření na moři	21
5 Zpracování a interpretace seismických dat	24
5.1 Seismický záznam.....	24
5.2 Zpracování seismických záznamů a interpretace časových řezů	25
6 Závěr	29
Použitá literatura	31
Seznam obrázků	34

Úvod

Vyhledávání a průzkum ložisek uhlovodíků se provádí komplexně a opírá se o spolupráci různých specializovaných geologických oborů, jako jsou geochemie, stratigrafie, strukturní geologie apod. Z hlediska praktické realizace průzkumu první místo zaujímají metody užití geofyziky. Pomocí geofyzikálních metod se zjišťují ložiska uhlovodíků především nepřímo, tj. vyhledáváním strukturních pastí vyvinutých typicky v komplexu sedimentárních hornin. Kromě toho existují i tzv. přímé indikátory uhlovodíků, které umožňují za určitých okolností přímo identifikovat přítomnost uhlovodíků na zpracovaných seismických záznamech. Při realizaci geofyzikálního průzkumu na uhlovodíky se musí přesně dodržovat jednotlivé etapy prací. První etapou je regionální průzkum, v němž se uplatňují metody, pomocí nichž je možné vyhledat a vymezit struktury, které by mohly sloužit jako past na uhlovodíky. K tomu lze použít zejména gravimetrické a magnetometrické metody. Seismické metody průzkumu se uplatňují především ve druhé etapě, tzv. detailním průzkumu. Jak napovídá samotný název druhé etapy, je potřeba získat co nejpodrobnější informaci o vyhlédnuté struktuře. Je nutné podrobně stanovit geologickou stavbu, včetně stanovení mocnosti a hloubky význačných horizontů, zejména podloží sedimentární pánve. Důležitým bodem je nalezení tektonických poruch. Závěrečnou etapou je ověřování nalezených zásob vrtným průzkumem. Zde se uplatní tzv. karotážní metody (geofyzikální měření ve vrtech), například ke stanovení pórovitosti (neutronová karotáž) a propustnosti kolektorských hornin.

Tato bakalářská práce je rešeršního charakteru a je věnována metodám průzkumu používaným ve druhé etapě prospekce na uhlovodíky – seismickým metodám. Jejím hlavním úkolem je podat základní informace o seismickém průzkumu při hledání uhlovodíků na moři.

V dané práci se nejprve budu zabývat základní charakteristikou uhlovodíků. Stručně pojednám o jejich chemickém složení a vzniku v geologickém prostředí. Zároveň se zmíním o migraci ropy a plynu do míst akumulace (kolektory, pasti). Dále se budu věnovat seismickým metodám průzkumu – metodě odražených vln (tzv. reflexní seismika) a její modifikaci – metodě společného reflexního bodu. Pozornost také věnuji technickým zařízením, která se používají v mořské seismice. Jsou to přijímače seismického signálu, zdroje seismické energie a registrační zařízení na palubě. Nastíním samotnou realizaci měření na moři při registraci seismických vln, a to pomocí přijímačů těsně pod hladinou a na dně moře. V závěrečné části práce bude podána stručná informace o průběhu a podstatě zpracování seismických dat a budou zmíněny základní metody interpretace časových řezů.

1 Charakteristika uhlovodíků

Cílem této kapitoly je charakterizovat základní vlastnosti uhlovodíků. Popsat procesy, které se podílejí na jejich vzniku (hnutí a bituminace). Následně podat informace o procesu migrace uhlovodíků do míst jejich akumulace a uvést základní typy kolektorů a ložiskových pastí.

1.1 Složení a vznik kaustobiolitů

Následující téma je zpracováno dle publikací Djakonová a kol. (2002), Zimáka (2008) a Černové (2008). Ropa a plyn jsou jedny z nejdůležitějších současných světových komodit. Hrají významnou roli v rozvoji dnešní společnosti. Charakterizuje je široká geografická rozšířenost a obrovské celosvětové zásoby. Těžba uhlovodíků si podmanila technický pokrok a ovlivnila strukturu průmyslu. Ropa a zemní plyn tvoří energetický a surovinový základ pro pozemní, námořní a říční dopravu, letectvo, chemický průmysl a nakonec i pohodlný život obyvatelstva.

Ropa se řadí ke skupině hořlavých organogenních sedimentů zvaných kaustobiolity. Jedná se o přírodní kapalnou živici, která je složena ze směsi kapalných uhlovodíků, rozpuštěných pevných a plyných uhlovodíků, neuhlovodíkových organických sloučenin a ze stopového množství dusíku, síry a kyslíku. V těžené ropě se mnohdy objevuje také voda a minerální příměsi. Ropa z různých ložisek se liší viskozitou (tekutá až velmi viskózní) a barvou (světle žlutá až skoro černá).

Rozlišují se tři základní druhy ropy dle charakteru převládajících uhlovodíků: parafinická ropa tvořená uhlovodíky parafinické řady (alkany), cykloparafinická obsahující cykloparafinické uhlovodíky a aromatická, která je složena z derivátů benzenové řady. Ropa z jednoho naleziště má obvykle diametrálně jiné složení v porovnání s ropou z jiného naleziště.

Zemní plyn je zastoupen směsí alkenů (CH_4 , C_2H_6 a jiné uhlovodíky), v menším množství se v něm objevují N_2 , He, CO_2 , H_2S .

Na vzniku ropy se podílejí dva procesy: hnutí a bituminace. Hnutí je proces rozkladu za působení pouze anaerobních bakterií, který postihuje bakterie, zooplankton a fytoplankton. Tento rozkladací proces je doprovázen vznikem CH_4 (bahenní plyn unikající v močálech), H_2S , NH_3 a H_2O . Ve většině případů probíhá na dně vodních pánví (nedochází zde k cirkulaci vody a přístupu vzduchu). Výsledným produktem hnutí je nekromasa zvaná sapropel. Při procesu bituminace se sapropel s jinými organickými částicemi obsaženými v ropomatečné hornině přeměňují na ropu a uhlovodíkový zemní plyn. Podle Augusta (2001) probíhá výše uvedená přeměna při vysokých teplotách ($60\text{-}150^\circ\text{C}$), tlaku a katalytickém působení okolních hornin a to po dobu trvající až miliony let.

Zdrojovými nebo tzv. ropomatečnými horninami jsou obvykle jílové sedimenty (aleuropelity, pelity) ve vnitrokontinentálních mořích, mořských zálivech nebo šelfech, jelikož obsahují potřebné organické příměsi pro tvorbu ropy a zemního plynu.

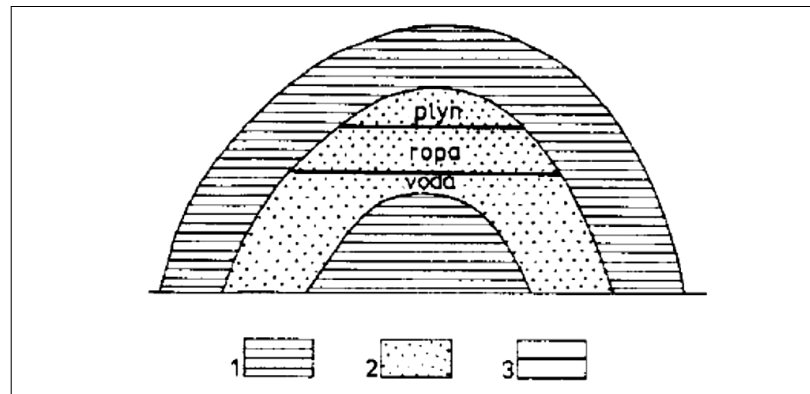
Výše uvedený popis vysvětluje vznik ropy a zemního plynu podle organické (biogenní) teorie vzniku přírodních uhlovodíků. Tato teorie je v dnešní době všeobecně přijímána. Avšak existuje i jiná hypotéza, které předpokládá, že vznik ropy způsobila přímá syntéza uhlíku a vodíku nebo rozklad karbidů vodou (tedy při anorganických procesech). Jedná se o tzv. anorganickou teorii. Možným důkazem této teorie je výskyt abiogenního metanu v sopečných plynech a fluidech riftových zón.

1.2 Migrace a akumulace uhlovodíků

Kapitola je zpracována podle publikací Černové (2008), Khayna (2008) a Zimáka (2005). Ropa vzniká ve formě kapek rozptýlených v ropomatečné hornině v hloubce 1–2 km. Následně kapky ropy migrují z místa vzniku k místu akumulace v tzv. kolektoru (propustná, pórovitá hornina). Migraci napomáhají póry a diskontinuity. Rozlišují se dva typy migrace: primární a sekundární. Primární migrace zahrnuje procesy přemístění vzniklých kapek ropy uvnitř ropomatečné horniny. Kapky jsou uvedeny do pohybu několika faktory. Jedním z nich je zvyšování teploty při klesání sedimentu do velké hloubky. Zahříváním se objem uhlovodíků zvětšuje, což vede k jejich migraci. Dalším faktorem je zhutnění sedimentů vlivem váhy nadložních hornin, což je provázeno zmenšováním pórovitosti samotných sedimentů. Následkem je pak vytlačení kapének ropy společně s pórovou vodou. Pohyb uhlovodíků je zapříčiněn též zvýšením tlaku v pórech, který je vyvolán vznikem nových minerálů v hornině. Posledním faktorem je proces difuze - rozptýlení molekul jedné látky ve druhé látce ve směru koncentračního spádu. Sekundární migrace je podmíněna gravitačními, hydraulickými a dalšími činiteli. Jedná se o přemísťování uhlovodíků do kolektorské horniny. Při průniku do zvodnělého kolektoru mají uhlovodíky tendenci stoupat k horní bázi. Je to dáno jak vlivem gravitačních sil, tak i tlakovou kolizí, která ve velkém měřítku pohybu napomáhá. Podstatou hydraulického faktoru je migrace podmíněná průtokem vody v kolektoru, při kterém kapky ropy a bubliny plynu putují společně s vodou. Výše uvedené migrační faktory se uplatňují v dobře propustných horninách. Pro méně propustné horniny (jíly) je však hlavním činitelem zbytkový tlak v podložních horninách bohatých na plyn umožňující jeho difuzi.

Jsou dva základní typy kolektorů: zrnité (tvořené písky, pískovcem a slepencem) a puklinové (tektonicky postižené vápence, granity apod.). Kromě uhlovodíků je v kolektoru přítomna tzv. ložisková voda (jde o obyčejnou podzemní vodu, často mineralizovanou, nebo o fosilní mořskou vodu).

Geologická struktura, ve které se akumuluje ropa a uhlovodíkový zemní plyn v ložiskovém množství, se označuje jako ložisková past. Taková past se skládá z vlastní kolektorské horniny a tzv. ekranu, což je horninové prostředí působící jako izolátor (např. pelity a evapority), čímž umožňuje nahromadění uhlovodíku. Ve většině případů jsou ložiska uhlovodíků charakteristická vertikální zonálností, která je podmíněna gravitací. V nejvyšší části ložiska je nahromaděn plyn a pod ním v nadloží ložiskové vody je uložena ropa. (viz. Obr. 1.)



Obr. 1 Idealizovaný řez ložiskovou pastí v antiklinální struktuře.
Vysvětlivky: 1 - nepropustná hornina; 2 - kolektorská hornina;
 3 - rozhraní mezi vodou a ropou, mezi ropou a zemním plynem. -
 Zimák, 2005

Mezi hlavní typy ložiskových pastí patří stratigrafické pasti (střídají se propustné vrstvy s nepropustnými), litologické pasti (vrstvy s petrografickými změnami) a tektonické pasti (podmíněné tektonickou stavbou). Přibližně 65% zásob ropy je v sedimentech mezozoického období (zejména jura a křída), pro které bylo typické převážně teplé a vlhké klima.

2 Seismické metody průzkumu

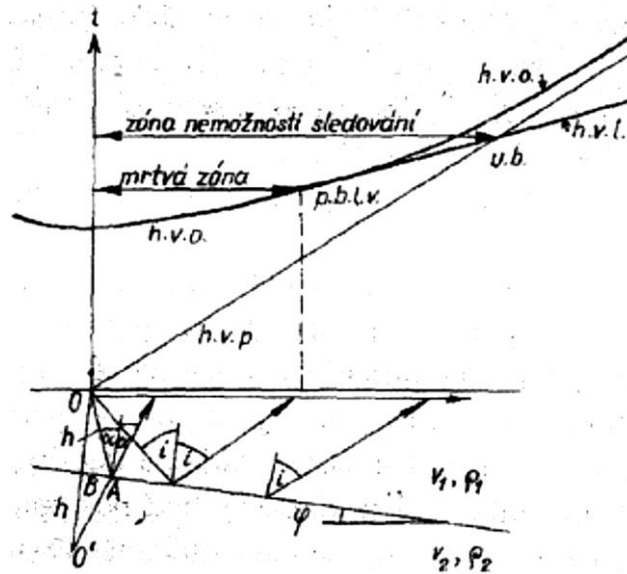
Rozlišují se dvě hlavní seismické metody podle typu využívaných seismických vln: refrakční metoda (lomené vlny) a reflexní metoda (odražené vlny). Jak metoda lomených vln, tak metoda odražených vln je v praxi realizována podle různých metodik, například podle účelu měření, zájmové hloubky, požadované rozlišovací schopnosti a podobně. Jednotlivé modifikace seismických metod se od sebe liší způsoby příjmu, respektive buzením seismických vln, z čehož vyplývá i odlišné zpracování naměřených dat.

Djakonov a kol. (2002), Bondarev a Krylatkov (2001) a Telegin (2004) ve svých publikacích uvádí, že prospekce roponosných struktur je založena převážně na reflexní seismice. Předností této metody je její spolehlivost a přesnost, a to zejména v oblastech, ve kterých se vyskytují zhruba horizontální odrážející rozhraní a skoro konstantní rychlosti seismických vln. V takovém případě lze provádět registraci odražených vln v blízkosti bodu výbuchu, protože dráhy seismických paprsků jsou téměř kolmé k seismickým rozhraním. Metoda lomených vln se používá spíše ve fázi regionálního průzkumu, například pro nalezení hrubého průběhu dna sedimentární pánve. Často se ale metoda lomených vln využívá jako mělký seismický průzkum, pro stanovení korekcí pro metodu odražených vln.

2.1 Metoda odražených vln

Tato kapitola je zpracována dle poznatků z publikací Pospíšila (2007), Bondareva a Krylatkova (2001), Telegina (2004), Lowrie (2007) a Mareše (1979). Metoda odražených vln je jednou z nejdůležitějších a nejnákladnějších geofyzikálních metod v oblasti průzkumu ložisek uhlovodíků. Umožňuje detailně rozlišit podpovrchové geologické struktury až do hloubky 5–6 km, výjimečně až do 10 km.

Odražená vlna vzniká při odrazu seismické energie od reflexního rozhraní za předpokladu rozdílných vlnových odporů prostředí oddělených sledovaným rozhraním. Při odrazu mění seismické vlny svůj směr. Směr šíření odražených vln se řídí tzv. Snellovým zákonem, který říká, že úhel odrazu seismické vlny je roven úhlu jejího dopadu. Hodochrona odražené vlny od rovinného odrážejícího rozhraní (viz. obr. 2) má hyperbolický tvar, z obou stran k ní přiléhají hodochrony přímé vlny (přímka procházející začátkem souřadnicového systému, představuje asymptotu hyperbolické hodochrony odražené vlny). V případě vodorovného odrážejícího rozhraní odpovídá minimum času na hodochroně odražené vlny poloze bodu odpalu. V případě skloněného rozhraní se toto minimum posune na stranu jeho stoupání.



Obr. 2 Paprsky a hodochrony odražené a přímé vlny, h.v.o – hodochrona odražené vlny, h.v.p – hodochrona přímé vlny - Válek a kol., 1972

V případě horizontálně zvrstveného prostředí bude k odrazu docházet na všech odrážejících rozhraních. Protože rychlost seismických vln obvykle do hloubky stoupá, budou hodochrony od hlubších rozhraní plošší ve srovnání s hodochronami od mělkých rozhraní.

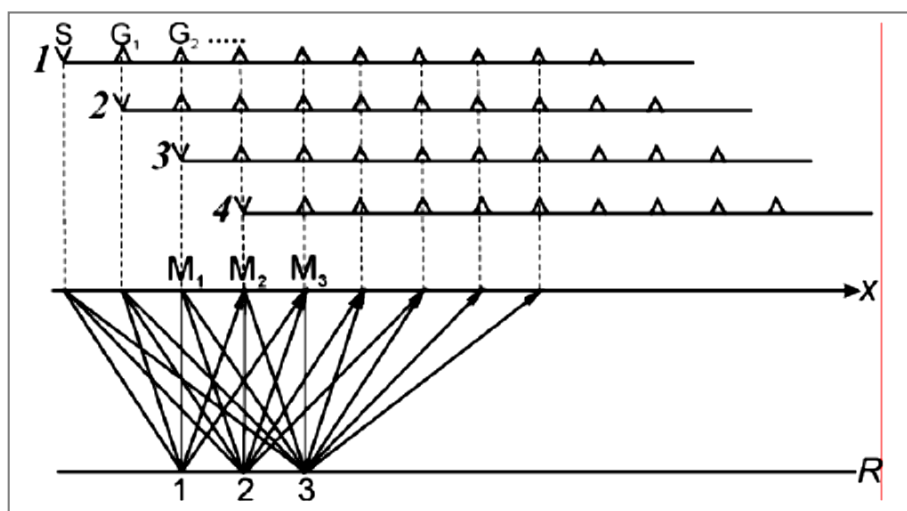
Pro měření metodou odražených vln existuje řada různých metodik. Pro dosažení spojitého sledování odrážejícího rozhraní stačí použít například systém dvojic vstříčných hodochron odražených vln. Pro zlepšení spolehlivosti a zvýšení rozlišovací schopnosti se používají systémy měření, kde je mnohonásobně přeúčtená informace o odrazech od jednotlivých bodů na odrážejících rozhraních. Tato metoda se označuje jako metoda společného reflexního bodu, ve zkratce SRB (anglicky common depth point – CDP), která je v současné době nejpoužívanější ve světě.

2.2 Metoda SRB

Následující téma je zpracováno podle publikací Boganika a Gurviče (2006) a Bondareva a Krylatkova (2001). Podstatou metody SRB je získání více odrazů od každého odrážejícího bodu na rozhraní, a to při různých polohách seismického zdroje. Počet těchto odrazů se označuje jako násobnost překrytí. Měření je realizováno pomocí mnoha překrývajících se hodochron, což napomáhá k přesnějšímu určení polohy a tvaru rozhraní. Získá se tím více nezávislých měření od jednotlivých odrážejících bodů na reflexním rozhraní. V praxi je to realizováno tak, že se vyberou seismické stopy odpovídající jednomu bodu na odrážejícím rozhraní. Tyto seismické stopy se upraví, a pak se provádí jejich sčítání.

Sumace stop zlepši poměr amplitud odražených vln k amplitudám poruchových vln a různorodému šumu. Je to dáno tím, že při sčítání se časy příchodu odražených vln shodují, tudíž při shodě tvaru signálu se budou sumovat ve fázi, čímž se budou zesilovat. Poruchové vlny a šumy se sumací relativně potlačí, jelikož jejich fáze se na různých sčítaných záznamech neshodují.

Terénní měření se realizuje tak, že podél profilu se roztáhnou přijímače (geofony), a to s krokem měření 10–15 m pro nehluboká a velmi detailní měření, 20–40 m pro střední hloubky a přes 50 m pro velké hloubky. Maximální vzdálenost přijímače od zdroje musí být úměrná hloubce sledovaných rozhraní. Rozložení přijímačů a body výbuchu se současně ve stejném směru posunují od jednoho konce profilu k druhému. Jako jednoduchý příklad profilového měření lze uvést, že při měření 124-kanálovou aparaturou při středovém nebo koncovém uspořádání bodu výbuchu s odpaly v obou směrech je možno realizovat 124-násobné překrytí. Principiální příklad realizace metodiky je uveden na schématu čtyřnásobného překrytí na obr. 3.



Obr. 3 Schéma realizace čtyřnásobného překrytí: 1–3 společné reflexní body, S – zdroj seizmického signálu, G – geofon - Voskresenskij, 2006

2.3 3D průzkum

V této kapitole vycházím zejména z poznatků získaných v publikacích Vilhelma (2012), Yilmaze (1987), Voskresenského (2006) a Bondareva a Krylatkova (2001). Měření metodou společného reflexního bodu se provádí několika způsoby. Jedním z nich je výše popsané měření podél profilu (2D měření). Výsledkem takového měření je rovinný řez. Tento řez odpovídá skutečnosti jen v případě, že je profil veden kolmo k ukloněným rozhraním. Dalším způsobem měření je plošné měření, jehož výsledkem je trojrozměrný obraz geologického prostředí, který poskytuje úplnou prostorovou informaci o zkoumaném území. V odborné literatuře se objevuje

pod názvem trojrozměrná neboli 3D seismika. Uplatňuje se zejména při průzkumu ve složitějších geologických podmínkách.

Při měření na moři se obvykle používá širokoprofilová geometrie uspořádání, při níž jsou linie odpalů umístěny na liniích přijímačů (tzv. streamerů) a pohybují se souběžně a synchronně s přijímacími zařízení. Přijímače jsou rozmístěny na každé linii odpalů, tak aby jejich projekce na linii pozorování odpovídala požadované násobnosti překrytí.

V případě trojrozměrné seismiky se místo jednotlivých společných reflexních bodů na linii profilu zavádí pojem tzv. bins, který označuje jednotlivé odrážející elementy zkoumaného reflexního rozhraní. Každému binu odpovídá určitá skupina seismických záznamů, které se po odpovídající korekci na polohu zdroje a přijímače sčítají. Výsledkem je tzv. „data cube“, tedy objem, uvnitř kterého jsou jednotlivé seismogramy, na nichž lze nalézt odrazy od všech odrážejících rozhraní. Těmito trojrozměrnými daty je možné vést vertikální řezy v podélném a příčném směru (tyto směry se vztahují k orientaci linií geofonů nebo seismických zdrojů), případně lze konstruovat vodorovné, tzv. časové řezy. Prostřednictvím těchto řezů lze vytvářet interaktivní zobrazení geologického prostředí, například s obrysy sledovaného horizontu, která poskytují efektivní interpretaci plného rozsahu seismických dat.

Trojrozměrné měření je ekonomicky nákladná a na provedení poměrně náročná záležitost. Ale to se plně kompenzuje tím, že výsledky poskytují rozhodující informace o nalezišti uhlovodíku, které zvyšují pravděpodobnost úspěšnosti průzkumných vrtů a snižují riziko ekonomických ztrát (realizace bezperspektivních vrtů). Navíc u již využitých ložisek poznatky získané 3D průzkumem umožní znovu obnovit těžbu ukončenou při absenci dostatečně vyvinutých technologií.

3 Seismická aparatura

V této části práce se budu věnovat seismickým aparaturám, které se využívají při průzkumu na moři, a zároveň uvedu jednotlivá zařízení, jež jsou jejich součástí. Zaměřím se na používané typy přijímačů, registrující aparaturu na palubě průzkumné lodě a zdroje seismické energie. Zároveň nastíním samotný průběh měření na moři za použití několika druhů přijímacích zařízení.

3.1 Přijímače seismického signálu

Podle Telegina (2004) je hlavním prvkem registrující aparatury seismický kanál, který zahrnuje všechna zařízení sloužící k zachycení signálu až po jeho registraci. V průzkumu na moři jsou jako detektory seismického signálu používány především tzv. hydrofony. Úkolem hydrofonu je zachytit a následně předat seismický signál registrující aparatuře na průzkumné lodi. V každém hydrofonu je většinou umístěn keramický piezoelektrický prvek, který převádí změny tlaku při průchodu podélné seismické vlny vodou na elektrický signál. Ke zvýšení citlivosti piezokeramických snímačů jsou používána seskupení 3–120 kusů snímačů. Jako piezoelektrický materiál se používá například zirkoničitan-titaničitanu olova. Přijímače pro měření na mořském dně navíc obsahují třísložkové indukční geofony, které zaznamenávají rychlost posunu vyvolaného průchodem seismické vlny ve třech vzájemně kolmých směrech.

Bondarev a Krylatkov (2001) rozděluje přijímací zařízení podle různých hledisek. Podle místa využití můžeme rozlišit nehlubinná přijímací zařízení (vlečená při hladině moře – streamery) a hlubinná přijímací zařízení (používaná pro měření na dně – technologie OBS). Přijímací zařízení se dále dělí dle typu předávaného signálu na analogová a digitální. V analogovém přijímači putuje zachycený seismický signál přes samostatnou kroucenou dvojlinku mnohožilného kabelu do registrujícího systému, ve kterém je převeden do digitální podoby. V digitálním přijímači je převod signálu na digitální podobu zajištěn samotným přijímačem, a to pro několik sousedních kanálů. V současnosti mají největší preference digitální přijímače.

3.1.1 Přijímače typu Streamer

Následující téma je zpracováno podle publikace Borisova a Plotnikove (2011) a Telegina (2004). V nich se uvádí, že streamer je složité elektromechanické zařízení, které je tvořeno hadicí s mnoha pracovními úseky. Každý z nich je vyroben nejčastěji z PVC hadice o průměru 50–70 mm a délce 75–150 m. Jednotlivé úseky mají na začátku i na konci speciální spojku z nerezové slitiny titanu s četnými hermetickými konektory. Přes konektory procházejí různé

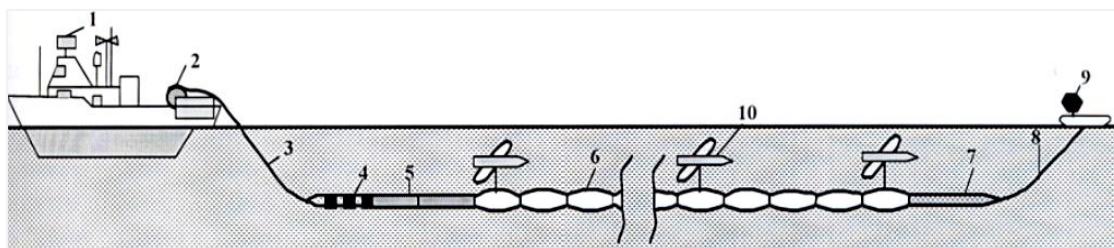
elektrické obvody. Spojky každého úseku jsou mezi sebou spojeny pevným ocelovým lanem, které umožňuje vlečení streameru ve vodě. Hydrofony, spojovací obvody a další seismická zařízení jsou umístěny uvnitř pracovních úseků.

Nezbytnou částí digitálního streameru je také digitální modul pro analogově-digitální převod signálu. Je umístěn ve válcovitém pouzdře o průměru 82 mm a délce 52 cm. Každý modul se přes spojky montuje mezi sousední pracovní úseky. Jeden modul zajišťuje převod signálů z dvanácti kanálů (jeden přijímací kanál je tvořen 8 geofony) a obsahuje 12 identických zesilovačů s 4 stupni zesílení (12, 24, 36 a 48 dB). Každý zesilovač obsahuje několik filtrů (nizkofrekvenční, vysokofrekvenční, antialiasingové) a analogově-digitální převodník (A/D), který provádí vzorkování signálů s krokem 4, 2, 1, 0,5 milisekund. V modulu se nachází také několik indikátorů hloubky a polohy. Jeden z nich detekuje hloubku ponoření s přesností $\pm 0,46$ m a s maximálním dosahem do hloubky 120 m. Další určuje pozici každého úseku prostřednictvím registrace azimutální orientace.

Streamer se přepravuje navinutý na robustní buben o rozměrech 4 x 3 m a objemu 12 až 13 m³. Úkolem bubnu je rozvinout streamer a spustit ho na vodu.

Aby na streamer nepůsobila příliš velká vztlaková síla a mohl plavat v potřebné hloubce pod hladinou, vpouští se dovnitř hadice kapalina, která zároveň zajišťuje spolehlivou elektrickou izolaci hydrofonu. Většinou se jako výplň používá olej, avšak v poslední době se začala používat také tuhá výplň: speciální silikonový gel. Streamery s gelovou výplní jsou ekologičtější a odolnější.

Součástí streameru je tzv. vlečný systém o délce 300–600 m. Skládá se z několika typů úseků: tažných, prázdných (bez přijímačů), tlumících. Tažné a prázdné úseky se používají pro ovládání a přemísťování streameru a také k dosažení požadované vzdálenosti od lodi a předepsaného ponoření. Tlumící úseky zmenšují nežádoucí akustický šum způsobený vibrací lodního motoru a vlny ve stopě lodi, které jsou vyvolány jejím pohybem. Principiální konstrukce streameru je uvedena na obr. 4.



Obr. 4 Principiální schéma měření pomocí streameru: 1 – průzkumná loď, 2 – navíjecí buben, 3 – tažné lano, 4 – tlumící úsek, 5 – prázdný úsek, 6 – pracovní úsek o délce 30–100 m obsahující skupinu 20–100 geofonů, 7 – koncový pracovní úsek, 8 – koncové tažné lano, 9 – bóje s reflektorem, 10 – kontrola ponoření (depth controller) - Bondarev, 2007

Optimální hloubka ponoření je 12–18 metrů, maximální hloubka činí 23 m. Poloha jednotlivých úseků v hloubce je kontrolována prostřednictvím tzv. stabilizátorů, které udržují

potřebnou hloubku ponoření a to zcela automaticky s přesností ± 1 metr. Na konci každého streameru je navíc pomocí bóji upevněn radar-reflektor, který umožňuje určit přesnou polohu přímo z lodi. Rozestupy mezi jednotlivými streamery zprostředkovávají dva tzv. deflektory po stranách lodi. Jedná se o speciální protáhlou bóji o délce 8 m s kovovými pláty rozmístěnými kolmo k tělu bóje a umístěnými po její celé délce. Celková délka jednoho streameru dosahuje 6 až 12 km.

Jako reálný příklad principiální konstrukce streameru uvedu jeho parametry od známého výrobce seismického zařízení pro mořskou seismiku firmy SYNTRON. Ten je součástí seismické aparatury SYNTRAK 480-Multipl Streamer Telemetry System. Vyroběn je z polyuretanové hadice o průměru 56 mm a tloušťce stěny 4 mm. Skládá se z úseků o délce 75 m. V každém z nich je uloženo 8 geofonů s intervalem 6,25 m. Jednotlivý úsek obsahuje 143 litry plniva Isopar M o hustotě 0,79 kg/litr a celkové váze 240 kg (bez výplně 127 kg). Pevnost v tahu činí 10 000 kp, což umožňuje provádět měření s maximálním dlouhým přijímačem (12 km).

V závislosti na délce kroku mezi kanály a jejich celkovým počtem se rozlišují tři varianty konfigurace streameru SYNTRAK 480-24[™] NSTS. Jednotlivé varianty se od sebe liší počty kanálů, intervaly mezi hydrofony a středy skupin, celkovými délkami streameru a množstvím modulů pro sběr dat. Uvedu zde parametry pro typ s maximální možnou sestavou: 480 přijímacích kanálů, se středy skupin: 6,25 m; 12,50 m; 18,75 m; 25,00 m; celková délka streameru od 3 000 do 12 000 m, 40 digitálních modulů.

3.1.2 Přijímače typu OBS

Jedná se o hlubinné přijímače pro práci na mořském dně, které se využívají jak na přechodné zóně a šelfu, tak i v hlubokých vodách (deep water). Maver (2011) ve svém článku uvádí dva typy přijímačů technologie Ocean bottom seismometers (dále jen OBS): kabelový systém přijímačů Ocean bottom cables (dále jen OBC) a autonomní bezkabelové moduly Ocean bottom nodes (dále jen OBN).

Základem přijímačů technologie OBS jsou dle Walkera a McIntosh (2011), Gullarda a Walkera (2012) dva třísložkové geofony a jeden hydrofon s vlastní frekvencí 10 Hz. Každý z elementů je vybaven individuální baterií (většinou litium-iontovou) a záznamovým systémem se solid state memory pro OBC a s 32 GB flash diskem pro OBN. Všechna elektronika je uložena v tlakovém modulu, který je opatřený nadnášecím límcem a navigačním pingerem (automatické zařízení na testování funkčnosti sítě). Geofony registrují pohyby mořského dna a jejich těsný kontakt s podkladem je velmi důležitý. Musí být proto zajištěno, aby byl trup modulu dostatečně těžký. Geofony detekují rychlost pohybu částic dna ve třech osách a v kombinaci s hydrofony umožňují odstranění nežádoucího povrchového šumu vyvolaného pohybem hladiny vody.

Podle Mavera (2011) jsou OBS nejvíce využívány v náročném terénu a v místech, kde se vyskytují různé překážky (např. ropné plošiny a lodě). Je to dáno především jejich mobilitou a tím, že se jedná o samostatné autonomní jednotky.

Ve svém článku Walker (2008) uvádí několik výhod OBS detektorů před streamery. Jednou z nich je skutečnost, že jejich použitím se eliminuje několik hlavních zdrojů nežádoucího akustického šumu, konkrétně šum vyvolaný vlečením přijímačů ve vodě a tzv. povětrnostní šum vyvolaný pohybem vodní hladiny. Další předností je lepší datové pokrytí profilu, které je zajištěno tím, že rozmístění přijímačů je nezávislé na zdrojích seismického signálu.

Podle Daviese a kol. (2011) je OBS stále častěji využívána jako strategicky důležitá technologie. Díky vysokému rozlišení výsledného řezu se výrazně snižuje riziko spjaté s neúspěšnými vrty, čímž se zvyšuje koeficient úspěšnosti.

3.1.2.1 Systém OBC

Jak definuje Maver (2011) ve svém článku: OBC tvoří protáhlé hranoly o průměru 11,5 cm, délce 40 cm a váze 11,3 kg. Jejich tvar umožňuje vlečení celého systému po mořském dně s minimálním rizikem ztráty. Jsou mezi sebou spojeny mnohažilným kabelem o délce buď 6–12 km (za použití mnoha kabelových systémů), nebo o délce až 72 km (při práci s několika systémy). Základ kabelu je tvořen ocelovým lanem, dále je zde několik různých dvojic vodičů, které se používají k přenosu dat (telemetrická, seismická data) a současně dodávají elektrickou energii. Pro realizaci měření je obvykle potřeba několika průzkumných lodí, jedna se zdroji seismického signálu, další napojená na kabelový systém a registrující data. Systém VectorSeis Ocean (VSO) firmy ION je vybaven speciální bójí, která automaticky nahrává data, díky čemuž již není potřeba další loď. Systém OBC umožňuje zobrazení dat bez vytažení kabelu. Borisov a Plotnikova (2011) uvádí, že měření s OBC se využívá zřídka, jelikož má řadu zásadních nevýhod oproti jiným zmíněným technologiím. Jednou z nich je uživatelská náročnost, neboť se často vyskytují různá poškození drátů, kabelů a tažných lan. Další nevýhodou této technologie je neschladnost zařízení. Rozhodujícím negativním faktorem zůstává vysoká ekonomická nákladnost. Podle Ishiyama (2010) je růst nákladů odůvodněn ekvivalentním vzrůstem výsledné kvality dat.

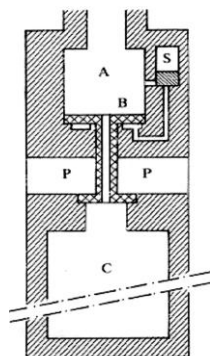
3.1.2.2 Systém OBN

Dle Walkera a McIntoshe (2011) nepatří technologie OBN k těm moderním (byla vyvinuta v roce 1970), avšak největšího využití dosáhla až v současné době. Konfigurace OBN se volí podle místa provedení prací. Pro hluboké vody (do 3 km) se používají moduly o rozměrech 57 x 25 cm a váze 100 kg, které jsou schopny nepřetržitě vést záznam po dobu 60 dní. Jejich přemístění na palubě zajišťuje speciální zvedací zařízení s „košíky“ a řada pohyblivých pásů. Za rozmístění modulu na mořském dně odpovídají zařízení s dálkovým ovládním, která

dokážou umístit a zvednout až 100 modulů denně. Tato zařízení jsou přemísťována dvěma jeřáby, které jsou lokalizovány po stranách lodi. Pro zónu šelfu se používají totožné moduly, které se liší jen rozměry a váhou (jelikož se používají jen do hloubky 1,2 km): 43 x 14 cm, 30 kg, s 8 GB flash diskem a dobou výdrže baterie 15 dní. Díky tomu, že jsou moduly zcela autonomní, je možné využívat libovolně dlouhou přijímací linii. Pro realizaci měření je vždy potřeba dvou lodí, jedna z nich se zabývá rozmístěním modulu, další zajišťuje buzení seismického signálu.

3.2 Zdroj seismické energie

Následující kapitola je zpracována podle publikací Borisova a Plotnikove (2011) a Gullarda a Walkera (2012). Hlavním zdrojem seismického signálu při měřeních na mořích je pneumatický zdroj seismické energie, tzv. airgun (obr. 5), fungující na principu tlakové bomby, ze které je stlačený vzduch náhle vypuštěn („vystřelen“) do vody. Je tvořen kovovým válcem s hlavní (C) a vedlejší (A) komorou, pohyblivým pístem (B) a pneumatickou chlopní (S) (viz. obr. 5). Vypuštění stlačeného vzduchu je umožněno přes boční otvory (P) v trupu. Stlačený vzduch z kompresoru na lodi putuje hadicí do vedlejší komory přes chlopeň, a následně pak do komory hlavní. Airgun je připraven k práci po dosažení tlaku o hodnotě 130–160 bar. Na příkaz seismické stanice je spuštěna pneumatická chlopeň (S) a tím je uveden do pohybu píst (B), který vytlačí stlačený vzduch do vody. V důsledku toho je energie stlačeného vzduchu přeměněna na energii pružných kmitů vodního prostředí. Vedlejší komora slouží k navrácení pístu po výstřelu do původní polohy. Neustálý přísun stlačeného vzduchu dodávaného kompresorem umožňuje opětovně naplnění komory bezprostředně po výstřelu, což zabraňuje průniku vody dovnitř. Je tím také zajištěna možnost rychlého znovupoužití za 5–10 sekund (přesný čas záleží na výkonnosti kompresoru). Tlak vyvolaný výstřelem je sledován pro každou linii zdrojů zvláštním detektorem na jejím konci. Všechny záznamy jsou nahrávány do souboru navigačního formátu SEG P1, který je využíván k záznamu koordinát zdrojů signálů.



Obr. 5 Konstrukční schéma pneumatického zdroje seismického signálu (airgun): A – vedlejší komora, B – pohyblivý píst, C – hlavní komora, P – výfukové otvory, S – pneumatická chlopeň - Borisov, 2011

V důsledku vytlačení stlačeného vzduchu vznikne plynová bublina, která se rozšiřuje díky rozdílu tlaku uvnitř bubliny a hydrostatickému tlaku odpovídajícímu dané hloubce. Bublina zároveň stoupá směrem k povrchu. V určité hloubce dosáhne toho, že je její tlak totožný, ne-li menší než tlak hydrostatický, což je důsledek inerčních procesů. Výše popsaný proces se neustále opakuje, dokud se bublina nevynoří na hladinu. Dochází ke vzniku doprovodných vln, které komplikují měření (jsou nežádoucím šumem). Tento problém se řeší použitím skupin zdrojů s odlišnými objemy. Verpachovskaja a kol. (2013) ve svém článku uvádí i jiné řešení, konkrétně ponoření zdroje do takové hloubky, ve které se doba jeho pulsace shoduje s dobou hlavních odrazů. Celkové objemy zdrojů energie jsou odlišné pro každý průzkum, vždy se však volí tak, aby poskytly dostatečné množství seismické energie k ozáření geologických objektů.

3.3 Registrace seismického signálu na palubě

Jak uvádí Borisov a Plotnikova (2011) seismická data jsou zaznamenávána speciální registrační aparaturou na palubě průzkumné lodi. Používaná zařízení musí být shodná s typem streameru. Největší preference mají seismické systémy (registrující aparatura, streamery apod.) od specializovaných firem: SYNTRON SYNTRAK 480(960)-24™ Myltple Streamer Telemetry System, GECO-PRAKLA, INPUT/OUTPUT, INC. Registrační aparatura se skládá ze soustavy přístrojů: mnohokanálového telemetrického procesoru (MSTP), systému nahrávání seismických dat, ovládacího systému a systému kontroly kvality záznamu.

Bondarev a Krylatkov (2001) uvádí příklad seismické registrační aparatury: telemetrický procesor Myltple Streamer Telemetry Processor-MSTP a systém nahrávání dat Myltple Streamer Telemetry Recording Systém-MSRS. Účelem telemetrického procesoru je řízení a kontrola přijímacích zařízení a zdrojů seismického signálu. Jedna sestava zařízení obsahuje 4 telemetrické procesory zajišťující práci 16 streamerů s celkovým počtem kanálů nad 15 000. Na telemetrický procesor je napojen systém nahrávání dat sloužící k zaznamenávání seismických dat. Je řízen operátorem přes rozhraní procesoru a ukládá údaje o poloze přijímačů a zdrojů seismického signálu na flash disk. Informace o poloze jednotlivých přijímačů a zdrojů jsou nezbytné při provádění kontroly jakosti dat a při zpracování získaných seismických záznamů.

4 Realizace měření na moři

V této kapitole byly využity poznatky z publikací Bondareva a Krylatkova (2001) a Borisova a Plotnikove (2011). První z uvedených ve své knize rozděluje oblast světového oceánu do tří hlavních zón podle způsobu provedení seismických prací: přechodná zóna (hloubka vody do 20 m), zóna šelfu (hloubka od 20 m do 500 m), zóna hluboké vody (deep water, hloubka více než 500 m).

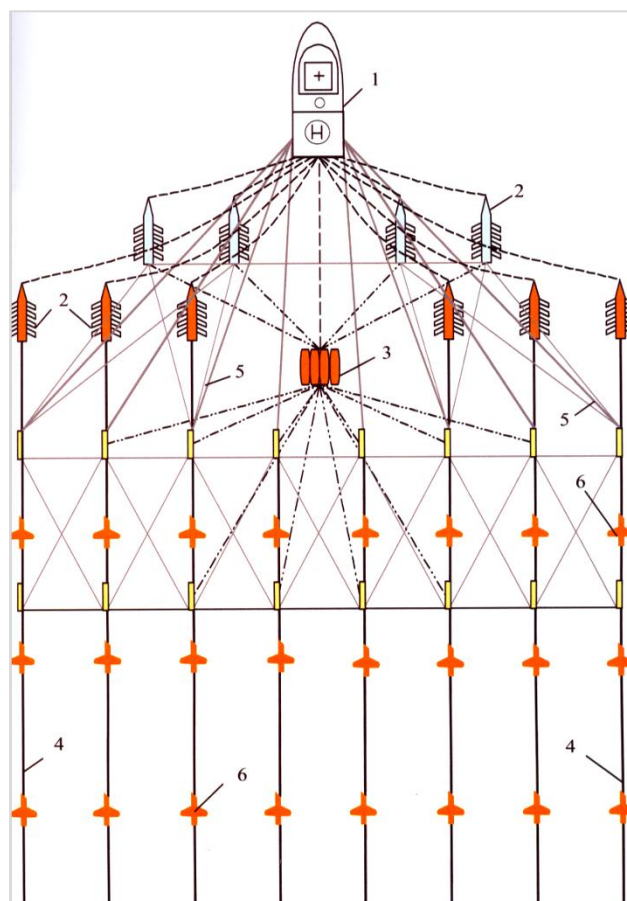
Měření na moři je realizováno pomocí jedné i více průzkumných lodí, které jsou speciálně navrženy tak, aby splňovaly požadavky seismického průzkumu. Každá loď je vybavena výkonnými kompresory pro zajištění práce vysokotlakého zdroje seismického signálu, početnými navíjecími bubny se streamery, zařízením na spouštění a vlečení streameru. Najednou zvládne vléct 10 až 16 streamerů a 4 až 6 zdrojů seismického signálu s celkovou plochou pokrytí 8–10 km². Příkladem může být loď typu Ramform Titan firmy PGS, která je schopna zapojit až 24 streamerů současně. Pro realizaci 3D měření je nutné, aby streamer a zdroje signálů byly vlečeny zároveň.

Průzkum, tj. seismické měření, se provádí spojitě za pohybu lodí. Optimální rychlost vlečení streameru je přibližně 7,8 km/h (hodnota závisí na rychlosti mořského proudu). Při nižší rychlosti streamer nezůstává v horizontální poloze, při vyšší rychlosti vzniká nežádoucí akustický šum, který pak narušuje poměr prospěšného signálu k šumu.

Všechna zařízení jsou umístěna v zadní části lodí, která je podstatně širší než před loď. Řízení a kontrolu všech systémů provádí odborná posádka v technické místnosti, která je vybavena počítači a registrující aparaturou napojenou na přijímače. Měření a sledování správné činnosti všech zařízení se provádí nepřetržitě po celých 24 hodin denně.

Při provádění seismického průzkumu je nezbytné použít polohovací (navigační) systém, který je umístěn na každé průzkumné lodi (v trupu lodi), v každém streameru i ve zdroji buzení signálu. Mezi jeho základní funkce patří určování polohy přijímačů, středu skupiny zdrojů signálů a jejich vzdáleností. Následně umožňuje odhalení a odstranění možných chyb měření.

Aktivně se rozvíjející 3D průzkum klade vysoké nároky na přesnost určování souřadnic každého přijímacího kanálu, a proto již přijímače obsahují detektory polohy pro jednotlivé přijímací kanály s přesností na desetiny metru. Schéma principiální realizace 3D měření za použití streamerů je uvedeno na obr. 6.



Obr. 6 Schéma realizace 3D měření s osmi streamery: 1 – průzkumná loď, 2 – deflektor, 3 – zdroj seismického signálu, 4 – streamer, 5 – tažná lana, 6 – stabilizátory hloubky – Bondarev a Krylatkov, 2001

Výše uvedené schéma realizace je příkladem, jak může být měření provedeno. Existují i další možnosti měření, které se od sebe odlišují například typem používané aparatury (její volba závisí na účelech a podmínkách průzkumných prací). Jako příklad takového měření uvádí Gulenko a Rudakov (2013) ve svém článku průzkum s přijímači OBS, který byl proveden v prostoru Pečorského moře (jihovýchodní část Barentsova moře mezi ostrovy Kolgujev a Vajgač). Bylo použito šest lodí: loď-základna (s hlavním registrujícím telemetrickým systémem), loď-navigátor se systémem akustické navigace «Sonardyne», loď se zdroji seismického signálu (vzhledem k hrozcím překážkám na moři, např. ropné plošiny zasahující do zvoleného profilu měření, byla zvlášť využita loď se zdrojem signálu), 3 lodě zabývající se rozmístěním měřících kabelů a 2 malé motorové čluny. Hlavním detekujícím zařízením byly moduly technologie OBS (čtyřkomponentový), konkrétně telemetrický kabelový systém OBC (dále jen OBC) «ARAM ARIES II» firmy ARAM (Kanada). Seismický kabel byl ponořen pomocí speciálního hydraulického zvedacího zařízení. OBC typu «PZ dual sensor» GS-PV-1S byly rozmístěny do 8 přijímacích linií o délce 9 km, které obsahovaly celkem 1 440 kanálů (tj. 180 kanálů na jedné linii). Celková délka použitých kabelů OBC činila 107 km. Zdrojem signálů bylo 12 pneumatických zdrojů seismické energie «Bolt» 1900LL o celkovém objemu

27,24 litrů, které byly rozmístěny do dvou linií odpalu a které byly vlečeny v hloubce 4 m. Měření probíhalo v režimu telemetrie v reálném čase, což znamená, že informace od všech aktivních kanálů byla předávána do registrujícího zařízení na palubě lodi bezprostředně po každém výstřelu. Výsledný tlak byl naměřen 44,8 bar. Podle Gameese a kol. (2015) je složitost měření s OBC dána stále vyššími nároky na rozlišení výsledného výstupu informací.

5 Zpracování a interpretace seismických dat

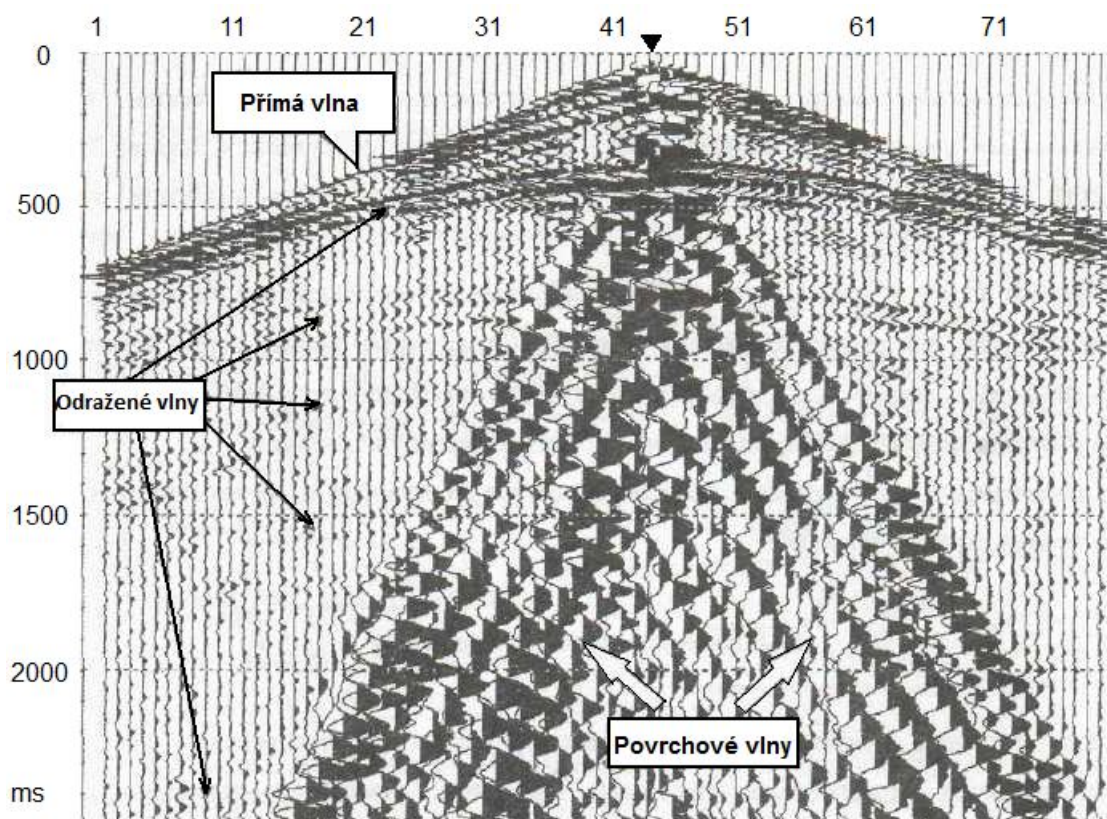
V této kapitole se budu zabývat různými typy seismických vln, které jsou registrovány detektory. Zároveň uvedu stručnou informaci o seismickém záznamu. Dále se budu věnovat zpracování seismogramu, jeho cílům a úkolům. Definuji samotný průběh zpracování a jeho vybrané procedury. Na závěr uvedu metody interpretace výsledného časového řezu.

5.1 Seismický záznam

Téma je zpracováno podle publikací Voskresenského (2006), Hattona a kol. (1989), Telegina (2004) a Stepanova (2013). Hlavním předmětem zájmu při registraci seismického vlnění v metodě odražených vln jsou jednonásobně odražené a difragované vlny, které jsou řazeny do skupiny užitečných vln. Jednonásobně odražená vlna vznikne po odrazu přímé vlny od rozhraní a poté se šíří bezprostředně ke skupině přijímačů. Mareš a kol. (1979) definuje difragovanou vlnu jako vlnu vznikající při dopadu seismického vlnění na nehomogenitu (poruchu) geologického prostředí, která se následně od nehomogenity šíří všemi směry jako od skutečného zdroje seismické energie.

Při každém seismickém měření jsou spolu s užitečnými vlnami registrovány i jiné vlny, které zhoršují čitelnost výsledného signálu. Mezi ně patří hlavně vlny způsobené vícenásobným odrazem od rozhraní a povrchové vlny (například Rayleighovy vlny), které tvoří šum a zhoršují čitelnost záznamu. Příklad 2D seismogramu s vyznačenými typy seismických vln je uveden na obr. 7.

Jako seismický záznam, tzv. seismogram, se obvykle označuje skupina seismických stop zaznamenaných při dané konkrétní poloze seismického zdroje. Příchody jednotlivých vln (například odrazy od hledaných vrstev) se na seismickém záznamu zobrazí jako seismické impulsy, které jsou postupně registrovány od jedné trasy k další. Souhrny těchto impulsů na sousedních trasách signálu se označují jako osy synfáznosti. Impulsy se stejnou osou synfáznosti se vyznačují stejným tvarem a amplitudou.



Obr. 7 2D seismogram - Fomenko, 2012

5.2 Zpracování seismických záznamů a interpretace časových řezů

V této kapitole jsou využity poznatky z publikací Telegina (2004), Stepanova (2013), Bondareva a Krylatkova (2001), Voskresenskeho (2006), Ampilova (2008), Cidlinského (1990) a Vilhelma (2012). Zpracování seismických dat je proces postupné transformace seismických záznamů získaných během průzkumu do takové podoby, která může být využita ke geologické interpretaci seismických dat. Mezi hlavní cíle zpracování patří zesílení signálů vůči šumu (zvýšení poměru signál/šum), zvýšení rozlišení seismického záznamu, změna umístění jednotlivých prvků za účelem kompenzace prostorového zkreslení. Zpracování je založeno na řešení tzv. obrácené úlohy, která definuje elastické změny v geologickém prostředí prostřednictvím seismického záznamu.

Zpracování seismických dat se skládá z řady logicky souvisejících výpočetních kroků. Vymezuje se 4 typy zpracování: preprocessing (předzpracování), standardní (obecné), detailní a zpracování v reálných amplitudách. Úkolem preprocessingu je vstup geometrie a třídění tras podle společného reflexního bodu. Standardní zpracování stejně jako jeho další pokročilejší varianty se realizují ve speciálních centrech geofyzikálních firem vybavených výkonnou výpočetní technikou. Hlavním úkolem zpracování je získat optimalizovaný časový řez (řez s vysokým poměrem signál/šum a kvalitním rozlišením). Detailní zpracování je vlastně

rozšířenou verzí standardního zpracování (obsahuje navíc několik procedur, např. migrace). Zpracování v reálných amplitudách je zaměřeno na získání ze seismogramu jak kvalitativních, tak i kvantitativních seismických atributů umožňujících provádění interpretace dat a konstrukci seismických rozhraní.

Petruniak a Ustenko (2014) ve svém článku uvádí obecný postup zpracování, který byl realizován pomocí počítačového softwaru GeoDepth firmy Paradigm Geophysical:

1. Vstup seismogramů
2. Vstup parametrické informace. Formování databáze profilu a kontrola správného zadání geometrie
3. Zapisování parametrické informace do hlaviček seismogramu
4. Zadání základních statických korekcí
5. Korekce zadaných seismogramů a obnovení amplitud
6. Posouzení hlavních charakteristik vlnového pole
7. Uspořádání stop pro výpočet společného reflexního bodu
8. Doplňující analýza statických korekcí
9. Dekonvoluce primárních záznamů
10. Rychlostní analýza pro součet SRB (3x)
11. Oprava statických korekcí (3x)
12. Konečný součet SRB
13. Dekonvoluce časového řezu SRB
14. Pásmová filtrace
15. Koherentní filtrace
16. Upřesnění rychlostního modelu pro migraci
17. Migrace časového řezu SRB

Postup zpracování obvykle obsahuje více kroků, z nichž se některé mohou několikanásobně opakovat, příkladem jsou statické korekce a dekonvoluce. V následující části práce se budu některými kroky zpracování zabývat podrobněji.

Statické korekce se zavádí za účelem odstranění vlivu povrchových faktorů (např. průběh povrchu terénu, mocnost pokryvu, náhlá změna reliéfu geologického prostředí). Kinematické korekce odstraňují vliv offsetu. Po úspěšném provedení těchto korekcí lze následně provést sumaci stop SRB. Informace potřebné pro zavedení statických korekcí nejsou mnohdy úplné, a proto je třeba zavádění statických korekcí obvykle opakovat (dodatečné statické korekce).

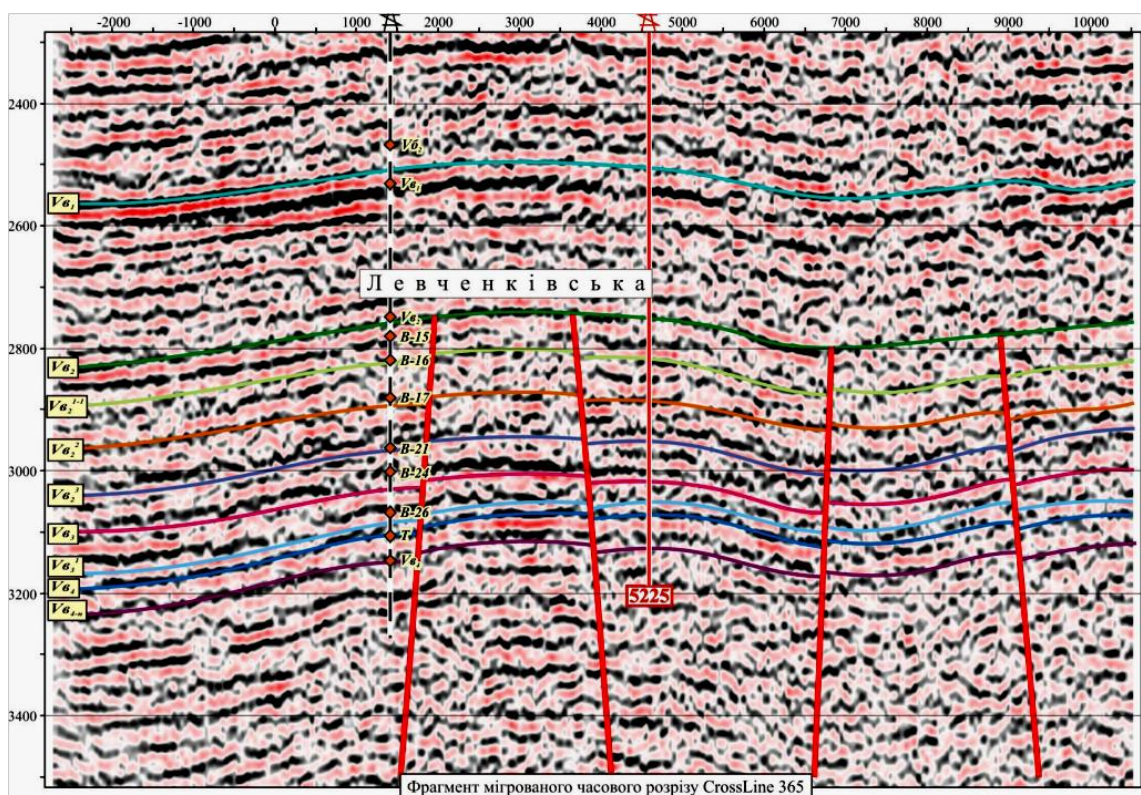
Rychlostní analýza je těsně spjata s kinematickými opravami. Princip analýzy je založen na sumaci jednotlivých stop při zavádění kinematických oprav vypočtených pro různé rychlosti.

Filtrační procesy jsou zaměřeny na zlepšení užitečného obsahu dat. Tím se liší od výše zmíněných procedur, které se specializovaly pouze na úpravu dat jako celku, bez zásahu

do jejich obsahu a podstaty jednotlivých vln. Filtrace potlačuje povrchové vlny a zvýrazňuje tvary jednotlivých vln.

Migrace časového řezu je finální procedurou zpracování dat. Například v práci Vilhelm (2012) je popsána jako proces přesunu reflexních rozhraní do jejich skutečné polohy. Jednotlivé součtové trasy na seismogramu jsou totiž vynášeny po vertikále, což má v případě skloněného rozhraní za následek, že skloněné struktury nejsou zobrazeny ve své skutečné poloze. Například skloněné odrazejší rozhraní se na nemigrovaném řezu jeví méně skloněné, než ve skutečnosti je. Jedná se o důležitou operaci, která rozhoduje o spolehlivé geologické interpretaci.

Výsledkem zpracování je časový řez, jehož příklad je uveden na obr. 8. Jedná se o seismické zobrazení geologického řezu, který je hlavním nástrojem při geologické interpretaci.



Obr. 8 Časový řez geologickým prostředím po dokončení zpracování seismických dat. Barevně jsou vyznačena různá geologická rozhraní, zhruba vertikální červené přímky ukazují místa výskytů diskontinuit - Petuniak a Ustenko, 2012

Uvedené postupy zpracování nevyužívaly informaci o amplitudách odražených vln, a proto byla zavedena metoda zpracování dat v reálných amplitudách, o které jsem se již zmínila v předchozí kapitole. Tato metoda je podle Stepanova (2013) mezníkem mezi zpracováním a interpretací dat, jelikož po něm hned následuje interpretace. Zpracování v reálných amplitudách vyžaduje, aby se v průběhu celého procesu zpracování zachovávaly skutečné amplitudy vln odpovídající způsobu jejich vzniku a šíření prostředím. Při interpretaci pak lze využívat nejenom informaci o časech příchodů jednotlivých odrazů, ale lze hodnotit i jejich amplitudy. K tomu se zavádí pojem tzv. seismického atributu jednotlivých impulsů nebo

seismických tras. V širším slova smyslu se jedná o jakýkoliv parametr získaný z vlnového pole. Trošín a Gestkova (2015) ve svém článku rozděluje seismické atributy do tří skupin: amplitudový, frekvenční a fázový. Množství v současné době používaných atributů dosahuje několika stovek. Ty jsou využívány především pro kvalitativní interpretaci, avšak v případě, že je k dispozici dostačující informace o geologickém prostředí, mohou být použity i pro kvantitativní interpretaci. Jedná se o velice efektivní nástroj geologické interpretace, který zajišťuje řešení složitých aktuálních geologických úloh.

Využití amplitud seismických vln patří ke starším metodám. Například Stepanov (2013) ve své publikaci uvádí ještě jednu metodu kvalitativní interpretace: metodu zářivé skvrny. Metoda zářivé skvrny je zařazena mezi technologie přímé detekce uhlovodíků. V této metodě se analyzují sumované řezy SRB. Amplitudová anomálie „zářivá skvrna“ vzniká od pískovců bohatých na plyn. Naopak „slabá skvrna“ ukazuje na přítomnost porézní horniny, kterou překrývají jílovité břidlice. V praxi se však často aplikuje celá řada dalších postupů, které využívají skutečné amplitudy seismických vln – například AVO analýza (Amplitude Versus Offset).

Ve zpracování pozemní a mořské seismiky existují malé rozdíly. Na moři se musí zpracování potýkat s násobnými odrazy a pulsující plynovou bublinou způsobenou zdrojem seismické energie (airgun). Zavádění statických korekcí je mnohem jednodušší, neboť reliéf mořského dna na rozdíl od pevniny není tak členitý a není vrstva malých rychlostí. Geometrie měření je taktéž jednodušší, jelikož na volném moři je geometrie pravidelná. Zpracování měření pomocí snímačů na dně (OBN) v hlubokých vodách, jak uvádí ve svém článku Kristiansen a kol. (2015), má navíc několik přípravných procedur. První z nich je doplnění přesné polohy snímačů OBN za použití informací prvního nasazení. Další je úprava formy impulsu zdroje (source signature) pro potlačení energie pulsující bubliny.

6 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabývala seismickým průzkumem se zaměřením na vyhledávání ložisek uhlovodíků na moři. Práce stručně pojednává o základní charakteristice uhlovodíků a podává podstatné informace o jejich vzniku a migraci do míst akumulace. Vzhledem k rozsahu bakalářské práce se v kapitole seismický průzkum nejedná o úplný přehled seismických metod, ale pouze o nastínění základů vybraných metod. V dané práci jsem se zaměřila na dvě nejpoužívanější metody pro vyhledávání uhlovodíků na moři – metodu odražených vln a její modifikaci – metodu SRB. Uvedla jsem jejich základní charakteristiku a nastínila výhody jejich použití.

V neposlední řadě je v práci uvedena základní informace o plošném měření (tzv. 3D průzkumu), který je v dnešní době nejaktuálnějším a nejrozšířenějším typem měření. V kapitole Seismická aparatura se stručně věnuji vybraným typům seismického vybavení, definuji části seismického kanálu a v následujících kapitolách uvádím vybrané příklady.

V této práci byly uvedeny dva typy přijímacích zařízení – streamery a přijímače typu OBS. Stále častěji jsou využívána právě přijímací zařízení typu OBS, konkrétně systém OBN. Jeho zásadní výhodou je fakt, že výsledný řez (získaný z naměřených seismických dat) poskytuje vysoké rozlišení, čímž se výrazně snižuje riziko spjaté s neúspěšnými vrty. Další výhodou systému OBN je uživatelská nenáročnost (moduly jsou autonomní, obsahují individuální baterii s dostatečnou dobou nabití). V tom se liší od streamerů a systému OBC. Jako zdroj seismické energie uvádím v práci pouze pneumtický zdroj tzv. airgun a to kvůli tomu, že je nejvíce používán. Dále je nastíněn průběh samotného měření pomocí streameru a systému OBC. Z něj vyplývá, že měření se systémem OBC je několikanásobně náročnější a ekonomicky nákladnější, což je však odůvodněno vysokou kvalitou získaných seismických dat (jedná se o rozhodující faktor ovlivňující úspěšnost následné interpretace řezu).

Kapitola Zpracování a interpretace seismických dat podává jednoduchý a stručný přehled o procedurách zpracování a interpretace seismických záznamů. Zpracování seismických dat získaných na moři se mírně liší od zpracování dat pozemní seismiky. Především je to dáno tím, že mořská seismika se musí potýkat s řadou takových problémů jako jsou násobné odrazy, pulsující zdroj seismické energie atd. Jejich řešení pak vyžaduje individuální přístup a přidání řady procedur navíc.

Podle mého názoru byly vytyčené cíle závěrečné bakalářské práce splněny.

Při přípravě práce jsem pronikla hlouběji do problematiky seismického průzkumu. Poznala jsem, že se jedná o dynamicky se vyvíjející obor, ve kterém pokrok výrazně souvisí se zaváděním nových technologií. V mořské seismice je toho ukázkou například zavádění technologií, které jsou schopny registrovat seismické vlny ve značných hloubkách na dně

oceánu (přijímače OBN). Zajímavým rysem této technologie je její značná přesnost, která umožňuje porovnávat výsledky opakovaných měření a tím kontrolovat samotný postup těžby. Považuji to za zajímavou perspektivu do budoucnosti seismického průzkumu, protože v současnosti se ropa a zemní plyn těží na řadě míst pod hladinou moře.

Použitá literatura

- AMPILOV Y. (2008): From Seismic Interpretation to the Modeling and Estimation of Oil and Gas Fields, Spectr, Moscow, 348 s. ISBN 978-903930-01-2
- AUGUSTA P. (2001): Velká kniha o energii, L.A. Consulting Agency, Praha, 383 s. ISBN 80-238-6578-1.
- BAKIROV E., Jermolkin V., Larin V., Malceva A., Rožkov E. (1990): Geologie ropy a plynu, Геология нефти и газа, Nedra, Moskva, 240 s. ISBN 5-247-00843-X
- BOGANIK N., Gurvič I. (2006): Seismický průzkum, Сейсморазведка, AIS, Tver, 743 s.
- BONDAREV V., Krylatkov S. (2001): Základy zpracování a interpretace seismických dat, Основы обработки интерпретации данных сейсморазведки, Ekaterinburg, 193 s.
- BORISOV S., Plotnikova. (2011): Geologicko-geofyzikální průzkum moře, Геолого-геофизические исследования акваторий, studijní opora, Vysoká škola geologie ropy a plynu, Kazaň, 52 s.
- DAVIES D., Mannaerts H., McGarrity J., Ibram M., McKenzie C., Campbell S., Alexander G., Lozano A., Kommedal J., Barkved O., Van Gestel J-P. (2011): High-density OBC – a step change in reservoir imaging – BP North Sea view. Offshore Europe, Aberdeen, UK, SPE-146144.
- DJAKONOV A., Sokolov B., Burlin Y. (2002): Teoretické základy a metody odhadu, vyhledávání a průzkumy ložisek ropy a plynu, Теоретические основы и методы оценки, разведки и поиска нефти и газа, USTU, Uchta, 327 s. ISBN 5-88179-249-1
- CIDLINSKÝ K., Skopec J. (1990): Seismický průzkum I, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, ISBN 80-7066-323-5
- ČERNOVÁ O. (2008): Základy geologie ropy a plynu, Основы геологии нефти и газа, Polytechnická univerzita Tomsk, Tomsk, 372 s. ISBN 5-98298-347-0
- FOMENKO N. (2012): Kurz lekcí z Geofyziky, Курс лекций учебной дисциплины «ГЕОФИЗИКА», studijní opora, Jižní federální univerzita Rostov-na-Donu, [cit. 2016-07-21]. Dostupné z: <http://www.studfiles.ru/preview/2473940/>
- GAMES K.P., PRETTY A.J., STENNETT I.A., WAKEFIELD N.D., MANN D.S. (2015): High resolution seismic undershooting of platforms – stretching the limits, First Break, vol. 33, No. 3, 39-45
- GULENKO V., RUDAKOV A. (2013): Technology marine 3D seismic surfy with telemetring system «ARAM ARIES II», Geology, Geography and Global Energy, vol. 51, No. 4, 44-51
- GULLARD A.J., WALKER C. (2012): Marine seismic overview, Sercel Customer Support Department
- HATTON L., WORTHINGTON M., MAKIN J. (1986): Seismic data processing theory and practice, Blackwell scientific publications, Oxford, 216 s.
- ISHIYAMA T., PAINTER D., BELAID K. (2010): 3D OBC seismic survey parameters optimization offshore Abu Dhabi, First break, volume 28, No. 11, 40-46
- KHAYN N. J. (2008): Geology, exploration, drilling and production of oil, Olimp-Biznes, 726 s.

- KRISTIANSEN P., DANGLE D., ANDREN E.P., COCKTEIL N. (2015): Deep Water Sparse OBN Surveys – Processing Flow and QC. In: sborník 77th EAGE Conference & Exhibition 2015 IFEMA Madrid, Spain, 1-4 June 2015
- KUZNECOV V. (2004): Základy trojrozměrného (3D) seismického průzkumu, Элементы объемной (3D) сейсморазведки, ОАО Тjumenneftegeofyzika, Тjumen, 271 s.
- LOWRIE W. (2007): Fundamentals of Geophysics. 2nd ed., Cambridge University Press, 381 s. ISBN 978-0-521-67596-3.
- MAVER K.G. (2011): Ocean bottom seismic: strategic technology for the oil industry, First Break, vol. 29, No. 12, 75-80
- MAREŠ S. (1979): Úvod do užité geofyziky, SNTL, Praha, 590 s.
- PETUNIAK V., USTENKO I. (2012): Rational Complex Processing Graph of and Interpretation of Geophysical Information of Pirkivska Field (SP59). In: sborník 74th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2012, Copenhagen, Denmark, 4-7 June 2012
- PETUNIAK V., USTENKO I. (2014): Seismic data processing methodology: southern cutoff part of Dnieper-donets basin case study, Naukovyj visnyk NGU, No. 3, 17-22, ISSN 2071-2227
- POSPÍŠIL L. (2007): Geofyzika a geodynamika, studijní opora, Fakulta stavební VUT, Brno, 109 s.
- STEPANOV V. (2013): Zpracování seismických dat, studijní opora, Ústav geologie a technologie ropy a plynu FU, Kazaň, 24 s.
- TELEGIN A. (2004): Seismický průzkum na moři, Морская сейсморазведка, Geoinformmark, 237 s.
- TELLING R., DENNY S., GRION S., WILLIAMS R.G. (2015): Evaluation of a broadband marine source, First Break, vol. 32, No. 11, 71-77
- TROSHIN O.V., GESTKOVA M.M. (2015): Seismic attributes Application for Hydrocarbons Indicating, an Example from Black Sea, In: sborník 17th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development GEOMODEL 2015, Gelendzhik, Russia, 7-10 september 2015
- VERPACHOVSKAJA A., PILIPENKO V., KOBOLEV V. (2013): Specifika zpracování seismických dat mořské seismiky za použití vlnové migrace metodou konečných diferencí, Особенности обработки морских сейсмических наблюдений с использованием конечно-разностной волновой миграции, Geofyzičeskij žurnal, vol. 5, No. 35, 187-195
- VILHELM, J. (2012): Seismika, studijní opora, PřF UK v Praze
- VOSKRESENSKIJ, N. (2006): Konstrukce seismických řezů, Построение сейсмических изображений, studijní opora, Katedra Ropy a plynu RSU I. Gubkina, 116 s.
- WALKER C., McIntosh S. (2011): Autonorní seismická registrace na moři, Автономная сейсмическая регистрация на море, First Break, vol. 29, No. 12, 1-8
- WALKER C., (2008): Making the case for ocean bottom seismic data?, First Break vol. 26, No. 12, 83-95
- VÁLEK R., GRUNTORÁD J., MATOLÍN M., MAREŠ S., SKOPEC J. (1972): Užitá geofyzika, SNTL, 192 s.
- YILMAZ O. (1987): Seismic data processing, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 526 s.

ZIMÁK, J. (2005): Ložiska nerostných surovin Část 3, skripta, Katedra geologie PřF UP, Olomouc, 39 s.

Seznam obrázků

Obr. 1 Idealizovaný řez ložiskovou pastí v antiklinální struktuře. Vysvětlivky: 1 - nepropustná hornina; 2 - kolektorská hornina; 3 - rozhraní mezi vodou a ropou, mezi ropou a zemním plynem. - Zimák, 2005	10
Obr. 2 Paprsky a hodochrony odražené a přímé vlny, h.v.o – hodochrona odražené vlny, h.v.p – hodochrona přímé vlny - Válek a kol., 1972.....	12
Obr. 3 Schéma realizace čtyřnásobného překrytí: 1–3 společné reflexní body, S – zdroj seismického signálu, G – geofon - Voskresenskij, 2006	13
Obr. 4 Principiální schéma měření pomocí streameru: 1 – průzkumná loď, 2 – navíjecí buben, 3 – tažné lano, 4 – tlumicí úsek, 5 – prázdný úsek, 6 – pracovní úsek o délce 30–100 m obsahující skupinu 20–100 geofonů, 7 – koncový pracovní úsek, 8 – koncové tažné lano, 9 – bóje s reflektorem, 10 – kontrola ponoření (depth controller) - Bondarev a Krylatkov, 2001	16
Obr. 5 Konstrukční schéma pneumatického zdroje seismického signálu (airgun): A – vedlejší komora, B – pohyblivý píst, C – hlavní komora, P – výfukové otvory, S – pneumatická chlopeč - Borisov, 2011.....	19
Obr. 6 Schéma realizace 3D měření s osmi streamery: 1 – průzkumná loď, 2 – deflektor, 3 – zdroj seismického signálu, 4 – streamer, 5 – tažná lana, 6 – stabilizátory hloubky - Bondarev, 2001.....	22
Obr. 7 2D seismogram - Fomenko, 2012.....	25
Obr. 8 Časový řez geologickým prostředím po dokončení zpracování seismických dat. Barevně jsou vyznačena různá geologická rozhraní, zhruba vertikální červené přímkové ukazují místa výskytů diskontinuit - Petuniak a Ustenko, 2012.....	27