

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Синиша Ж. Арсеновић

ПРОСТОРНИ ПОЛОЖАЈ ЛЕЖИШТА
УГЉА ЂУРЂЕВИК: ГЕОФИЗИЧКО-
ГЕОЛОШКИ МОДЕЛ

докторска дисертација

Београд, 2019

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Siniša Ž. Arsenović

THE SPATIAL POSITION OF ĐURĐEVİK
COAL BASEIN: GEOPHYSICAL-
GEOLOGICAL MODEL

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

Ментор:

др Драгана Животић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет;
ужа научна област: Економска геологија;

др Весна Цветков, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет;
ужа научна област: Геофизика;

Чланови Комисије:

др Бранислав Сретеновић, доцент,
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет;
ужа научна област: Геофизика;

др Драгана Ђурић, доцент,
Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет;
ужа научна област: Геофизика;

др Милован Урошевић, ванредни професор,
Curtin University, Faculty of Science and Engineering;
ужа научна област: Геофизика;

Датум одбране:

ЗАХВАЛНОСТ

Захваљујем се свим члановима комисије на указаној стручној помоћи при изради ове докторске дисертације. Посебну захвалност дугујем менторима, проф. др Драгани Животић и проф. др Весни Цветков, које су имале разумевања и стрпљења приликом решавања свих проблема на које смо наишли приликом израде дисертације.

Професору др Миловану Урошевићу захваљујем се на указаном поверењу, стрпљењу и бројним саветима у вишегодишњем дијалогу при изради ове дисертације. Такође се захваљујем доц. др Браниславу Сретеновићу на пруженом знању и несебичном ангажману, као и доц. др Драгани Ђурић на корисним саветима и смерницама током израде дисертације..

Велику захвалност дугујем компанији Tesserel Technologies Inc. која је уступила лиценцу за софтверски пакет неопходан за израду ове докторске дисертације. Такође се захваљујем катедри за геофизику Куртин универзитета у Перту која ми је уступила своје рачунарске и софтверске ресурсе током израде ове дисертације.

Особљу рудника мрког угља "Ђурђевик" захваљујем се на указаној стручној помоћи и подршци приликом прикупљања и интерпретирања података.

Компанији ЦТУ ИПКИН захваљујем се на финансијској подршци приликом израде дисертације.

Највећу захвалност дугујем мојој породици на несебичној помоћи, залагању и указаном поверењу.

ПРОСТОРНИ ПОЛОЖАЈ ЛЕЖИШТА УГЉА ЂУРЂЕВИК: ГЕОФИЗИЧКО-ГЕОЛОШКИ МОДЕЛ

Сажетак

Лежиште угља Ђурђевик представља источни део Бановићког угљеног басена и припада северној страни босанске офиолитске зоне унутрашњих Динарида у чији састав улазе стене палеозојске, мезозојске и кенозојске старости. Језерска доњомиоцenska угљоносна серија изграђена је од лапоровито-глиновитих седимената са једним слојем мрког угља. Дебљина угљеног слоја креће се у интервалу од 5 до 25 m са генералним правцем пружања СЗ - ЈИ и падом према ЈЗ. У зони обухваћеној геофизичким истраживањима изражена је пострудна тектоника у виду раседа мањег и већег скока који директно утичу на континуитет простирања угљене серије. Дубина на којој се налази угљена серија, у оквиру простора који је био захваћен геофизичким истраживањима, креће се у интервалу од 320 m до 350 m од површи терена. Циљ примене геофизичких метода је дефинисање позиције угљене серије у простору тако да је рефлективна сеизмика одабрана као најприменија метода за ово истраживање.

Синтетички модел средине на коме су вршене рачунарске симулације таласног одзива урађен је на основу прогнозног геолошког профила и података истражних и експлоатационих радова. Најпре је модел сачињен у високој резолуцији која је потом деградирана до нивоа на коме је могуће извршити интерпретацију и реконструкцију угљене серије уз минималне аквизиционе ресурсе. Захваљујући добром сеизмичком контрасту између угљене серије и седимената са којима се граничи у повлати и подини, аквизициони систем је успешно поједностављен. Профили су постављени у густој мрежи, тако да је на основу интерпретације 2D пројекција угљене серије уз корелацију са доступним подацима истражно-експлоатационих радова било могуће урадити просторну интерпретацију, као и поуздани 3D модел угљене серије.

Кључне речи: рефлективна сеизмика, 3D геофизичко-геолошки модел, угаљ, синтетички модел, моделирање

Научна област: Геолошко инжењерство

Ужа научна област: Геофизика

УДК: 553.94:550.83(043.3)

THE SPATIAL POSITION OF ĐURĐEVİK COAL BASEIN: GEOPHYSICAL-GEOLOGICAL MODEL

Abstract

Coal deposit Đurđevik represents the eastern part of the Banović coal basin and belongs to the northern side of the Bosnian ophiolite zone of the Inner Dinarides, that consists of the rocks of the Palaeozoic, Mesozoic and Cenozoic age. The Lower Miocene freshwater series consist of marl-clay sediment with one sub-bituminous coal seam. The thickness of the coal seam ranges from 5 to 25 m. The general direction of coal seam is NW-SE while dipping to the SW. Within the zone covered by geophysical research, a post-ore tectonics is expressed as a fault from that directly affects the spreading continuity of the coal series. Within the investigated area, a depth of coal series was estimated in interval of 320 and 350 m. The aim of the application of geophysical methods was to define the spatial position of the coal and the reflective seismic was chosen as the most suitable method for this research.

The synthetic model of the area on which the computer simulations of the wave response were carried out was based on the forecast geological profile and the data of the exploration and exploitation processes. The first model was made in high resolution, which was then degraded to the level at which it is possible to carry out the interpretation and reconstruction of the coal series with minimal acquisition resources. Due to a good seismic contrast between the coal series and the overlying and underlying sediments, the acquisition system has been successfully simplified. The profiles were placed in a dense network so that, based on the interpretation of the 2D projection of the coal series in correlation with the available data of other exploration-exploitation works, it was possible to make a spatial interpretation as well as a reliable 3D model of the coal series.

Keywords: reflective seismic, 3D geophysical-geological model, coal, synthetic model, modeling

Scientific field: Geological engineering

Scientific subfield: Geophysics

UDC: 553.94:550.83(043.3)

Садржај

1.	УВОД.....	1
2.	ОПШТИ ДЕО.....	3
2.1.	Географско-економске карактеристике басена Ђурђевић.....	3
2.2.	Тектонске карактеристике басена.....	5
2.3.	Геолошке карактеристике басена Ђурђевић.....	6
2.3.1.	Палеозоик.....	6
2.3.2.	Мезозоик.....	6
2.3.3.	Кенозоик.....	9
2.4.	Квалитет угља.....	11
2.5.	Инжењерско-геолошке карактеристике басена Ђурђевић.....	13
2.6.	Хидрогеолошке карактеристике басена Ђурђевић.....	15
3.	МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА.....	16
3.1	Моделирање са 2D таласном једначином.....	19
3.2	Израда синтетичког геолошког модела.....	23
3.2.1.	Модел високе резолуције.....	28
3.2.2.	Модел ниже резолуције.....	35
3.3.	Прикупљање података, теренска мерења.....	39
3.4.	Обрада података.....	43
3.4.1.	Аутоматско појачање сигнала.....	45
3.4.2.	Временске корекције.....	46
3.4.3.	Аквизиција методом заједничке средње тачке и стекирање.....	49
3.4.4.	Уређивање трагова.....	54
3.4.5.	Деконволуција.....	54

3.4.6. NMO корекције	59
3.4.7. Анализа брзина	61
3.4.8. Миграција	63
3.5. Креирање геолошко-геофизичког модела и процена потенцијално опасних зона.....	69
4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	71
4.1. Геолошко-геофизички модел.....	71
4.2. Интерпретација раседа	84
4.3. Маркирање потенцијално опасних зона.....	87
5. ЗАКЉУЧАК	93
6. ЛИТЕРАТУРА	96
Додатак 1 - Деконволуција, конвенционални приступ	102
Списак скраћеница	108

1. УВОД

Примена сеизмичке рефлективне методе код истраживања угљених басена и лежишта угљева присутна је у Великој Британији и Западној Немачкој још од седамдесетих година двадесетог века (Ziolkowski, 1979). Један од основних циљева геофизичких истраживања је унапређење сазнања о структурно-геолошким карактеристикама лежишта, која омогућавају ефикаснији процес производње у сложеним монтан-геолошким условима (Clarke, 1976; Walton et al., 2000; Arsenović et al., 2016). Преглед геофизичких метода, значајних при истраживању угљева, објављен је од стране удружења *Society of Exploration Geophysicists* (Buchanan and Jackson 1986). Томас (Thomas, 2013) у својој књизи која третира проблематику геологије угљева, такође, даје приказ примене различитих геофизичких метода код истраживања угљева са примерима из праксе. Рефлективна сеизмика се показала као поуздана метода код истраживања лежишта угљева (Riel, 1965; Ziolkowski and Lerwill, 1979; Palmer, 1987; Hearn, 2004; Zhao and Wu, 2005; Gochioco et al., 2012; Gordon et al., 2012; Zhou et al., 2013; Qianoling et al., 2015), јер пружа довољно валидне податке који заједно са резултатима осталих истражних радовима могу представљати основу за планирање процеса производње (Gochioco, 1990; Lamb et al., 1992; Poole et al., 1995; Pesowski and Larson, 2000; Jingbin et al., 2016).

Рад објављен од стране Walton et al. (2000) представља одличан пример употребе сеизмичких метода за дефинисање угљене серије, где је најпре рађено истражно бушење, затим реверсно сеизмичко профилисање, па је након те методе извршено дефинисање оптималних параметара аквизиције за 2D и 3D сеизмичка истраживања. Применом аквизиционих система високе резолуције дошло се до таласне слике погодне за интерпретацију раседа и раседних система мањег и скока већег од 5 m, на основу чега је извршена просторна интерпретација угљене серије са знацима неопходним за адекватно планирање производње применом ширококочне методе подземне експлоатације. У овом раду је јасно представљена могућност идентификације објеката неправилног облика, у виду раседних система, директним приступом, односно без интерполације, што представља најверодостојнији податак са највећим степеном поузданости за процес интерпретације сеизмичких података.

Примарни задатак рефлективне сеизмике при истраживању угљева односи се на дефинисање елемената простирања раседа и угљених слојева (Harman, 1984; Zhou and Natherly, 2000; Bates et al., 2009; Wu and Hale, 2015). Осим тога, доказано је да подаци добијени рефлективном сеизмиком могу представљати поуздан алат у процени ризика током процеса експлоатације (Hearn, 2004; Natherly et al., 2013), нарочито код издвајања потенцијално опасних зона у којима ће се вршити експлоатација. Подручје лежишта Ђурђевић изабрано је због комплексних структурно-тектонских односа, који представљају добар полигон за тестирање могућности рефлективне сеизмике у комплексним монтаж-геолошким условима.

2. ОПШТИ ДЕО

2.1. Географско-економске карактеристике басена Ђурђевић

Басен мрког угља Бановићи налази се 30 km јужно од Тузле у Босни и Херцеговини (Слика 2.1) и захвата површину од око 65 km². Подељен је на три лежишта угља/мања басена: 1) Ђурђевић, у источном делу, 2) Бановићи, у централном делу и 3) Сеоне, у западном делу басена. Басен мрког угља Ђурђевић је тектонска депресија површине око 15 km², чија дужа оса износи 5,5 km у правцу запад-исток, а краћа 3 km у правцу север-југ.



Слика 2.1 – Прегледна географска карта са положајем басена Ђурђевић
(црвени правоугаоник)

Прва истраживања на простору басена Ђурђевић почела су тридесетих година двадесетог века, а експлоатација је отпочета 1936. године у склопу акционарског друштва "Кроација" из Живиница. Експлоатација је у почетној фази вршена примитивно, о чему говоре и подаци о учинку, где је експлоатацијом у периоду од 1939-1949. године произведено свега 286 640 тона угља. У току Другог светског рата, под Немачком окупацијом, експлоатација једне од стратешких сировина за војну индустрију није обустављана него је извођена са максималним учинком уз примену неадекватне технологије која је оставила катастрофалне последице јер је откопавање вршено путем пречних метода, где је уместо облога према старом раду остављан ступ угља са напретком откопа. Ступови би требало бити вађени приликом повлачења, али до тога није долазило већ је тај угаљ остајао заробљен у рушевинама откопа. Последице таквог приступа биле су катастрофалне и долазило је до честих пожара. Према доступним подацима месечна производња за април 1942. године износила је 11 074 тоне угља. Након окупације долази до стабилизације и врше се инфраструктурна улагања, тако да оптимална производња расте уз примену адекватних технологија откопавања. Рекордна производња 1968. године износи 453 651 тона угља. Циљ дневне производње тежи ка 2000 тона (<http://www.rudnikdjurdjevik.ba>).

Укупна производња у периоду 1951-2017. године износила је 42 688 138 тона угља. Ресурси и резерве угља процењују се на 59 милиона тона (Мешић, 2014), са просечним садржајем: укупне влаге од 10%, пепела 27%, испарљивих материја 34%, укупног сумпора 1,75% и доње топлоте сагоревања 17,6 MJ/kg (на укупну влагу).

2.2. Тектонске карактеристике басена

Ђурђевички басен као и остали миоценски басени припада геотектонској јединици унутрашњих Динарида која је у току мезозоица и касније претрпела снажне тектонске покрете, који су предиспонирали и млађе тектонске покрете, који су довели до поремећаја и млађих наслага, односно угљевите серије.

Угљевита серија је само руптурно деформисана, за разлику од старијих формација које су и руптурно и пликативно деформисане. Најзаступљенији су раседи динарског правца пружања СЗ - ЈИ и ЈЗ - СИ (Слика 2.2). Овде се углавном ради о нормалним раседима са изразитим нагибом серије ка југу.

Покрети који су довели до постанка самог басена, у коме је дошло до стварања продуктивне угљене серије, вероватно припадају штајерској орогеној фази (Мешић, 2014). Први покрети који су деформисали угљену серију вероватно одговарају пиринејској орогеној фази (дислокације динарског правца СЗ - ЈИ и ЈЗ - СИ), док млађи који дали серији оријентацију И - З, вероватно одговарају атичкој орогеној фази. Међу раседима правца И - З најзначајнији је расед који пролази средином продуктивног простора, изломљен је цик - цак на неколико места, а дуж њега је дошло до спуштања северног крила басена у односу на јужно.

У Ђурђевичком басену млађе стене су испресецање раседима, што би се могло приписати орогеним фазама вероватно пост миоценског периода. Међутим, има доста мањих руптура које је тешко оријентисати и одредити којој фази припадају. Током израде јамског ходника у јами Ђурђевик, на малом хоризонталном растојању наилазило се на поремећаје угљеног слоја у дужини од 5 m. На овако малим одстојањима скок износи 1-2 m. Међутим, треба истаћи да има и дужих континуитета (100 m) без поремећаја.

2.3. Геолошке карактеристике басена Ђурђевић

Подручје басена Ђурђевић припада северној страни босанске офиолитске зоне унутрашњих Динарида, у чији састав улазе стене палеозојске, мезозојске и кенозојске старости (Слика 2.2 и 2.3).

2.3.1. Палеозоик

Најстарије стене и палеорељеф басена у северном, западном и јужном ободу Ђурђевићког басена изграђују амфиболити и комплекс ултрабазично-перидотитских стена, вероватно палеозојске (PZ) старости. Положај који данас заузимају резултат је интензивног издизања, нарочито у току алпске орогенезе. Дуж обода као и у зонама већих тектонских линија перидотитске масе су серпентинисане. Горњепермски битуминозни кречњаци и шкриљци јављају се дуж јужног обода басена.

2.3.2. Мезозоик

Мезозоик (MZ) је представљен стенама тријаске и јурске старости.

Тријас (Т)



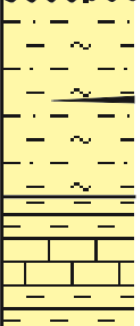
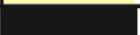
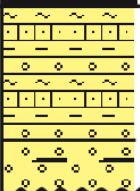


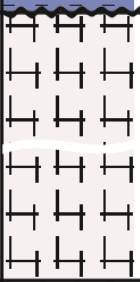
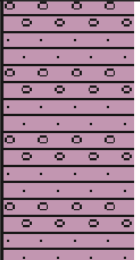
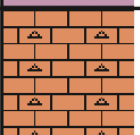
На ширем подручју басена развијен је комплетан тријас. Доњи тријас представљен је белим, пешчарима, кварцитима и кварцним конгломератима, дебљине до 200 m. Ови седименти изграђују југозападни обод басена. Творевине средњег и горњег тријаса развијене су у јужном ободном делу басена, а изграђене су од кречњака, кречњака са рожнацима, местимично од чистих рожнаца, дебљине 800 до 1000 m. Леже трансгресивно преко старијих стена, док је у долини Оскове ова серија навучена преко јурске формације.



Слика 2.2 – Прегледна геолошка карта шире околине басена Ђурђевиќ (према ОГК СФРЈ лист Тузла)

Јура (Ј)

Јури припада врло хетерогена серија глинаџа, пешчара, рожнаџа са изливима спилита, ређе дијабаза и "пилоу лава". За ову серију је прихваћен термин "вулканогено - седиментна формација", а палеонтолошки је утврђено да је јурске старости.

Старост		Литологија	Дебљина (m)	Опис	
КЕНОЗОИК	КВАРТАР	 Q	20-30	Шљунак, песак	
	ПЛИОЦЕН	 P1	20-30	Шљунак, песак, алеврит, глина	
	МИОЦЕН	Доњи, средњи	 M _{1,2}	150-200	Глиновити и песковити лапорци са танким прослојцима угља
				60-180	Лапоровити кречњаци и лапорци
		Доњи	 M ₁	5-25	Главни угљени слој
	Горњи ОЛИГОЦЕН, Доњи МИОЦЕН	 O1 M ₁	80-100	Глинци, пешчари, песковити кречњаци, лапорци и шљункови	
35-40			Шљунак са прослојцима угља		
МЕЗОЗОИК	ЈУРА	 J?	1000	Глинци, пешчари, рожнаци Перидотити, серпентинити, дијабази	
			Доња	 J ₁	50
	ТРИЈАС	Средњи, Горњи	 T _{2,3}	800-1000	Масивни и слојевити кречњаци
				Доњи	 T ₁
	ПАЛЕОЗОИК	ПЕРМ	Горњи	 P ₃	100-200

Слика 2.3 – Геолошки стуб шире околине басена Ђурђевик

2.3.3. Кенозоик

Творевине кенозоика (KZ) трансгресивно леже преко палеозојских и мезозојских седимената, а изграђене су од (Глишић и др., 1990):

1. Језерских седимената горњег олигоцена-доњег миоцена, подина угљеног слоја,
2. Доњемиоценска лапоровито - глиновита серија са угљем,
3. Доње-средње миоценских кровинских седимената,
4. Плоценских седимената и
5. Квартарних седимената.

Укупна дебљина кенозојских седимената износи око 500 m. Лежиште угља и басен Ђурђевић формиран је у плитким језерима, делтним равницама и флувијалним срединама током горњег олигоцена и доњег миоцена.

2.3.3.1. Подина угљеног слоја (O₁₃, M₁)

Подинске слатководне стене, изграђене су од грубог кластичног материјала, конгломерата са танким прослојцима угља, дебљине 35 до 40 m. Навише прелазе у седimente финије гранулације у којима преовладавају пешчари, глине, лапорци лапоровите глине, некад црне, песковите и танко слојевите. Директну подину угљеном слоју чине угљевите глине, црне тракасте, некад песковите. Дебљина ових седимената варира од 80 до 100 m.

2.3.3.2. Угљени слој (M₁)

На простору басена Ђурђевић развијен је један угљени слој и јасно је одвојен од кровинских седимената. Угаљ је црне боје, мрког огреба, стакласте сјајности, и према квалитету припада сјајним мрким угљевима. Дебљина слоја у јама Ђурђевић II се креће од 5 - 25 m, просечно 18 m, са генералним правцем пружања северозапад - југоисток и падом према југозападу. Док је у северном делу Ђурђевићког басена залегање плитко (подручје копова) идући према југу је дубље (подручје јама) па се и нова јама Ђурђевић II планира у дубљим деловима угљеног слоја.

2.3.3.3. Кровина угљеног слоја (M₁₋₂)

Прелазак угљеног слоја у кровинске стене је оштар и јасан. Директну кровину чине тврди лапорци који конкордантно леже на угљеном слоју, дебљине 60 до 80 m. Средњи део кровине карактеристичан је по појавама тракастог лапорца у коме се смењују светле и тамне нијансе, док је виша кровина од лапорца који имају глиновитији карактер и нешто је мекша. Дебљина средњег и вишег дела кровине креће се од 150 до 200 m.

2.3.3.4. Плиоцен (P1)

Плиоценски, алувијални конгломерати и песковито-глиновити седименти, леже трансгресивно преко миоценских седимената, дебљине 20 до 30 m.

2.3.3.5. Квартар (Q)

Квартарни седименти изграђени су од алувијалних конгломерата и песковито-глиновитих седимената, дебљине 20 - 30 m.

2.4. Квалитет угља

У Турђевичком угљеном басену је утврђен један угљени слој просечне дебљине око 18 m. Према квалитету угаљ припада сјајним тврдим мрким угљевима. Дубинским истражним бушењем и картирањем отворених етажа и рударских радова у оквиру угљеног слоја, макроскопски се могу издвојити три целине:

- У подинском делу угљеног слоја преовлађује тракасти, танко слојевити угаљ (кларен) у оквиру кога се уочавају танки прослојци угљевитих лапораца. Виши садржај пепела потврђује присуство неорганских седимената, али и имплицира да је овај део угљеног слоја стваран у зони ритске мочваре, где је долазило до честог колебања воденог стуба и прилива неорганског материјала;
- Централни део угљеног слоја изграђен је претежно од мат компоненти са танким прослојцима сјајних - витренских компоненти угља, што указује да је централни део слоја изграђен од витрокларена. Унутар угља констатовано је присуство танких прослојака лапоровитих пешчара и силификованих угљевитих пешчара. Макроскопски изглед централног дела угљеног слоја указује да је стваран у делу мочваре са нижим воденим стубом тј., на прелазу између зоне ритске и шумске мочваре. Сјајне партије указују на таложење органске материје у зони шумске мочваре, са повременим кратким приливом неорганске материје;
- Горњи, повлатни део угљеног слоја изграђен је од витрена – црног изразито сјајног литотипа, који води порекло од јако гелифицираног дрвенастог ткива. Овај део угљеног слоја стваран је у зони шумске мочваре у којој су доминирали четинари и према квалитету представља његов најквалитетнији део.

Прелаз угљеног слоја у подинске глине је постепен тако да је граница између угља и подине често нејасна. Због слоја ситне дробивости и велике површине отворености и додира са кисеоником из ваздуха подински део угљеног слоја је склон самозапаљењу .

Истовремено са истражним радовима у овом басену вршена су и испитивања квалитета мрког угља. Из истражних јамских бушотина у току експлоатационих истраживања, узимани су узорци угља, који су испитивани у лабораторији рудника Ђурђевић. Просечне вредности параметара квалитета срачунате су на основу свих досадашњих података (стари и нови истражни радови и јамски истражни радови) и приказане у табели 2.1. Угаљ басена Ђурђевић има низак садржај воде, повишен садржај пепела и сумпора, што је последица депоновања органске материје у благо алкалној, редукционој средини. Садржај испарљивих материја је релативно низак, док доња топлота сагоревања одговара мрким угљевима са нешто вишим садржајем пепела. Сепарисани угаљ има бољи квалитет, односно нешто нижи садржај пепела (14,67-15,55%) и вишу доњу топлоту сагоревања (22,56-23,93 MJ/kg) (Мешић, 2014).

Табела 2.1 – Просечне вредности параметара квалитета угља на укупну воду (према Мешић, 2014)

Параметар	Садржај
Вода, %	9,42
Пепео, %	25,77
Испарљиве материје, %	36,47
Сагорљиве материје, %	65,19
C-fix (фиксни угљеник), %	30,93
Кокс, %	54,57
Укупни сумпор, %	2,30
Доња топлота сагоревања, MJ/kg	17,95

2.5. Инжењерско-геолошке карактеристике басена Ђурђевић

Басен Ђурђевић припада равничарском терену са благим нагибом према северу. У том правцу и теку мањи потоци међу којима је нешто већа река Вишња. Завршни седименти су терасно-квартарног карактера са дебелим покривачем обрадивог тла, који у природним условима стоји стабилно. Такву природну равнотежу ремете рударски радови, који широко засецају стене изнад угља. Нарочито широк фронт засецања је у етажним радовима на површинском копу. Осим тога требало би имати на уму да се и одлагањем јаловине стварају нови морфолошки облици на терену. У јамским просторијама се дешавају морфолошке промене услед зарушавања кровинских седимената у простор откопаног угља, док подручје старих јамских радова служи као одлагалиште материјала са копова, повећавајући дебљину масе изнад себе. Све то скупа ремети првобитну природну равнотежу. Тај процес је очекиван и досад је био у границама безбедности за људе и за технолошки процес добијања угља.

Сви јамски рударски радови се обављају у три геолошке средине: подини, угљеном слоју и кровини. За успешно вођење радова урађена су геомеханичка испитивања чији су параметри уграђени у процес општег рада при експлоатацији. Током извођења радова у јами Ђурђевић редовно су вршена испитивања физичко-механичких својстава угља и пратећих седимената (Стевић, 1985; 1988; 1989; Стевић и др, 1989). Геомеханичка испитивања вршена су на пет бушотина. Резултати наведених геомеханичких испитивања су представљени у табели 2.2.

Табела 2.2 – Резултати геомеханичких испитивања (према Мешић, 2014)

Угаљ:	
- Запреминска тежина	14,1 kN/m ³
- Кохезија С	1098 kPa
- Угао унутрашњег трења	32,5 °
- Чврстоћа на савијање	0,607 МПа
Прослојци седимената у доњем делу угљеног слоја:	
- Запреминска тежина	26,2 kN/m ³
- Чврстоћа на савијање	1,905 МПа
- Чврстоћа на притисак	19310 kPa
- Кохезија С	2569 kPa
- Угао унутрашњег трења	36 °
Подинска глина на контакту са угљем:	
- Напон бубрења	88 - 118 kPa
- Сила враћања деформација на 0.	6962 - 9315 kPa

2.6. Хидрогеолошке карактеристике басена Ђурђевић

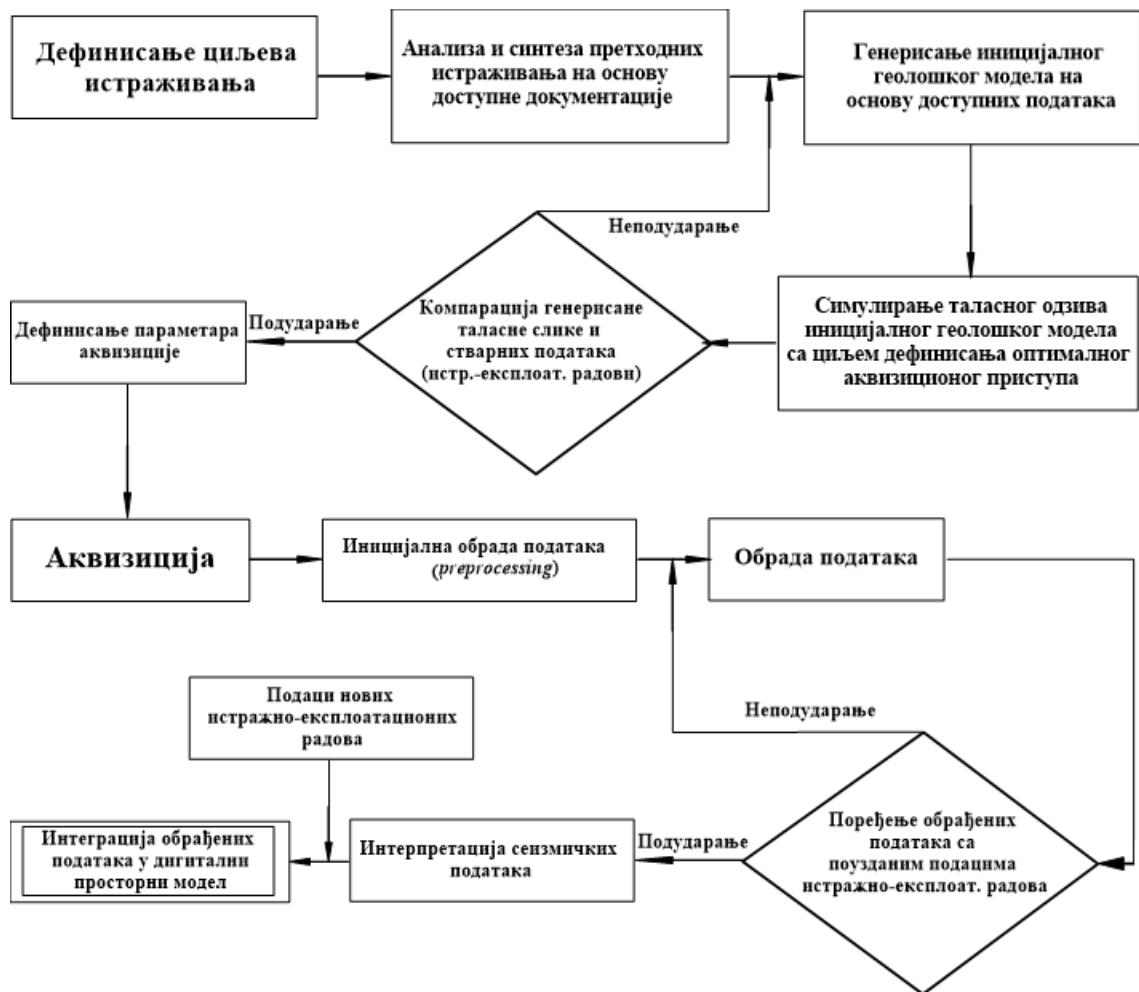
У непо ремећеном стању, кровински седименти преставаљају лоше колекторе подземних вода, а кретање подземних вода са хидрогеолошког аспекта у овој зони не постоји. Међутим, у поремећеном стању долази до знатне промене хидрогеолошких карактеристика кровинских седимената. Након падавина, површинске воде бивају прихваћене путем пукотинских система, каверни, прелина и раседа и вода гравитационо наставља инфилтрацију до водонепропусних средина као и до рударских радова. Тиме долази до инфилтрације већих количина воде у јамске просторије.

Хидрогеолошке карактеристике басена Ђурђевић истраживане су у оквиру студија из 1985. и 1989. године. На основу две хидрогеолошке бушотине са уграђеним пијезометрима прикупљени су базни подаци. Констатовано је кретање подземних вода и евидентиране су каверне различитих димензија, при чему је највећа на дубини од 60 m, са површине терена и пречника је 0,6 m. Након бушења, бушотине су зацевљене и претворене у осматрачке са циљем праћења осцилација нивоа подземних вода. Елаборатом (Marsden, 1993; Masjukov, Murzov, 2013) је представљен утврђени капацитет продора подземних вода са површинског тока Ступница. Укупан доток воде је евидентиран на основу рада пумпи и доказано је да је у директној зависности од интензитета падавина. Ниво је највиши у периоду март - мај а најнижи је у октобру. Максимални доток воде у јами је $4,83 \frac{m^3}{min}$ а минимални је $1,7 \frac{m^3}{min}$. Пијезометри из 1985. и 1989. године тренутно нису у функцији.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Методологија истраживања подразумева мултидисциплинарни приступ у софтверском и реалном окружењу. Методологија подразумева синтезу постојећих података претходних истраживања, дигитализацију аналогних података и позиционирања постојећих информација у ново виртуелно окружење, израду концепта на основу кога ће се прикупити теренски подаци уз оптималан одабир аквизиционог система на основу компјутерских симулација, изградњу тродимензионалног окружења у коме ће се сви нови подаци уз корелацију са претходним истраживањима уврстити у модел високе резолуције и степена поузданости који је погодан за даљу употребу у процесу планирања и извођења истражно-експлоатационих радова.

Истраживачки рад се одвијао по дефинисаном распореду корака шематски приказаном на слици 3.1. Прва фаза подразумевала је дефинисање циљева истраживања у складу са могућностима применљивих геофизичких метода и техника у истраживању угљева. Циљеви истраживања постављени су тако да задовоље принципе научно-истраживачког приступа проблематици, као и да дају драгоцене податке за процес планирања и усмеравања процеса експлоатације угља у оквиру јамских просторија рудника мрког угља "Ђурђевик". Други корак подразумевао је обједињавање постојећих података претходних истраживања у зони истражног простора као и ширем геолошком простору, дигитализацију штампаних карата, података истражних бушења и осталих истражних радова, те форматирање постојећих података и учитавање у одговарајуће виртуелно окружење у коме је вршено моделирање. Трећи корак подразумева израду иницијалног геолошког модела који је коришћен за четврти корак у коме је вршено симулирање таласног одзива са циљем дефинисања оптималног приступа аквизиционом систему.



Слика 3.1 – Алгоритам методологије истраживања у раду

Компјутерске симулације очекиваног таласног одзива геолошке средине вршене су на основу података које је чинила комбинација литературних вредности и стварних података из истражно-експлоатационе фазе. Синтетички модел за циљ је имао представљање могућности реконструкције иницијалног геолошког профила путем два аквизициона приступа. Први је систем високе резолуције који је формирао таласну слику коју је готово могуће директно интерпретирати. Други приступ аквизицији односи се на систем деградираних перформанси који је довољно поуздан за дефинисање основних параметара главног угљеног слоја, уз минималне припремне радове и оптимално коришћење ресурса. Резултати овог поступка представљени су у виду симулиране таласне слике, која је извезена у виду сеизмичке секције и упоређена са познатим вредностима података из истражно-експлоатационе фазе. Постизањем задовољавајућег подударања врши се коначни дизајн мреже профила и одабир параметара за теренска мерења, што чини следећи

корак. Након аквизиције врши се најпре иницијална обрада података (конверзија података у одговарајући формат за обраду сеизмичких података, дефинисање геометрије, сирово уклањање сметњи - лоших канала), а затим и финална обрада података. Обрађени подаци су упоређени са познатим подацима тако да се добије задовољавајућа таласна слика, након чега се врши интерпретација података. Интерпретирани подаци се интегришу у просторни модел у софтверском окружењу и формирају модел угљене серије са свим осталим интерпретираним атрибутима као што су здробљене - катаклазиране зоне и елементи структурно-тектонске интерпретације.

3.1 Моделирање са 2D таласном једначином

Моделирање таласне једначине по FD (*Finite Difference*) принципу моделирања је одабрано као најоптималнији принцип због следећих особина које овај принцип моделирања поседује, а то су:

- једноставна математичка шема;
- могућност једноставне манипулације над брзинама и геометријом аквизиције,
- могућности срачунавања свих стања; и
- способности да се таласно кретање представи са задовољавајућим нивоом комплексности, попут реалног распрострања у стварном окружењу.

Моделирање таласне једначине применом принципа коначних разлика почиње са акустичном таласном једначином:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = C^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) \quad (3.1)$$

Брзина пропацирања C дефинисана је на основу модула еластичности (M) и густине средине (ρ):

$$C^2 = \frac{M}{\rho} \quad (3.2)$$

Поред тога потребно је додати и функцију, попут спајк репрезентације бесконачног фреквентног спектра или неке друге функције (попут тригонометријске, Гаусове или њеног извода). Таласна једначина биће:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = C^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) + C^2 \cdot F \quad (3.3)$$

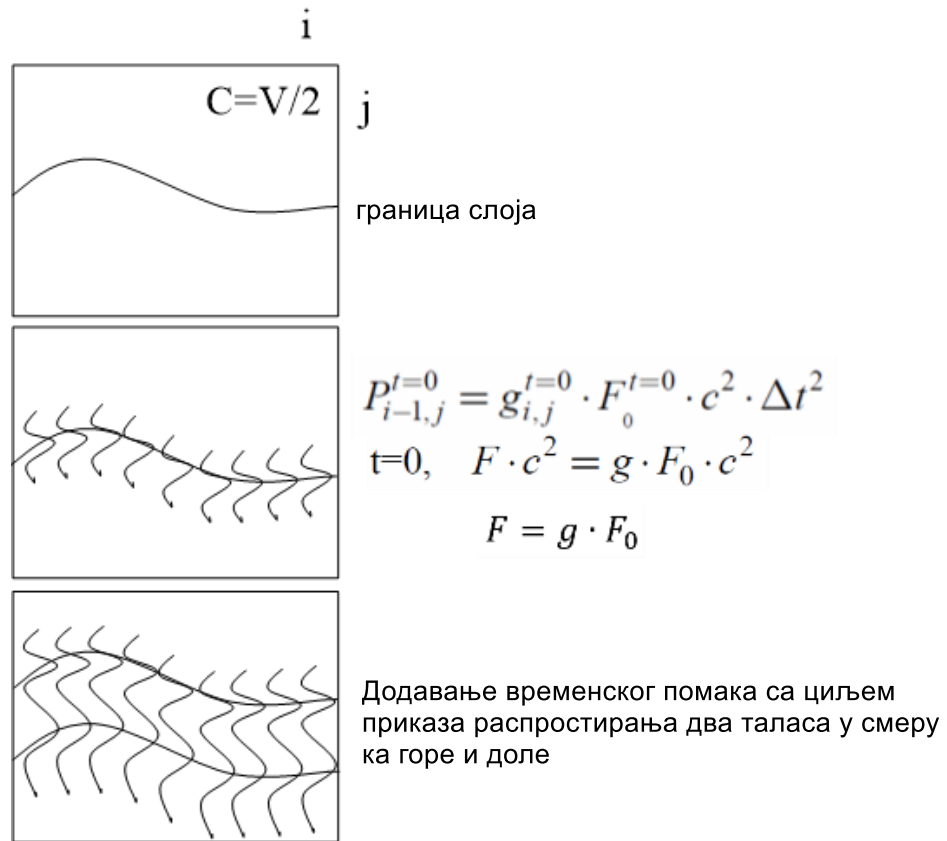
где је: $F(t) = R \cdot (n\Delta t) \cdot e^{-(n\Delta t)^2 \cdot M}$, M и R представљају константе. Иницијални, односно изворни талас се најчешће назива таласић и представља се једноставном функцијом која изражава распоред притисака при генерисању таласа путем извора сеизмичких таласа као што су експлозив или ваздушни топ, где је већина енергије сконцентрисана у почетном периоду (минимална фаза). Обично је то први извод

функције F представљене у једначини 3.3. Представљањем таласне једначине путем FD једначине у којој притисак изражавамо као $P_{(i,j,k)}$, а t је време, биће:

$$\frac{P_{i,j}^{t=-1} - 2 \cdot P_{i,j}^{t=0} + P_{i,j}^{t=1}}{\Delta t^2} = C^2 \left[\frac{P_{i-1,j}^{t=0} - 2 \cdot P_{i,j}^{t=0} + P_{i+1,j}^{t=0}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i-1,j}^{t=0} - 2 \cdot P_{i,j}^{t=0} + P_{i+1,j}^{t=0}}{\Delta z^2} + F_0 \right] \quad (3.4)$$

где се време дефинише као 0 за садашње, -1 за прошло и 1 за будуће.

Моделирање се одвија тако што се, најпре за дефинисану геологију путем функције F дефинише иницијални притисак (Слика 3.2).



Слика 3.2 – Моделирање 2D таласне једначине

Развој једначине са временским инкрементом који почиње од нуле биће:

$$P_{i,j}^{t=1} = 2 \cdot P_{i,j}^{t=0} - P_{i,j}^{t-1} + \frac{C^2 \Delta t^2}{\Delta H^2} [(P_{i-1,j} + P_{i,j-1}) + (P_{i+1,j} + P_{i,j+1}) - (4 \cdot P_{i,j})] + c^2 \cdot \Delta t^2 \cdot F \quad (3.5)$$

Будући да је $\frac{\Delta x^2 \cdot \Delta t^2}{\Delta H^2} = \alpha$ и $c^2 \cdot \Delta t^2 = \beta$, биће

$$P_{i,j}^{t=1} = 2P_{i,j}^{t=0}(1 - \alpha) - P_{i,j}^{t-1} + \alpha(A + B)^{t=0} - 4P_{i,j}^{t=0}\alpha + \beta F \quad (3.6)$$

Будући притисак можемо изразити и као:

$$P_{i,j}^{t=1} = 2P_{i,j}^{t=0}(1 - \alpha) - P_{i,j}^{t-1} + \alpha(A + B) + \beta F \quad (3.7)$$

Алгоритам се одвија у фазама:

- Иницијално: почетна вредност $P_{i,j}^{t=1} = 0$ а $P_{i,j}^{t=0} = g_{i,j}^{t=0} \cdot F_0^{t=0} \cdot C^2 \cdot \Delta t^2$, где је $F_0 = R \cdot \gamma \cdot e^{-M \cdot \gamma}$
- Решавање за вредност $P_{i,j}^{t+1}$
- Дефинисање нових полазних услова:

$$P_{i,j}^{t=0} = P_{i,j}^{t+1}$$

$$P_{i,j}^{t-1} = P_{i,j}^{t=0}$$

$P_{i,j}^{t=0}$ - генерисање снeпшота¹

- Постављање геофона на површину, где ће они забележити:

$$P_{i,j=0}^{t=0} = \text{сеизмичка траса}$$

Програмски се петља одвија у итерацијама од другог корака ка крајњем.

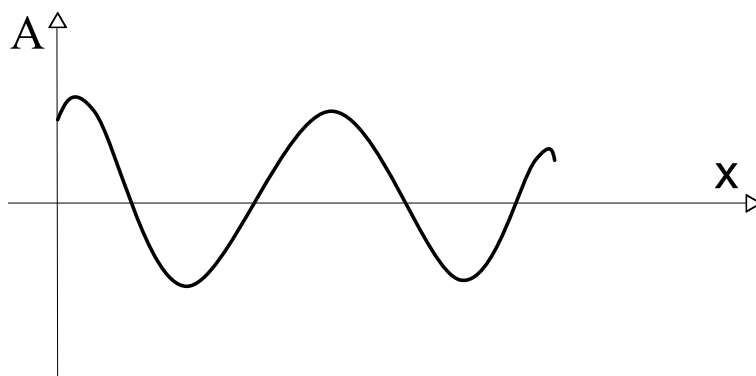
Моделирање је могуће вршити и путем принципа у коме се врши померање фазе. Иницијални сигнал приказан је на слици 3.3, и дефинисан са:

$$y(x) = A \cdot \cos \theta = A \cdot \cos kx, \text{ за нулто време.}$$

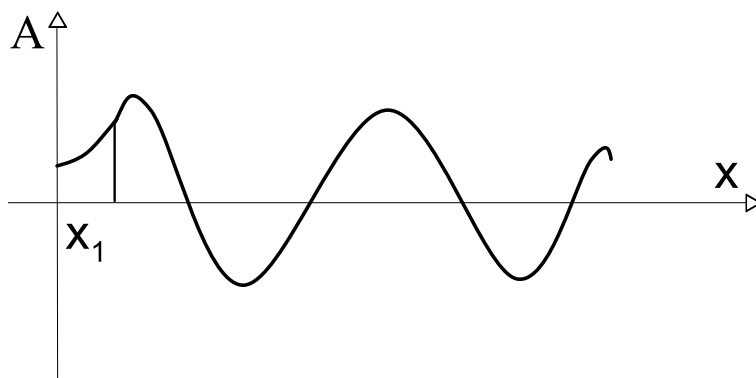
За време са одређеним инкрементом удаљеност коју пропутује талас биће (Слика 3.4):

¹ *Snapshot* – екранизација срачунатих вредности путем компјутерске симулације

$$x_1 = V \cdot t_1$$



Слика 3.3 – Иницијални сигнал



Слика 3.4 – Талас са помереном фазом

Једначина ће попримити облике:

- $y_1 = A \cdot \cos k(x - x_1)$,
- $y_1 = A \cdot \cos k \left(\begin{matrix} x \\ -V \cdot t_1 \end{matrix} \right)$,
- $y_1 = A \cdot \cos(k \cdot x - k \cdot V \cdot t_1)$.

Фазни угао је промењен за:

$$\phi = -h \cdot x_1 = k \cdot V \cdot t_1 \quad (3.8)$$

3.2 Израда синтетичког геолошког модела

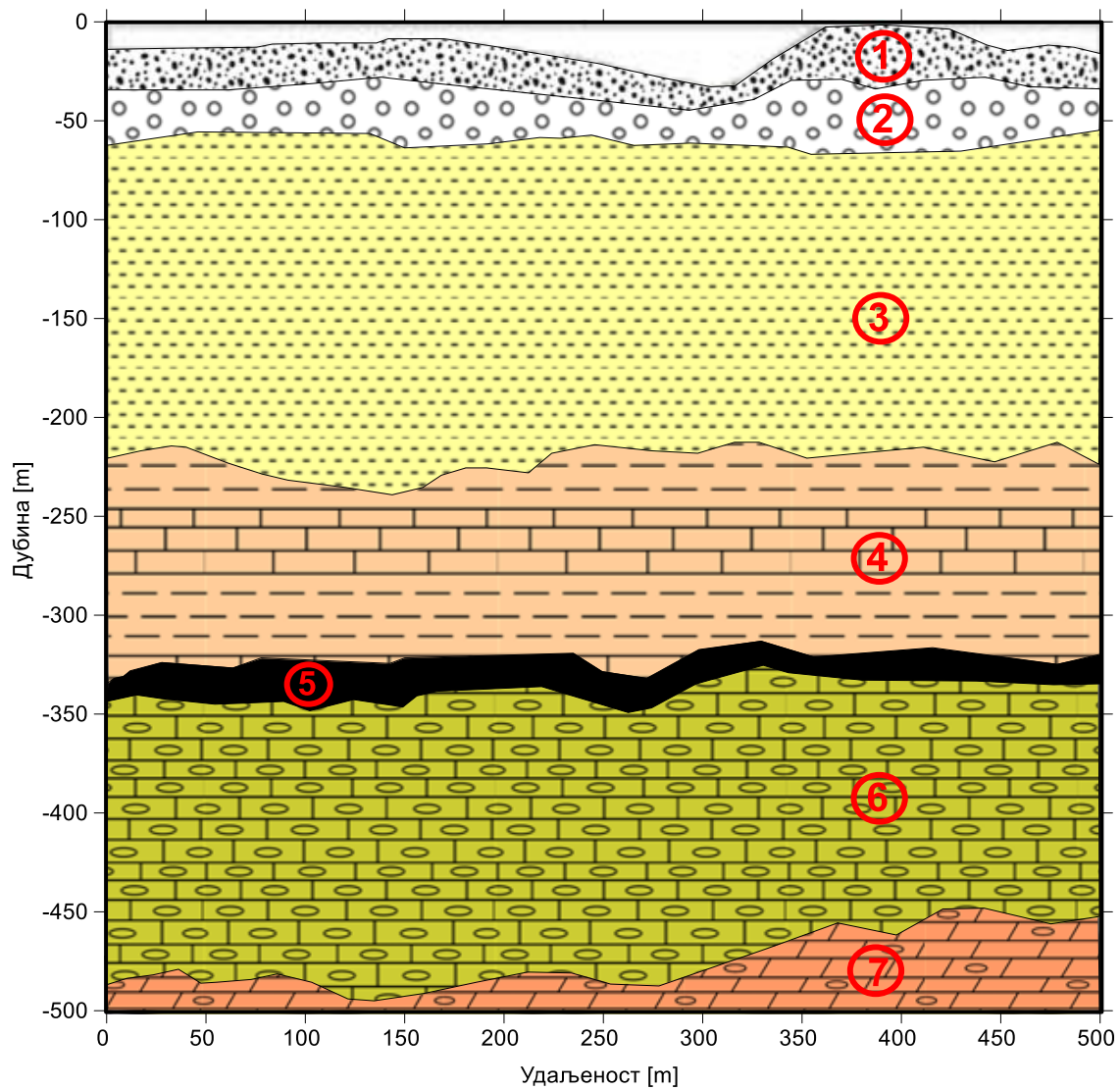
Израда синтетичког модела се заснива на подацима прикупљеним из експлоатације и рефлективно-сеизмичким истраживањима дуж познатог геолошког профила. Модел је узрађен на основу два приступа аквизицији, у домену резолуције и начина спровођења аквизиције:

1. Примена аквизиционог система високе резолуције: снимања са малим геофонским размаком при коме су активни сви канали за сваку позицију извора сеизмичких таласа дуж диспозитива. Сеизмичка траса је у целости покривена пријемницима (геофонима);
2. Други се темељи на поједностављеном аквизиционом систему: са мањим бројем канала, већем геофонском размаку и самим тим мањем нивоу прекривања што доводи до умањене резолуције таласне слике и обима теренских мерења.

Упрошћавање аквизиције вршено је са циљем одређивања минималног нивоа прекривања и резолуције сеизмичке секције која може задовољити потребе поузданог идентификовања геолошких јединица од значаја за овај тип истраживања. Комплексни услови лежишта, изражена тектоника и паркетна структура лежишта, отежавали су идентификацију угљене серије на сеизмичкој секцији. Због изражене топографије пожељна је примена мање робусних аквизиционих система, што представља додатни разлог за оптимизацију аквизиционог система. Упрошћавање аквизиционог система доводи до деградације резолуције и тај процес је прихватљив само у мери која неће довести у питање поузданост података, односно у мери која је доказана као оптимална на основу изведених тестова на синтетичком моделу.

Иста геолошка подлога, односно геолошки профил (Слика 3.5) коришћен је за моделирање у високој резолуцији као и у случају умањене резолуције. Вредности улазних параметара на основу којих је вршено моделирање, дате су у табели 3.1, а приказане су на слици 3.5 и назначене одговарајућом нумерацијом. Одабир вредности сачињен је на основу података претходних истраживања као и литературних вредности (Haneberg, 2014) за дате средине простирања еластичних таласа, са циљем што веродостојнијег опонашања стварног одзива истражног простора. Позиција угљеног слоја позната је на десној страни профила, тако да је

истраживање у овом случају усмерено од познатог ка непознатом. Топографија одговара стварном стању на терену, с тим да је датум профила сведен на нулу из практичних разлога, јер је и симулација аквизиције вршена од нултог времена.



Слика 3.5 – Иницијални геолошки профил коришћен за симулацију таласног одзива (опис катрираних јединица дат је у табели 3.1)

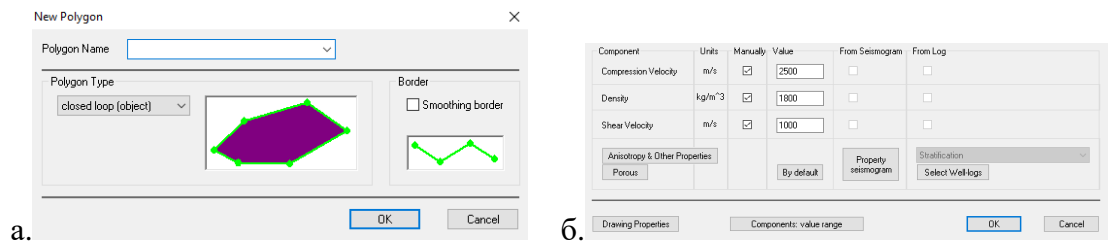
Табела 3.1 – Вредности параметара на основу којих је вршено моделирање

бр.	Слој, опис	V_p [$\frac{m}{s}$]	V_s [$\frac{m}{s}$]	Густина [$\times 10^3 \frac{kg}{m^3}$]
1	Шљунак, песак	500	200	1,3
2	Шљунак, песак, алеврит, глина	550	300	1,4
3	Глиновити и песковити лапорци са танким прослојцима угља	1800	800	1,7
4	Лапоровити кречњаци и лапорци	2800	1500	2,3
5	Главни угљени слој	2200	100	1,3
6	Глинци, пешчари, песковити кречњаци, лапорци и шљункови	300	1600	2,2
7	Шљунак са прослојцима угља	2500	1000	1,8

Моделирање је вршено у софтверском пакету Тесерал про, канадског произвођача *Tesseral Technologies Inc.* Најпре је сачињен модел који је геометријом и карактеристикама одговарао геолошком профилу описаном у поглављу 2 и приказаном на слици 2.3, односно имао је задатак да га опонаша при симулацијама таласног одзива. Као подлога на основу које су дефинисани полигони, односно слојеви за моделирање коришћена је геолошка грађа са познатог геолошког профила која је увезена у софтверски пакет у виду .jrg датотеке.

Процес креирања слоја започињао је дефинисањем параметара полигона, односно нове јединице. Прозор (слика 3.6 а) садржи податке о називу и типу полигона, као и опцију за одабир типа граница полигона на основу кога се врши одабир карактеристика контура полигона, односно да ли ће се применити алгоритам глачања ивица полигона или ће задржати карактер оштрих ивица. Геометрије полигона који може бити дефинисан нашошењем:

- горње и доње слојне границе (*top&bottom*);
- само горње (*top*);
- само доње (*botom*);
- затворене путање (креирање објекта, *closed loop*) и
- линије (*line*).

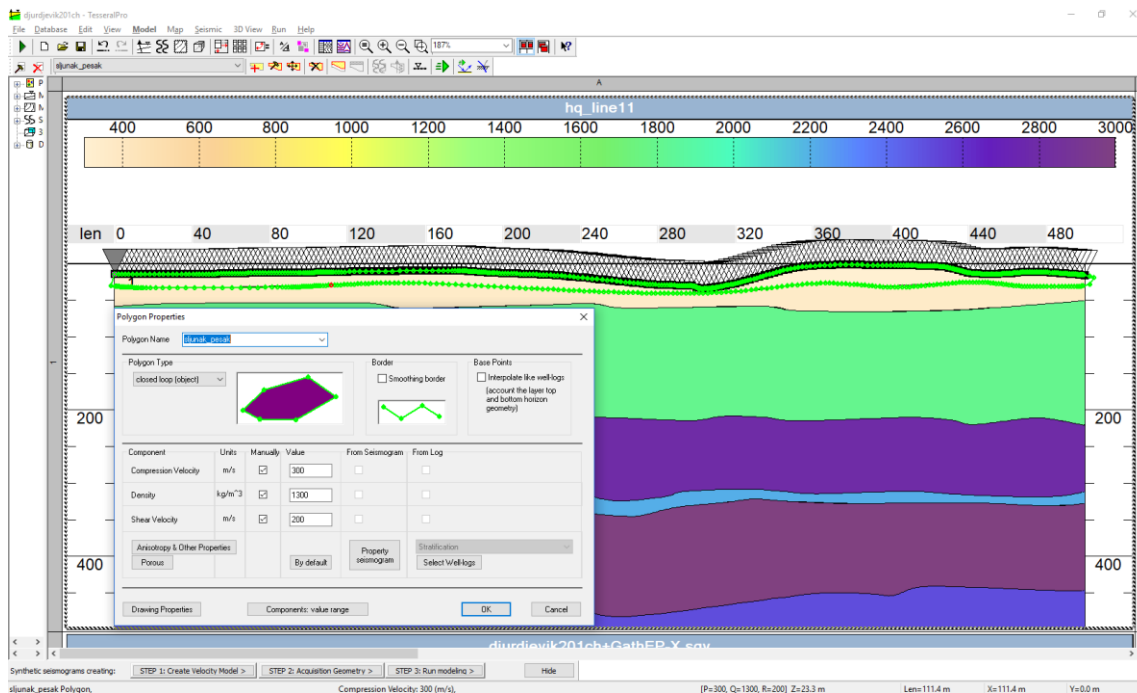


Слика 3.6 – а. Прозор за додавање новог полигона,
 б. дефинисање карактеристика слоја (креираног полигона)

Након дефинисања геометрије полигона, у овом случају је то рађено на готовој подлози, односно дигитализацијом постојећег геолошког профила, дефинисане су карактеристике геолошке јединице у виду еластичних својстава (Слика 3.6 б). Подаци се односе на:

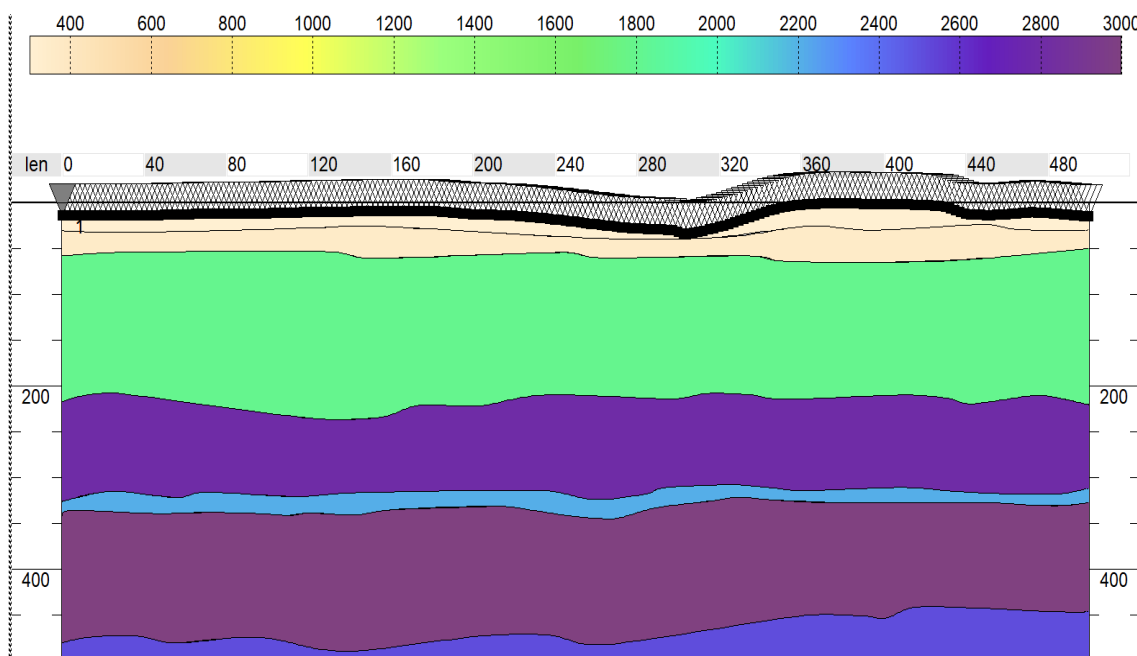
- просечну брзину P таласа у датом слоју, изражену у $\left[\frac{m}{s}\right]$;
- просечну густину датог слоја, изражену у $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$; и
- просечну брзину S таласа у датом слоју, изражену у $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Поред основних података, могуће је било унети и остале карактеристике креираног слоја у виду анизотропије и порозности. Подаци ових вредности, на основу којих је вршено моделовање, приказани су у табели 3.1, а коначан изглед креираног слоја приказан је на слици 3.7.



Слика 3.7 – Креирање слоја и дефинисање карактера креираног слоја

Након што су креирани сви полигони, приступило се одабиру геометрије, односно типа аквизиције који ће бити примењен (Слика 3.8).



Слика 3.8 – Апроксимација геолошког профила за потребе моделирања у софтверском пакету Тесерал Про

3.2.1. Модел високе резолуције

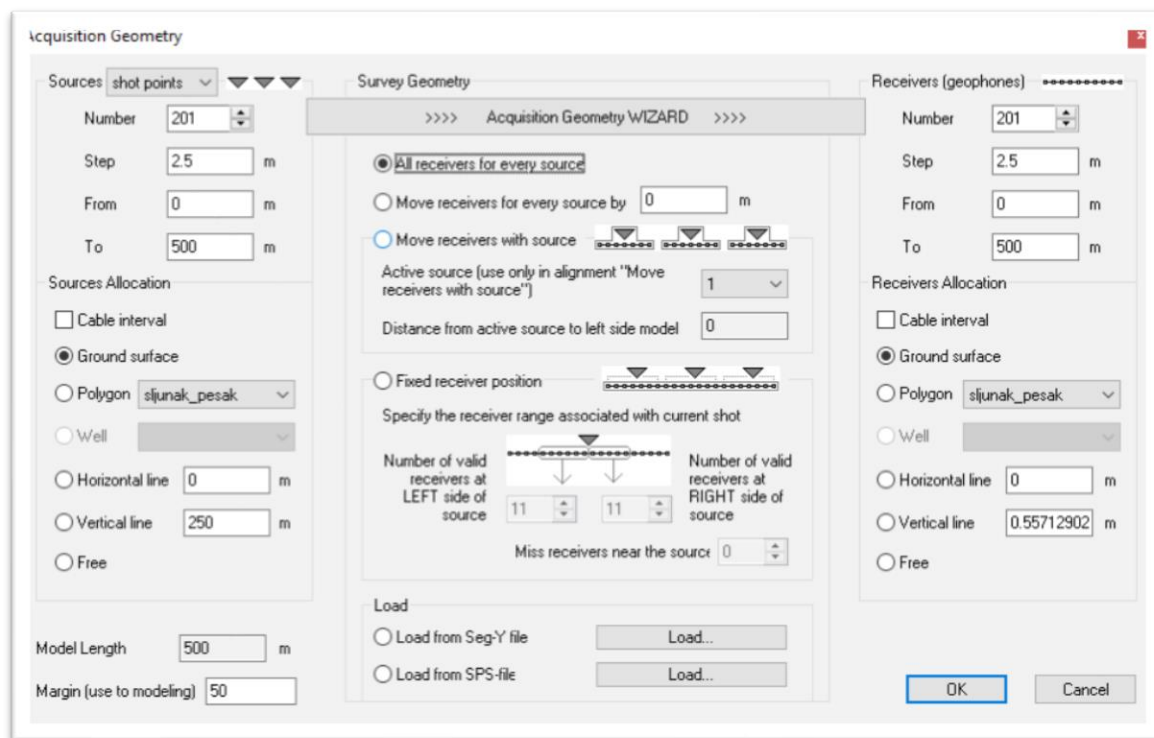
Применом компјутерски генерисаног модела могуће је направити симулације таласних слика са променљивим лежишним условима (геометрија слојева, физичке карактеристике слојева, брзина распрострањања P и S таласа, густина итд.), као и променљивим параметрима аквизиције (геометрија извора и пријемника, број активних пријемника, параметри аквизиције, карактера извора итд.). Приликом израде модела високе резолуције коришћени су параметри моделирања приказани у табели 3.2.

Табела 3.2 – Улазни параметри нумеричког моделирања

Тип моделирања	2D еластични
Број снимака	201
Дужина снимка, узорковање	1000 ms, корак 1 ms
Таласић	60 Hz
Геофонски размак	2,5 m
Укупан број геофона/активно по снимку	201
Позиција првог извора (геофонска позиција)	0 m
Позиција последњег извора	500 m
Корак инкремента извора	2,5 m/1 геофонска позиција

Дефинисање геометрије, на основу које је вршена аквизиција, вршено је у прозору приказаном на слици 3.9. Са леве стране налазе се карактеристике извора, односно позиција извора сеизмичких таласа:

- број - укупан број позиција извора на основу кога се дефинише број снимака у симулацији;
- корак - нумеричка вредност инкремента дуж сеизмичке трасе;
- почетна и крајња позиција у апсолутним координатама - представљају позицију прве и последње позиције извора сеизмичких таласа.



Слика 3.9 – Дефинисање геометрије за потребе симулације аквизиције

Позиционирање извора сеизмичких таласа дефинисано је на основу интервала кабла, површи (горња граница првог полигона) или на основу вредности задатог полигона. У овом случају одабрана је површ тла, односно горња граница првог слоја, јер је то позиција која је касније коришћена у стварним теренским мерењима, без обзира на густину извора и пријемника која се на крају употреби. Након дефинисања позиција извора сеизмичких таласа, извршено је одређивање односа извора и активних пријемника. У случају аквизиције високе резолуције, одабрана је опција да су сви пријемници активни за сваку позицију извора, који се у том случају кретао дуж активне линије. Са десне стране прозора налазе се поља за унос података пријемника:

- број - укупан број пријемника који ће бити коришћени у симулацији, у овом случају број се односи на број позиција пријемника дуж трасе;
- корак инкремента - нумеричка вредност изражена у метрима, представља геофонски размак у стварном аквизиционом окружењу;
- почетна и крајња позиција - позиција првог и последњег пријемника дуж трасе, изражена у метрима (x оса).

Распоред пријемника се дефинише на основу креираних полигона, исто као и позиција извора.

Поред ручног уноса, геометрију аквизиције могуће је сачитати из постојећих "Seg-Y" или "SPS фајлова", што у овом случају није примењено јер је геометрија ручно дефинисана у складу са потребама симулација које имају јасно дефинисане циљеве.

Дефинисање параметара на основу којих је извршена аквизиција одвијало се у три корака. Први корак је подразумевао одабир процедуре моделовања (Слика 3.10 а), који може бити:

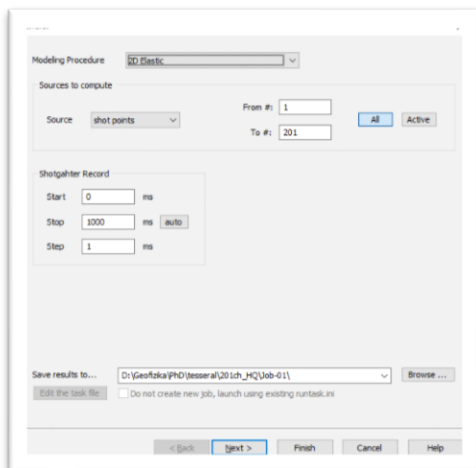
- 2D вертикални дубински захват (*2D vertical incidence*) – користи се при симулацији вертикалног распрострањавања таласа и рефлектовања од хоризонталних рефлектујућих равни – граница слојева. Путем овог типа симулација могуће је брзо срачунати прве наиласке и амплитуде рефлектованих таласа у временском домену путем примене принципа 1D распрострањавања сеизмичке енергије;
- 2D скаларно (*2D Scalar*) – користи се за скаларно моделирање медијума на коме се врши симулација, без варијација унутар слоја. Овај тип моделирања представља најбржи и најједноставнији вид симулирања таласног одзива средине, јер се базира само на брзини распрострањавања лонгитудалних таласа;
- 2D акустични – представља акустично моделирање одзива средине и узима у обзир густину и брзину распрострањавања лонгитудалних таласа. Овај тип моделовања погодан је за средине у којима постоје додатне информације о геолошкој грађи, односно подаци прикупљени директним испитивањима узорака карактеристичних слојева;
- 2D еластични са анизотропијом (*Elastic anisotropic*) – представља дводимензионални анизотропни принцип моделирања и подразумева присуство варијација физичких својстава у хоризонталном и вертикалном смеру. При овом типу моделирања могуће је дефинисати до три система дводимензионално оријентисаних раседних система са различитим оријентацијама;

- 2D вискозно-еластични (*Visco-Elastic*) – представља тип моделирања на основу кога се минимализују утицаји апсорпције сеизмичке енергије у складу са расподелом брзине. Квантитативни параметри морају бити дефинисани од стране корисника, уколико нису дефинисани, овај тип моделирања се понаша као класично еластично 2D моделовање. Предност овог типа моделирања огледа се у могућности симулирања утицаја заводњености слојева на симулацију таласног одзива.

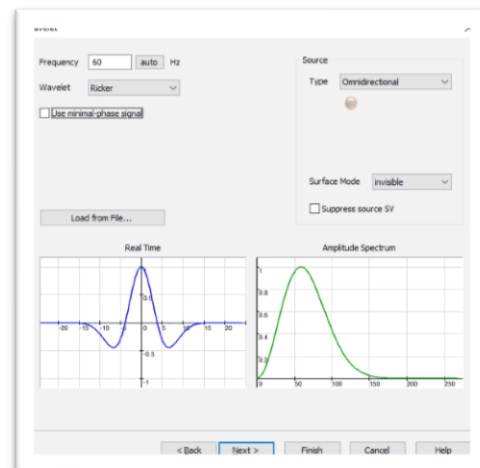
Из наведених карактеристика представљених типова моделовања, јасно се види да је 2D акустично моделовање најприхватљивије у овом случају, односно пружа најоптималнији приступ изради синтетичког модела на основу нивоа доступних података, као и средине која треба бити таласно представљена путем синтетичког модела.

Приликом дефинисања карактеристика сигнала извора потребно је дефинисати фреквентну карактеристику иницијалног таласића (Слика 3.10 б) у виду нумеричке вредности фреквенције изражене у херцима и обликом импулсног таласа. Опција "*Surface mode*" представља одабир усмерености иницијалног таласа. Такође, помоћу ове опције могуће је дефинисати и присуство утицаја површинског слоја.

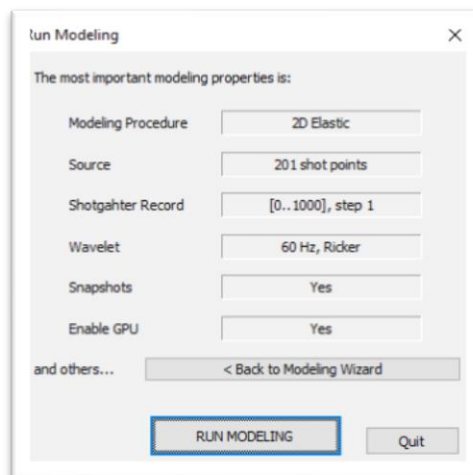
Након ових, базних подешавања моделовања, могу се извести и додатна подешавања у виду густине мреже моделовања (*Grid*), корака дискретизације и густине узроковања снопшотова који се похрањују у виду .tgr фајлова у одговарајућем директоријуму. Густина узорковање снопшотова утиче на каснију могућност приказивања детаља, али и величину употребљених рачунарских ресурса. Такође, могуће је вршити и подешавања која се односе на употребу рачунарских ресурса, који нису детаљно разматрани у овом раду.



а.



б.



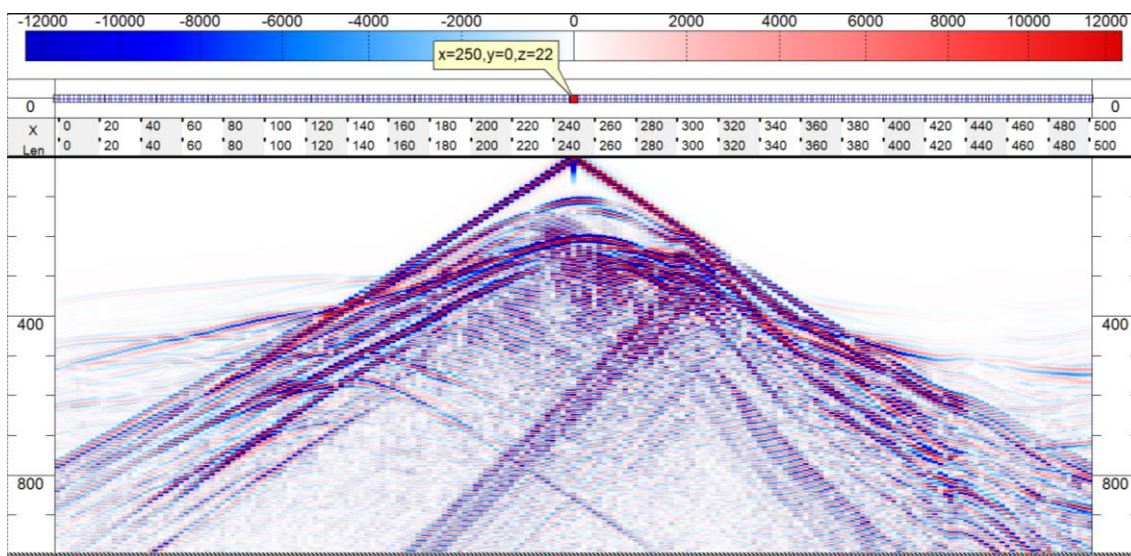
в.

Слика 3.10 - Подешавање параметара симулације таласног одзива задате средине.

а. образац у коме се врши одабир процедуре моделирања, корака извора и постављају се иницијалне поставке снимљеног фајлла, б. подешавање типа таласића и фреквентног опсега, в. синтеза поставки, преглед пред покретање процедуре моделирања

Последњи прозор (Слика 3.10 в) односи се на грубу проверу дефинисаних параметара на основу којих је рачунар извршио симулацију. У зависности од комплексности модела који се симулира као и од расположивих рачунарских ресурса, рачунарска симулација може трајати од неколико минута до неколико дана. У случају симулације високе резолуције, процес је завршен након 20 сати а крајњи модел похрањен је на 44,8 гигабајта складишног простора.

На слици 3.11 приказан је један од сирових снимака на коме се позиција извора налази на средишњој тачки профила, односно извор се налази на 250 m од почетка профила на геофонској позицији. Будући да се радило о симулацији података аквизиције, X – оса представља удаљеност у метрима док је Y временска оса. Генерисани модел састојао се од 201 снимка. Извор сеизмичких таласа креће са позиције првог геофона и са инкрементом геофонске позиције долази до последње геофонске позиције. Параметри аквизиције су наведени у табели 3.2.



Слика 3.11 – Приказ сировог снимка са извором на позицији централне тачке профила. Горње - амплитудни приказ; доле - приказ рефлекса

Имајући у виду да је почето од познатог модела, директним задатком, коначна таласна слика мора извршити адекватну апроксимацију геолошког модела. Кораци обраде података су одабрани тако да коначна таласна слика, у виду стекираних података сеизмичке рефлексије, што боље одговара идеализованом моделу, од кога се кренуло. На основу резултата, кроз интерактиван процес обраде података одабрани су кораци и параметри који нису додатно изобличили таласну слику. Превођење временске у дубинску секцију вршено је путем PSDM²

² *Depth Pre-Stack Kirchhoff Migration (PSDM)* - дубинска Кирхофова миграција пре стекирања

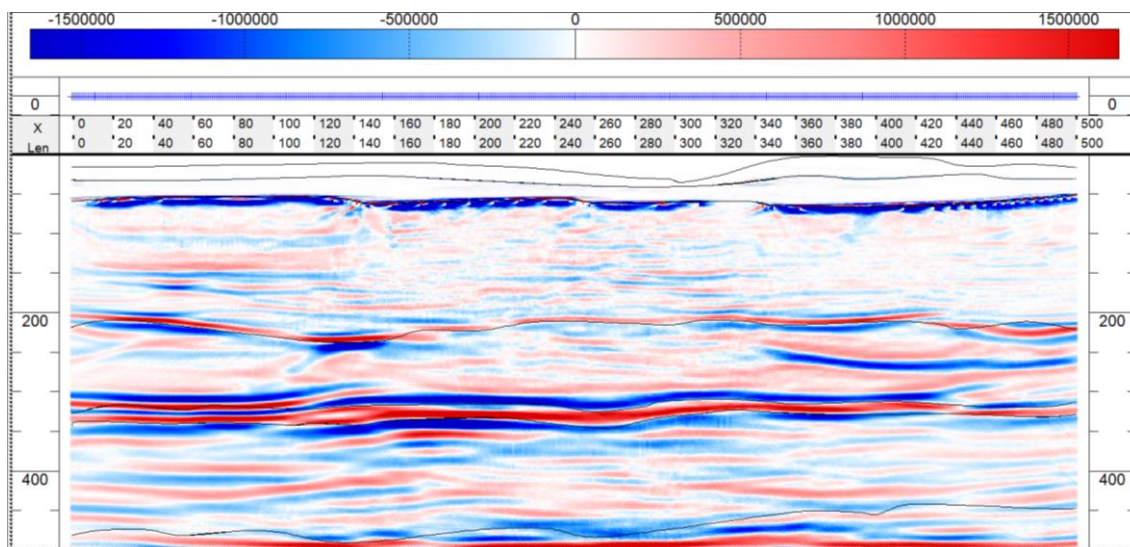
миграције. Да би се применио овај вид миграције било је потребно изградити расподелу просечне вредности брзина у временском домену, што је изведено извозом модела брзина из директно задатог модела креираног на геолошкој подлози. Након извоза, модел је учитан у процедуру миграције (Табела 3.3) и на основу дефинисаног оператора (са границама $0 \text{ s} - 0 \text{ m} - 0 \text{ m}$; $0,6 \text{ s} - 250 \text{ m} - 250 \text{ m}$ за позицију $X = 250 \text{ m}$) дефинисани су улазни параметри за процес миграције сеизмичких податка.

Табела 3.3. - Дефинисање параметара PSDM миграције

Параметар	Од	До
Координате профила, X оса	0 m	500 m
Координате профила, Y оса	0 m	0 m
Излазна секција, граничне вредности	0 m	500 m
Резолуција излазне секције (корак)	1 m	
Коридинате профила, Z оса	0 m	500 m
Резолуција, корак Z осе	1 m	
Временска дискретизација	1 m	
Вредност маргине	50 m	
Градијент	0,5	
Vp/Vs	1,5	

Крајњи резултат, у виду стекиране секције уз примену миграције, приказан је на слици 3.12. Приликом одабира типа моделирања максимално је утишан одзив блископовршинских слојева (слојева мале брзине), тако да је након стекирања коначна секција добила таласну слику на којој нема информација у првих педесетак метара. Прва два слоја су моделирана брзинама блиским брзини звука, тако да су неутралисани путем алгорита инверзије. Геолошки модел са познатим границама (Слика 3.8) подвучен је испод стекиране секције и коришћен је као иницијални модел за рачунарске симулације. У зони главног угљеног слоја јасно је уочен интензиван амплитудни одзив, тако да је и на први поглед било могуће јасно реконструисати угљени слој. Наравно, овде је била реч о директном задатку са свим познатим елементима. Циљ је био да се представи могућност методе,

рефлективне сеизмике, у детерминацији геометрије угљеног слоја у природним условима залегања, са физичко-механичким својствима представљеним у улазним подацима геолошког модела.



Слика 3.12 – Стекирана секција високе резолуције након примене миграције, конвертована из временског у дубински домен

3.2.2. Модел ниже резолуције

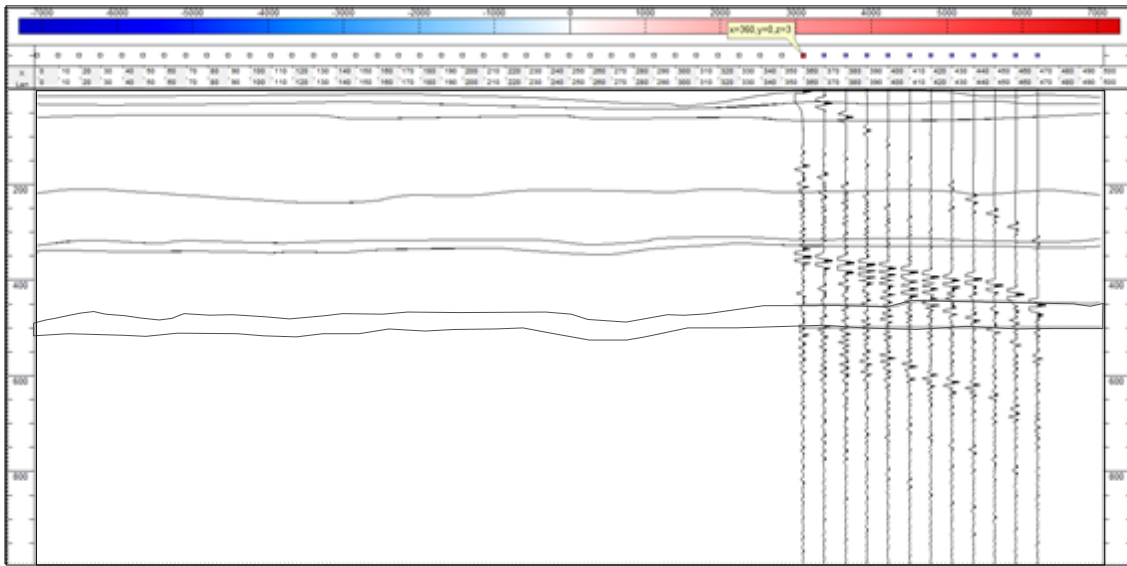
Приликом израде модела ниже резолуције почетни геолошки модел остао је исти, а параметри аквизиције су промењени, тако да се умањује резолуција таласне слике. Геофонски размак је повећан са 2,5 m на 10 m, корак извора је такође повећан, као и геометрија извор-пријемник (у овом случају *offset* износи три геофонске позиције). Највећа деградација односила се на број активних пријемника по снимку, са 201-ног смањен је на 12 активних пријемника. Оваквом, упрошћеном аквизицијом могуће је извести аквизицију са знатно мањим материјалним и временским ресурсима и сам поступак је једноставнији за манипулацију. Наиме, потребан је само један 12 канални сеизмограф, оптимално је 24 канални због могућности примене *roll-along* технике, који знатно убрзава процес аквизиције, јер се са једном поставком апаратуре може снимити 12 позиција "извор/активни пријемници". Параметри аквизиције приказани су у табели 3.4.

Табела 3.4 – Улазни параметри нумеричког моделирања за модел ниже резолуције

Тип моделирања	2D еластични
Број снимака	48
Дужина снимка, узорковање	1000 ms, корак 1 ms
Таласић	60 Hz
Геофонски размак	10 m
Позиција првог геофона	0 m
Последња геофонска позиција	500 m
Укупан број геофона/активно по снимку	12 ³
Геофонски инкремент по снимку	10 m – једна геофонска позиција
Позиција првог извора (геофонска позиција)	-30 m
Позиција последњег извора	470 m
Корак инкремента извора	10 m/1 геофонска позиција

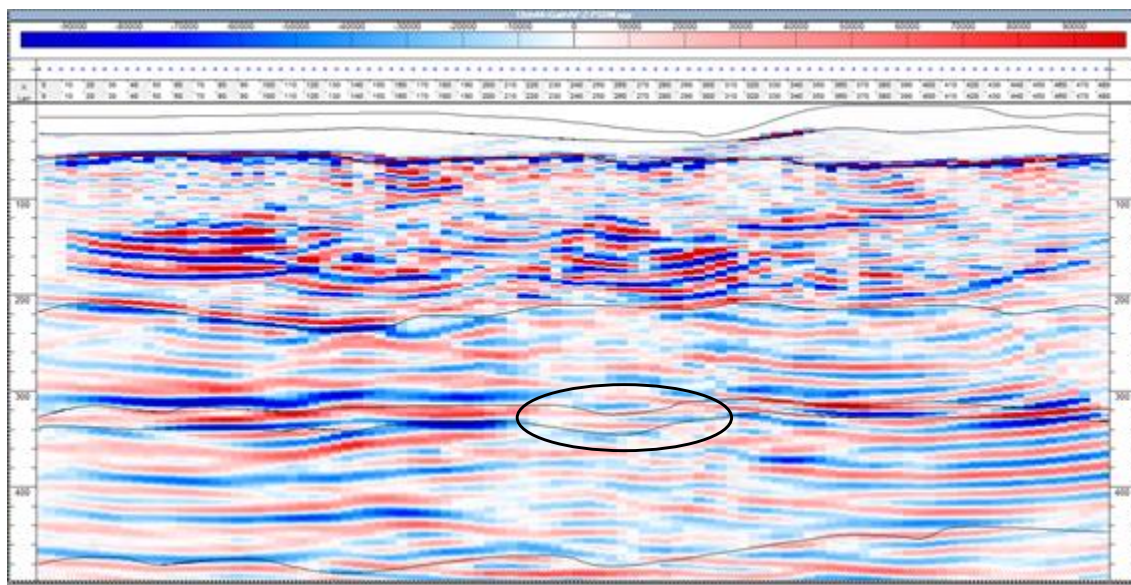
Нумеричке вредности параметара, на основу којих је вршено моделирање, исте су као претходно описане у овом поглављу и приказане у табели 3.1. Једине измене се односе на геометрију аквизиције. Сваки снимак је био дефинисан позицијом извора и позицијама активних пријемника, чији је број константан до дванаест последњих снимака, где се он умањивао за један за сваки наредни да би последњи снимак имао само један траг (крај профила). На слици 3.13 приказан је сирови снимак са аквизиционе позиције где је извор био на позицији 330, а активни геофони су били на позицијама од 360 m до 470 m (на сваких 10 m).

³ 12 канала по снимку је за све снимке до позиције 390 m од које сваки следећи снимак има за један пријемник мање до позиције извора 470 m, због последње геофонске позиције на 500 m ("офсет" је константно 30 m)



Слика 3.13 – Снимак са аквизиционе позиције извора на 330 m, активни геофони су на позицијама од 360 m до 470 m

Након генерисања синтетичког модела сеизмичке секције са задатим параметрима аквизиције примењени су кораци завршне обраде, односно крајња операција над подацима у виду стекирања и миграције, са параметрима прилагођеним промењеној геометрији аквизиције. Стекирани подаци (Слика 3.14) приказују таласну слику знатно слабије резолуције али је и даље могуће извршити реконструкцију почетног модела. Деградираном резолуцијом изгубљена је могућност детаљне реконструкције слојних граница директним оконтуравањем рефлексија са слојних граница угљеног слоја и подинских и кровинских седимената. У средишњем делу сеизмичке секције (Слика 3.14, назначено црним полигоном), у коме се на почетном моделу налази девијација у пружању угљеног слоја, регистрован је губитак сигнала, што отежава директну интерпретацију позиције угљене серије.



Слика 3.14– Стекирана секција ниже резолуције са слојним границама иницијалног модела

На основу извршеног моделирања, полазећи од модела високе резолуције са комплексним поступком аквизиције, преко контролисане деградације резолуције и упрошћавањем система аквизиције (смањењем активних канала, повећавањем геофонског размака и повећавањем размака између извора сеизмичких таласа) дошло се до најједноставнијег поступка аквизиције са излазним подацима задовољавајућег квалитета. Захваљујући добром контрасту сеизмичких атрибута (представљено у табели 3.1) циљаних слојева и слојних граница, овим путем је доказана оправданост употребе једноставнијег система аквизиције, са мањим нивоом прекривања, активних канала, већим геофонским размаком као и већим кораком извора. Имајући у виду да лежишни услови упућују на комплексне и изражене структурно-тектонске односе у непосредној зони истраживања, неопходна је посебна обазривост приликом упрошћавања аквизиционог система. Упрошћавање је дозвољено само до нивоа са кога је могуће извршити детерминацију свих елемената који су важни за интерпретацију елемената угљеног слоја.

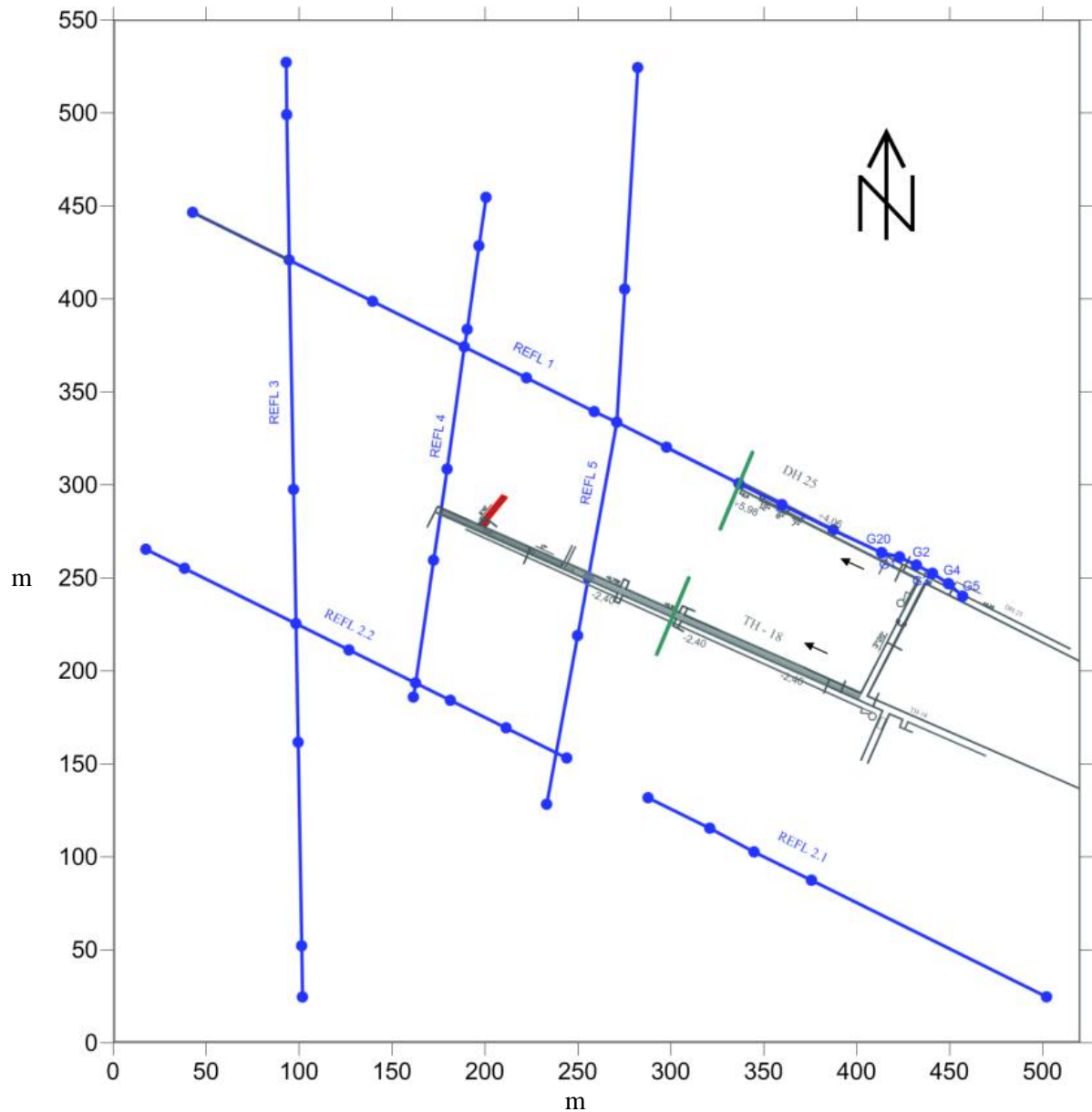
3.3. Прикупљање података, теренска мерења

На основу претходних радњи у софтверском окружењу, дефинисан је оптималан приступ аквизицији, односно одабир параметара аквизиције и саме геометрије сеизмичких траса, које ће послужити као улазни подаци за израду тродимензионалног модела угљеног слоја у зони истражних радова на лежишту Ђурђевичког угљеног басена.

Позиције траса дефинисане су на основу одабира оптималних теренских услова, позиција постојећих истражних радова као корелативних фактора у самом процесу обраде и интерпретације сеизмичких података. Распоред пет траса на којима су изведена теренска мерења приказан је на слици 3.15. Услови на терену, као што су акумулиране воде на површини и непроходног мочварног тла у зони профила РЕФЛ-2 довели су до дељења профила РЕФЛ-2 на два дела. Аквизиција је вршена на пет профила са дужинама:

1. РЕФЛ – 1 : 500m;
2. РЕФЛ – 2.1: 260m и РЕФЛ – 2.2 : 260m;
3. РЕФЛ – 3 : 500m;
4. РЕФЛ – 4 : 260m;
5. РЕФЛ – 5 : 380m.

На карти (слика 3.15) су приказане позиције јамских просторија са назначеним позицијама експлоатационих радова у тренутку извођења теренских мерења (означено зеленом линијом) као и позиције накнадно извршених истражно-експлоатационих радова у складу са интерпретираним подацима.



Слика 3.15 – Распоред профила рефлективне сеизмике са позицијама јамских просторија

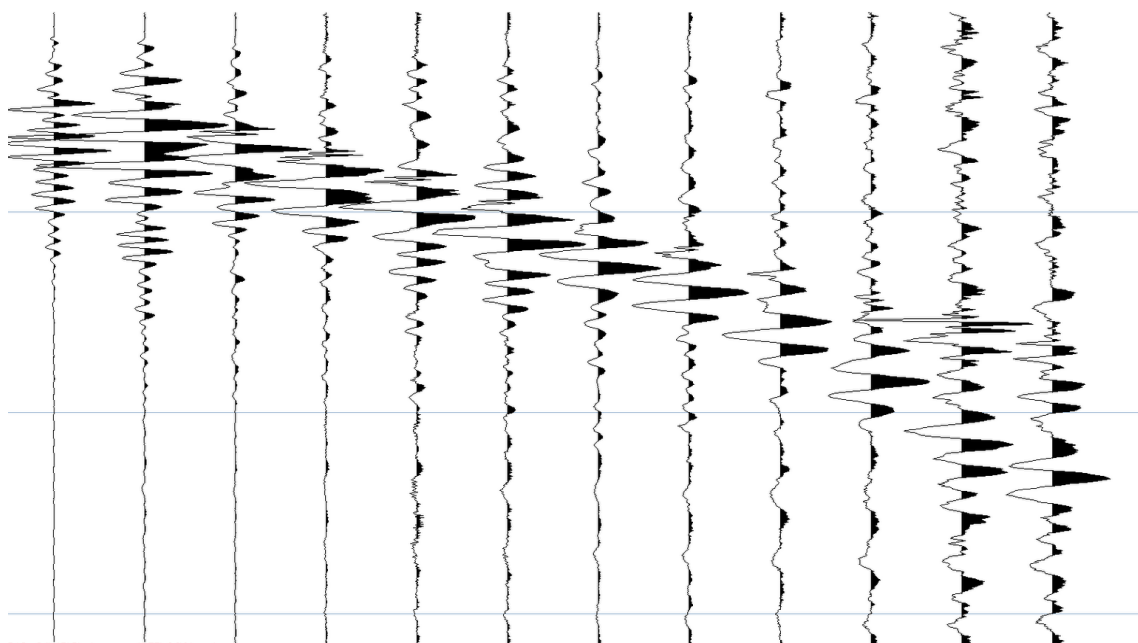
Параметри аквизиције су дефинисани на основу симулација вршених у софтверском окружењу описаном у поглављу (Поглавље 3.2, и приказани су у табели 3.5). Поједностављен приступ аквизицији знатно је убрзао припремне радове који су се односили на прокрчивање траса на ниво пешачке проходности, будући да су делови траса захваћени зоном одлагалишта, која је зарасла. Геодетска мерења, потребна за топографске - статичке корекције (Williamson, 1988; Steples, Miller, 1997; Wang, Rao, 2009; Arsenović et al., 2016) су вршена након спроведене

аквизиције дуж трасираних профила, на основу постављених маркера (нумерисаних кочића) на површини терена за време спровођења аквизиције.

Табела 3.5 – Параметри аквизиције

Извор	Ловачки метак са појачаним барутним пуњењем
Интервал извора	10 m
Број стекова по снимку	1-2
Број активних канала по снимку	12
Фреквенција геофона	28 Hz
Геофонски интервал	10 m
Интервал узорковања	0,5 ms
Дужина снимка	0,8 s

Аквизиција је вршена путем *roll-along* технике (Wang, 1977; Lainiotis et al., 1988; Gülünay, 2017), која представља начин примене рефлективне сеизмике тако што се активни диспозитив помера дуж трасе у виду дефинисаног корака. Аквизиција је вршена 24 каналним Геометриковим сеизмографом (Geometrics geode G24). За достизање циљане дубине истраживања као извор сеизмичких таласа коришћен је ловачки метак (са сачмом) и додатно ојачаним барутним пуњењем. Пуцања су вршена у претходно избушеним рупама, дубине до једног метра. Оваквим извором произведен је иницијални сигнал високе резолуције, а будући да су рупе одговарајуће дубине, знатно је редукован утицај ваздушног удара. Приказ сировог снимка са сеизмичке трасе дат је на слици 3.16. Поређењем стварног снимка и симулираног снимка, са идентичним бројем канала симулације (Слика 3.10), јасно се уочава разлика у виду сметњи случајног карактера присутних на стварном снимку. Сметње случајног карактера су настале као последица сеизмичке сметње присутне у радној средини, будући да се ради у зони одлагалишта где је у раду тешка механизација и сл. Такође, прозор површинских таласа је израженији него на симулираном снимку.



Слика 3.16 – Сиров снимак са дванаест активних канала; први снимак са профила
РЕФЛ - 2.2

3.4. Обрада података

Обрада рефлективно-сеизмичких података подразумева примену математичких операција, које на се основу сврхе могу грубо поделити у три категорије:

1. временске корекције;
2. поспешивање односа сигнал-сметња и
3. инверзно моделирање – инверзија података.

На основу стандардног тока обраде са високом резолуцијом, приказаног у виду алгоритма на слици 3.17, третирани су сви профили. Полазна идеја је да се очува што више информација при обради. Очување наравно, није могуће у потпуности јер нешто сеизмичке буке ипак мора остати. Примењени кораци обраде, попут "спајк" деконволуције⁴ (Thorson, 1984; Mills et al., 1993), филтери различитих нивоа пропустности, као и избегавање употребе више-каналних филтрирања, могу битно појачати користан сигнал и издвојити га од некорисног сигнала (сеизмичке буке). Битан корак обраде представља уклањање слоја мале брзине, односно блиско-површинског дела на секцијама који може интерферирати са сеизмичким одзивом на остатку секције. Тај корак се одвија путем комбиновања рефрактованих таласа (пикираних првих наилазака на сеизмичкој секцији) и резидуалних статичких корекција. У овом случају апсолутна вредност временског кашњења дуж кратког диспозитива је мања од $\frac{1}{2}$ доминантног таласића тако да код статичких корекција можемо усвојити хомогену апроксимацију блиско-површинског слоја уз топографске параметре. Након тих корекција, веома важан корак представљало је одређивање сеизмичких брзина, будући да нису постојале истражне бушотине са површине терена директно у зони профила, па самим тиме нису била доступна ни каротажна мерења на основу којих би се сачинио оптималан сет интервалних брзина за конверзију временске у дубинску секцију. Из поменутог разлога коришћена је техника CVS (Hosken, 1988; Wang, 2015). Очување широког спектра представља кључни фактор одржавања високе резолуције на секцији. Очување фреквентних карактеристика изворног таласића зависи од комплетног

⁴*Spike deconvolution* - техника деконволуције сигнала

спектра, тако да је потребно очувати и ниже фреквенције. У овом случају, где је посматран шири фреквентни опсег, већина сеизмичких догађаја на секцији је у корелацији са "Ricker" (Jianxing et al., 2001) формом таласића и чини да су подаци погоднији за интерпретацију. Нажалост, у овом случају где је механизам аквизиције минимализован постоји низак однос корисног сигнала и буке ($SNR^5 < 1$). Применљиве механизме за смањење ове појаве представља примена "пост-стек" миграције (Gülünay, 2017) и "F-X" деконволуције (Wood, Treitel, 1975; Yilmaz, 2001). Коначна дубинска конверзија изведена је у сагласности са подацима добијених истражно-експлоатационим радовима у непосредној близини сеизмичких профила. Коришћен је поједностављен модел брзина, применљив на целу мрежу укрштених профила, тако да се избегну мимоилажења сеизмичких догађаја у зонама укрштања сеизмичких профила.

⁵ SNR – *Signal to Noise Ratio* - однос корисног сигнала и сеизмичке буке

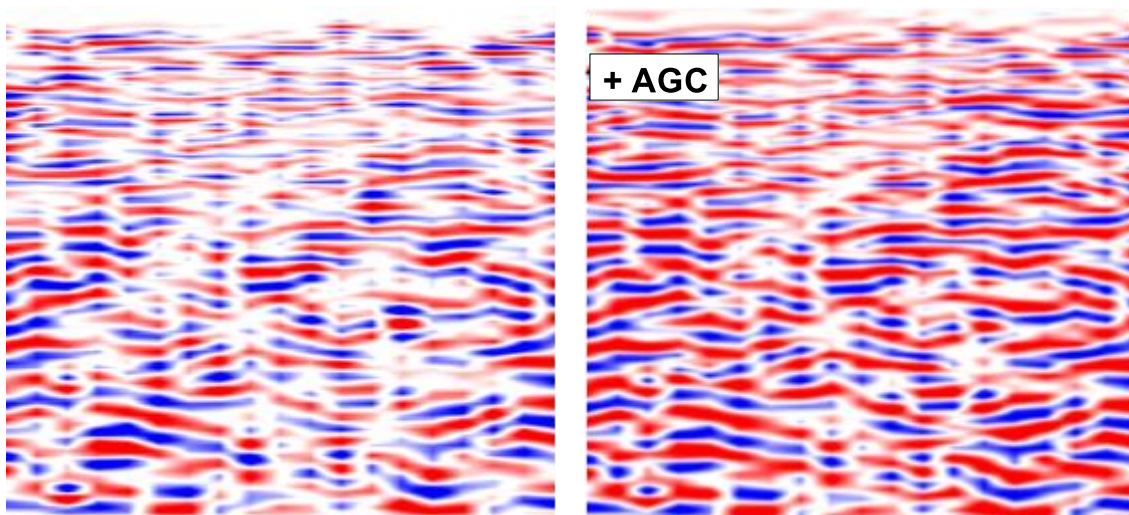


Слика 3.17 – Алгоритам обраде података

3.4.1. Аутоматско појачање сигнала

Аутоматско појачање сигнала (*AGC - Automatic Gain Control*) подразумева нумеричку операцију, којом се као резултат добија истицање амплитуда снимљеног сигнала на основу оригиналног улазног сигнала по аутоматизованом принципу (Wood, Treitel, 1975; Yilmaz, 2001; Chuster, 2017). Ова операција се може применити при самој аквизицији, као и у току обраде податка уколико интензитет амплитуда није на задовољавајућем нивоу. Потребно је бити обазрив при употреби AGC-а, јер се применом аутоматског појачања појачавају сви подаци, као и информације добијене од нежељених извора-сметњи.

На слици 3.18 приказан је пример примене AGC-а на стекирану секцију. Са леве стране је секција пре, а на десној после примене AGC-а. На десној страни уочљиво је повећање амплитуда и учинак AGC-а који за циљ има истицање свих догађаја као и уједначавање регистрација рефлексије. Нумерички параметри на основу којих се врши аутоматско појачање сигнала односе се на дужину оператора и квадратни корен просечне вредности амплитуде.



Слика 3.18 – Примена AGC на стекирану секцију

3.4.2. Временске корекције

При обради података потребно је довести сеизмичке догађаје на одговарајућа места, односно на временске или дубинске позиције које одговарају стварним позицијама граничних равни (Onajite, 2014). Чак и након NMO (*Normal Move Out*) и статичких корекција може доћи до неадекватне временско-дубинске детерминације догађаја на сеизмичким секцијама. Из тог разлога потребно је вршити и додатне, резидуалне статичке корекције које се базирају на кориговању међусобних разлика између трагова (Onajite, 2014; Sheriff, 2002; Yilmaz, 2001).

3.4.2.1. Статичке корекције

Аквизиција је, у највећем делу, вршена на терену са израженом топографијом. Топографски утицај чини фактор који се морао узети у обзир при обради снимљених података. Геометрија снимљених података је коригована тако

да примена свих следећих операција буде релевантна дуж секција. Одступање позиција геофона и извора сеизмичких таласа од јединствене равни коригује се операцијом примене статичких корекција (Сох, 1999). Статичке корекције имају за циљ изједначавање времена путовања сеизмичких таласа кроз средине са малим и великим брзинама, односно отклањање утицаја "слоја мале брзине". Овај корак је од кључног значаја за читав процес обраде рефлективно-сеизмичких података јер временска кашњења услед проласка таласа кроз слој мале брзине могу изобличити рефлектован сигнал и произвести нетачно сумирање приликом стекирања. Ипак, срачунате статичке корекције не могу увек надоместити утицај слоја мале брзине, па је потребно применити и додатна фина подешавања на основу рефлектованих таласа. Уколико се заобиђе овај корак обраде податка не постоји начин да се дође до тачног времена - позиције рефлексије у простору. Разлика у позицији геофона/извора (у било којој равни, највише вертикалној, у правцу осе Z) мора бити нивелисана, а утицај слоја мале брзине у непосредној блиско-површинској зони мора бити неутралисан.

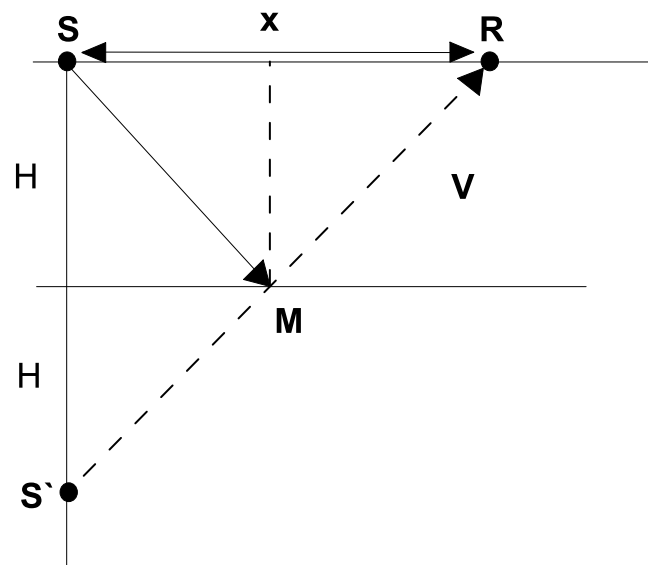
3.4.2.2. Резидуалне статичке корекције

Резидуалне статичке корекције су срачунате на основу регистрованих рефлексија. Процедура којом се примењују резидуалне статичке корекције одвија се тако што се за целу секцију најпре дефинише раван на основу које се рачунају вредности за све позиције извора и пријемника. На основу разлика у временима између извора и пријемника као и *мултипл* рефлекса дефинишу се нумеричке вредности, које се примењују за све остале позиције које су у овом случају у релативној временској зависности. Сви трагови се пореде са генерисаним корелационим трагом који се бира на основу пикираних рефлексија у репрезентативној зони, на претходно стекираној секцији. Након компарације трагова са сваког пријемника, излазни подаци биће благо временски померени у зависности од нивоа корелације са калибрационим сеизмичким трагом. Фреквентни садржај сеизмичке секције се побољшава применом резидуалних статичких корекција а догађаји на секцији су међусобно боље повезани са већим континуитетом приказа (Yilmaz, 2001). Уколико постоји низак ниво прекривања, као што је овде био случај, процедура се састоји од следећих корака:

- Временска корекција рефракованих догађаја употребом линеарне једначине (LMO – *Linear Move Out*) са брзином која одговара брзини слоја са најмањом брзином дефинисане на основу статичких корекција;
- Пикирање хоризонта рефракција и одабирање временског прозора који одговара само рефракованим догађајима;
- Срачунавање резидуалних статичких корекција применом алгоритма израђеног за рефлексију.

3.4.2.3. Динамичке корекције

Динамичке корекције доводе до "равнања" рефлексијске хиперболе са одговарајућом брзином (NMO брзина за мали офсет). Корекција је дефинисана на основу једначине кретања, која је у овом случају приказана за једно-слојну средину хомогене брзинске расподеле (Слика 3.19).



Слика 3.19 – Динамичке корекције

На основу слике 3.19 време путовања таласа се дефинише као:

$$S'R = \sqrt{\frac{x^2}{V^2} + \frac{4 \cdot H^2}{V^2}} = \sqrt{\frac{x^2}{V^2} + T_0^2} = T \quad (3.9)$$

Једначина 3.9 је валидна и за вишеслојне средине уколико су границе између њих хоризонталне. Имплементација корекције се одвија итеративно, исечак за

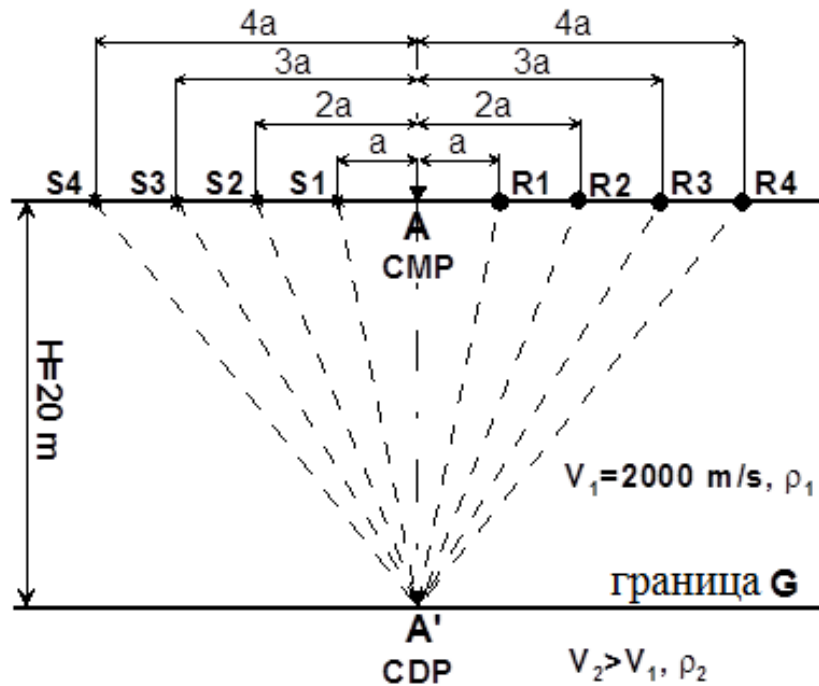
исечком, применом NMO једначине. Пре извођења овог корака неопходно је дефинисати брзине слојева. Најоптималнија брзина биће она која ће у највећој мери довести до изравнавања хиперболе рефлексије, што је могуће дефинисати на основу итеративног приступа анализи сеизмичких брзина које се најчешће анализирају у правилним интервалима дуж сеизмичке трасе.

3.4.3. Аквизиција методом заједничке средње тачке и стекирање

Стекирање представља операцију у којој се више сеизмичких трагова, у зависности од геометрије, која је везана за позицију заједничке тачке у међупростору, збијају у један резултујући, са циљем пригушења утицаја сметњи, а понајвише сметњи случајног карактера (Hung and Yin, 2013). Овим кораком се умањује количина података која се обрађује.

Назив је настао скраћено од *Common Mid Point* из чега се да закључити да је у питању заједничка средња тачке између извора и пријемника. Принцип ове методе најприкладније је објаснити путем идеализованог двослојног модела потповрши са хоризонталном границом, који је приказан на слици 3.20. Тачке извора таласа су означене са S (*Source* – извор), а тачке пријемника осцилација са R (*Receiver* – пријемник).

Ако се извор таласа у почетку налази у тачки S1, а пријемник у тачки R1, онда ће се талас на граници средина (G) рефлектовати у тачку A'. Ако се помакну извор таласа и пријемник у односу на средишњу тачку A за исту дужину "a" само на супротне стране (у тачке S2, односно R2), онда тачка рефлексије опет остаје у A' (јер су граница G, и површина терена хоризонтални), али пут који талас пређе је сада дужи. У овом моменту су занемарена одређена ограничења и увиђа се да тачка рефлексије A' остаје на истом месту за прозивољан број једнаких помака извора и пријемника у односу на средишњу тачку A. Уколико се изведе "n" таквих помака, каже се да је тачка A' прекривена $n \times 100\%$ односно, да је прекривање "n - тоструко".



Слика 3.20 – CMP метода

На слици 3.21 приказани су временски трагови CMP групе са слике 3.20 у односу на удаљеност извор-пријемник, за брзину таласа од $2000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ у првој средини. За случај хоризонталне границе, крива која спаја времена појаве сигнала на CMP траговима има облик хиперболе којој се теме налази у $X=0$. Ово је случај када се извор таласа и пријемник (геофон) налазе на истој тачки. Једначина хиперболе гласи:

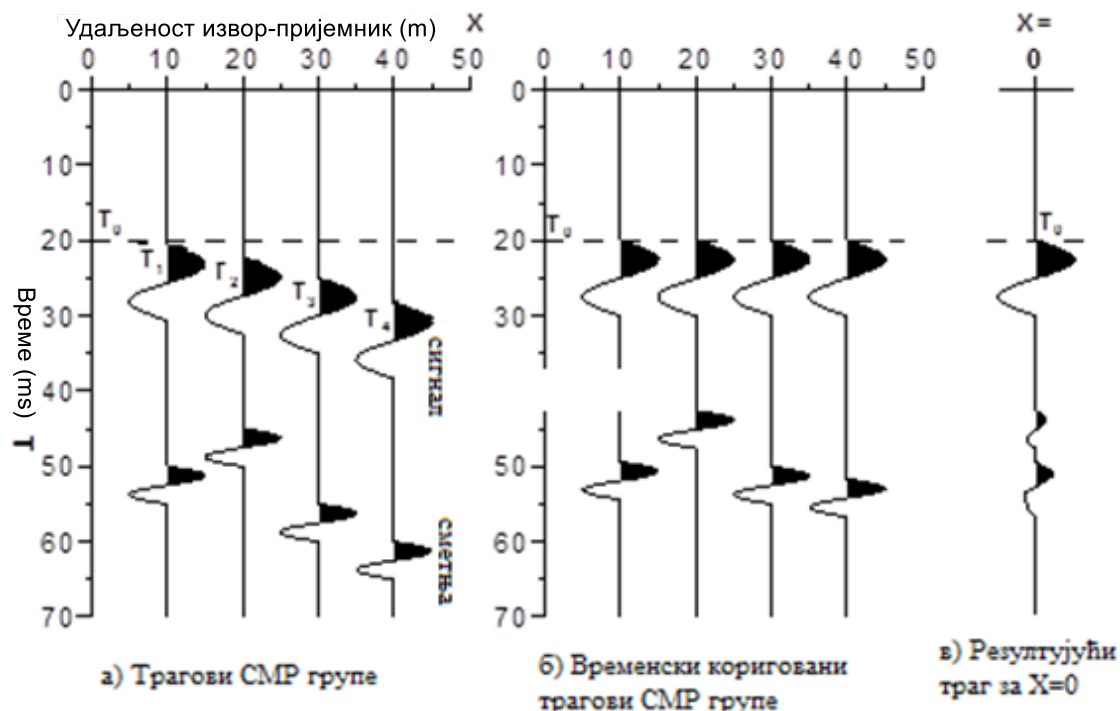
$$T_x^2 = T_0^2 + \frac{X^2}{V^2} \quad (3.10)$$

где је: T_x – време наилаaska рефлектованог таласа на удаљености X од извора

T_0 – време наилаaska рефлектованог таласа за удаљеност $X=0$

X – удаљеност извор-пријемник

V – брзина Р-таласа



Слика 3.21 – Динамичке корекције СМР трагова

Када би се сваки траг на слици 3.21 а) временски кориговао за вредност $\Delta T_x = T_x - T_0$ довео би се на њему сигнал "у фазу" док би сметње (приказане у доњем делу трагова) остале изван фазе (Слика 3.21 б).

Аритметичке средине амплитуда трагова са слике 3.21 б) које се односе на исто време, су:

$$A_T = \frac{(\sum A_i)_T}{n} \quad (3.11)$$

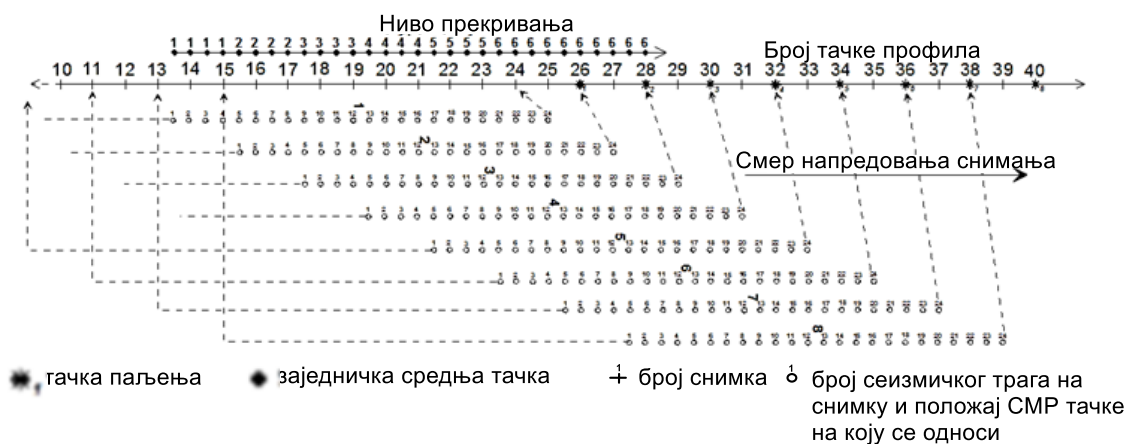
где је: A_T – средња амплитуда у времену T ,

A_i – амплитуда i -тог трага у времену T ,

n – укупан број трагова.

Када се графички прикажу, добија се један траг, као на слици 3.21 в), који се односи на средњу тачку A , односно за удаљеност извор-пријемник $X=0$. На овом трагу је значајно редукована максимална амплитуда сметње у односу на максималну амплитуду сигнала.

Из описаног примера се може закључити да се СМР, односно метода заједничке средишње тачке, примењује у циљу повећања односа корисног сигнала (који даје информације о потповршини) наспрам, увек присутним сметњама. Поступак СМР снимања (аквизиције података) на терену зависи од одабраног нивоа прекривања. Поступак аквизиције представљен је путем примера са 24-каналним сеизмографом са шестоструким прекривањем (прекривање 6. реда). У овом случају могуће је бирати једну од две могућности: 1) сви активни канали или 2) "ролање" (*Roll along*) по геофонском диспозитиву. У првом случају, за сваки снимак се користе сви расположиви канали (24 канала), а тачке паљења постављају се на сваку другу тачку профила (Слика 3.22). Слика се односи на случај када се паљења изводе испред геофонског распореда, гледајући на смер напредовања снимања.



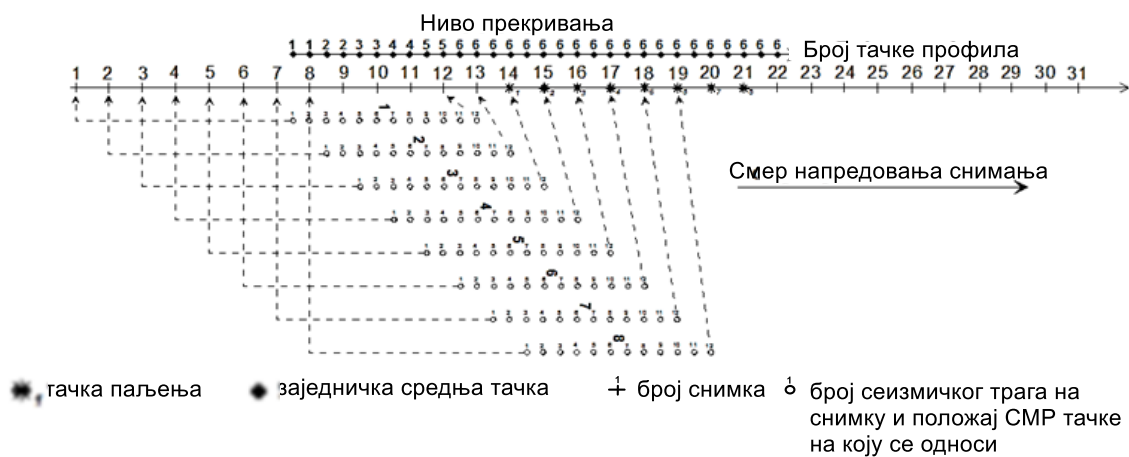
Слика 3.22 – Шема снимања са 24 активна канала, шестоструко прекривање

На првом снимку геофони су постављени на тачке профила од 1 до 24, а тачка паљења на тачки 26 (одабрани офсет износи две геофонске удаљености). За снимак 2, цео распоред се помера за два размака напред, тако да геофони долазе на тачке 3-26, а тачка паљења на 28. тачки и тако редом.

Са слике је уочљиво да се прва средишња тачка између места паљења и првог геофона налази на средини профила, у тачкама 13 и 14. У овој тачки прекривање је свега 1, јер се на њу односи само један сеизмички траг, и то први траг снимка број 1. Прекривање 1 се наставља до тачке 15, па се повећава на 2 до тачке 17, на 3 до тачке 19, да би достигло максималну вредност 6 тек иза тачке 23 и задржава ту вредност све до краја профила.

Укупан број СМР трагова за тачку профила 24 је 6. За овакво снимање пожељно је користити 48-канални сеизмограф или 24-канални сеизмограф уз примену механичког/дигиталног селектора канала (*Switch*). Поред инструмента одређених габарита, потребно је користити и оптималан број каблова (3 кабла са по 12 извода) и 36 геофона, а први кабл са активним геофонима се након тачке паљења премешта на последњу позицију, тако да увек постоје спремна 2 кабла са по 12 геофона (24 канала).

Исти број СМР прекривања се може постићи и на други начин и то тако да се за поједине снимке користи само 12 канала сеизмографа и да се тачке паљења постављају на сваку суседну тачку профила. Такав случај приказан је на слици 3.23.



Слика 3.23 - Шема снимања са 12 активних канала и СМР, шестоструко прекривање

За први снимак геофони су постављени на тачке профила 1-12 и место паљења налази се на тачки 14. Такав распоред се за сваки следећи снимак помиче за један размак па ће на снимку 2 геофони бити на тачкама од 2 до 12 и место паљења помера се на тачку 15, и тако редом дуж профила.

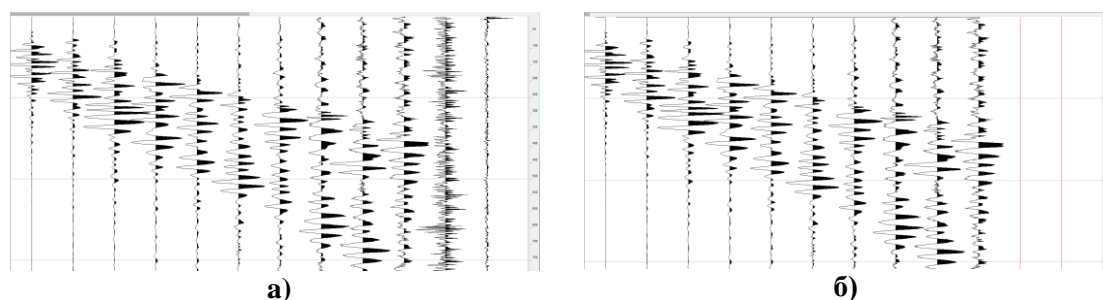
Из практичних разлога, са истим крајњим исходом, позиције извора могу бити и са друге стране геофонског диспозитива. Тај начин је и применљивији у пракси, због употребе кабла за окидач, који се намотава у правцу ролања.

3.4.4. Уређивање трагова

Под уређивањем појединачних трагова подразумевају се операције које се односе на:

- Промену поларитета трага, уколико је дошло до инверзије;
- Анулирање трага, уколико је просечна вредност амплитуде ван дефинисаног опсега;
- Елиминација аномалија које се јављају са знатно увећаним амплитудама.

Уколико је дошло до грешке при аквизицији (геофон није исправан или добро постављен и сл.), сметња регистрована на том каналу пренеће се дуж трасе на различитим просторним позицијама, тако да је потребно препознати лош канал и уклонити га са свих снимака још у раној фази обраде података. На слици 3.24 б) приказан је пример уклањања лошег канала са сировог снимка (Слика 3.24 а) у процесу препроцесинга сеизмичких података.



Слика 3.24 – Уклањање лоших трагова са сеизмичких снимака

3.4.5. Деконволуција

При аквизицији података, извор сеизмичких таласа генерише еластичне таласе који путују кроз тло. Емитовани еластични таласи се брзо пригушују и долази до губитка енергије емитованих таласа при проласку кроз разне слојеве. Такође, долази и до регистрације мноштва мултипла и привидних рефлексија, што у многоме отежава дефинисање са које рефлектујуће равни се бележи одређена регистрација. Збир ових нежељених појава чини сирову секцију која најчешће не одговара стварном стању (Poole et al., 2010). Познато је својство сеизмичких таласа

да се при преношењу (проласку) кроз средину више фреквенције прве пригушују (Yilmaz, 2001). Реактивацијом вишег фреквентног опсега, деконволуција подиже резолуцију сеизмичке секције (Sheriff, 1985; Rafaelsen, 2006).

Сеизмичка траса може да представља интегрални приказ конволуције иницијалног таласића (w) са импулсом средине кроз коју се распростире (i), који је дефинисан путем коефицијента рефлексije (R) који се изражава као:

$$R = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \quad (3.12)$$

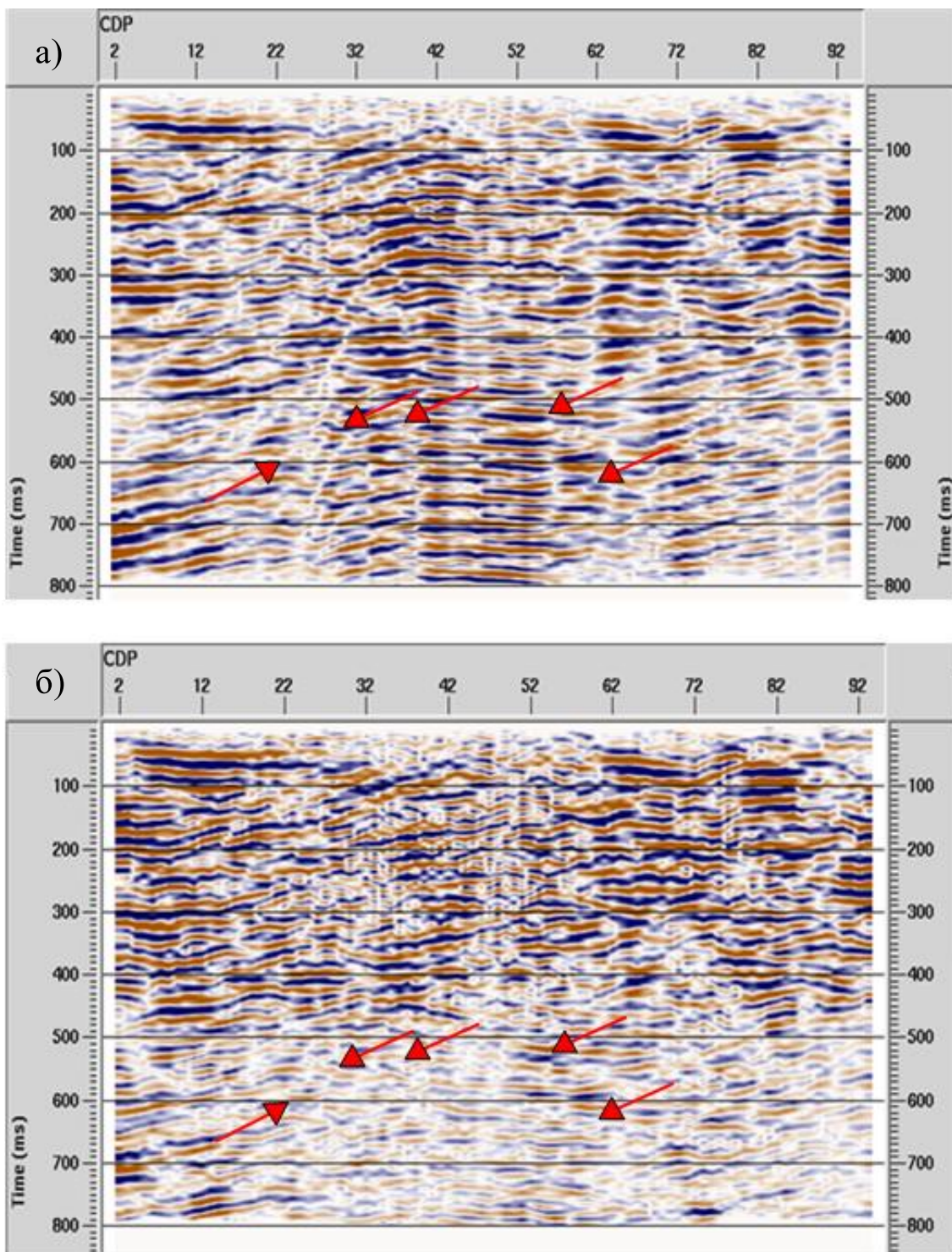
Сеизмичка траса тада представља скуп рефлексивних коефицијената у времену. Примена рефлексивне сеизмике код седиментних стена подразумева функцију са случајним карактером, јер дебљина седиментних слојева најчешће варира од неколико милиметара до неколико центиметара, а са друге стране таласни опсег подразумева константан метарски ниво. Рефлексивну функцију у зависности од домена можемо представити као $R(z)$ – уколико је представљамо дубински или $R(t)$ – уколико је у временском домену. Сеизмичка траса представља резултат конволуције основног (иницијалног таласа) и рефлексивне функције R . Основни конволутивни модел сеизмичке трасе потребно је допунити присуством случајних сметњи $N(t)$, тако да ће бити:

$$S(t) = R(t) * W(t) + N(t) \quad (3.13)$$

Пример примене деконволуције на сеизмичку секцију дат је на слици 3.25. Црвеним стрелицама на слици су назначене карактеристичне позиције на којима је деконволуирана секција пружила очекивани резултат, а процес деконволуције са оператором од 50 ms извршио неопходну неутрализацију предвидљивих рефлексija које су умножене временским инкрементом. Утицај ове рачунске операције посебно је наглашен на већим временима, у овом случају у зони која је од директног значаја за интерпретацију сеизмичких секција у непосредној близини главног угљеног слоја, те је из тог разлога неопходно извођење ове операције. Рефлексивни одзив, у виду регистрованих рефлексija, чини функцију случајног карактера са непредиктивним низом рефлексija. Предиктивном деконволуцијом

могуће је отклонити утицај нежељених рефлексција попут реверберација⁶ и мултипла, које одступају од случајног карактера функције рефлексивности и тиме могу навести на погрешну интерпретацију и замаскирати потенцијалне регистроване "догађаје" на временима изнад прве детекције рефлексције на секцији. Предиктивни приступ се може применити на појединачну сеизмичку трасу (са временским инкрементом) или компаративно између више суседних траса на секцији. Принцип примене је следећи: прво се дефинише предиктивна вредност на основу тренутне вредности функције (тресе), па се са увећањем времена предиктивна вредност пореди са стварном вредношћу, и на основу резултата компарације дефинише се предиктивна грешка (одступање од предиктивне вредности), на основу чега се оставља више простора за нове случајне рефлексције. Умањење утицаја предвидљивих рефлексција мора бити ограничено на разуман ниво, јер у противном ће коначна таласна слика бити превише "испеглана", а самим тим и непоуздана за интерпретацију.

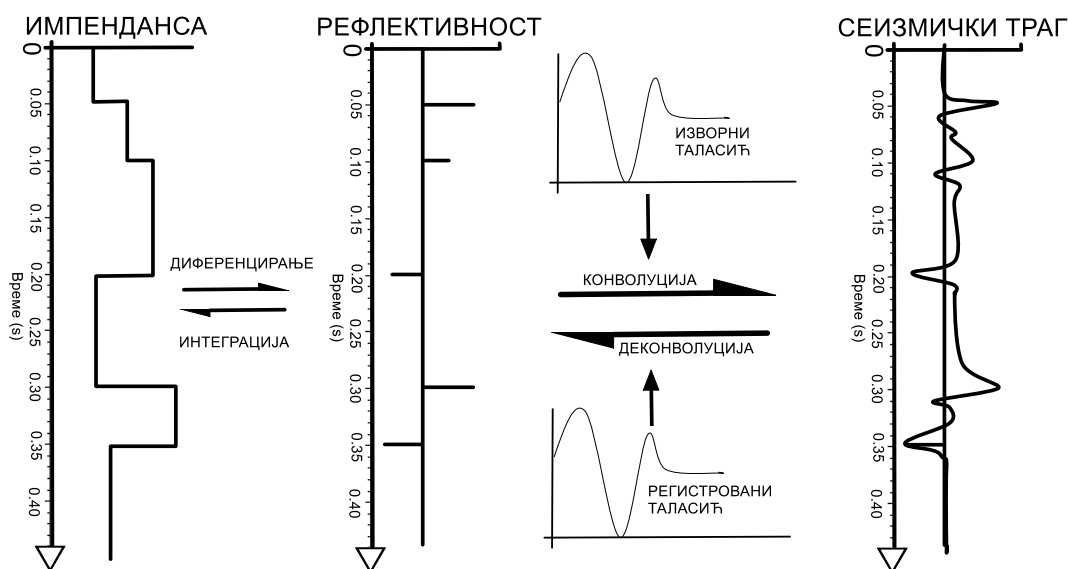
⁶ Реверберације и мултипли чине сегмент секције који је непожељан и потребно их је свести на минимални ниво. Умањење утицаја нежељених рефлексција често доводи до неминовног губитка корисног сигнала



Слика 3.25 – Пример примене деконволуције на профил REFL - 1. а) пре примене деконволуције; б) након примене деконволуције не сеизмичку секцију

Деконволуција представља реверсан процес, концептуално представљен на слици 3.26, који за циљ има отклањање таласића са крајњег сеизмичког трага чиме секција поприма облик који много више одговара рефлексивној функцији. Како би

се постигао што реалнији резултат потребан је бесконачан фреквентни опсег. Будући да се примењене операције крећу у ограничену домену, са ограниченим фреквентним спектром сигнала, резултат представља рефлексивну серију конволуисану са компримованим таласићем. Интегрисањем рефлексивне серије дошло би до генерисања импедансе, која представља физички параметар стене. Тај процес се назива акустична инверзија сеизмичке трасе у акустичну импедансу.

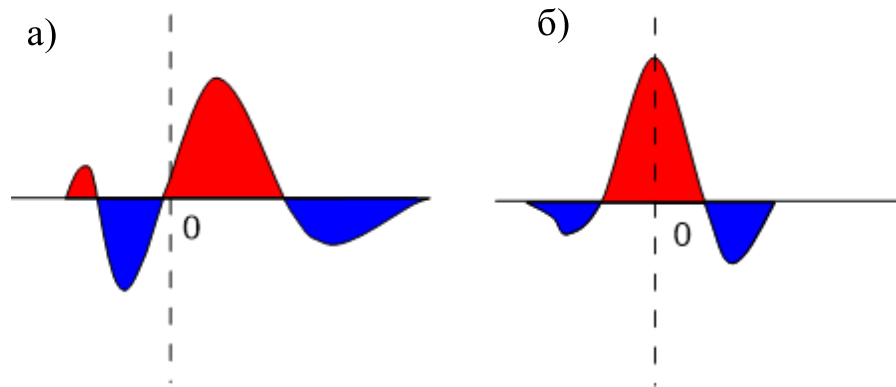


Слика 3.26 - Концептуални приказ деконволуције

У зависности од фазе, разликујемо два типа таласића:

1. Таласић са почетном фазом (Слика 3.27 а), који је генерисан путем извора импулсног карактера, као што је експлозив, ловачки метак, чекић, што је овде случај. Код ове врсте таласића не постоји амплитуда пре иницијализације извора. Оно што је карактеристично за овај вид извора таласића, је то да је максимум енергије која се емитује у нултом времену и она нагло опада са временом.
2. Таласић са нултом фазом (Слика 3.27 б) се емитује путем вибратора који генерише сеизмичке таласе. У овом случају амплитуда се налази на нултом времену и нулто време чини осу симетрије, јер се енергија емитује и пре нултог времена. Таласић нулте фазе једноставнији је за

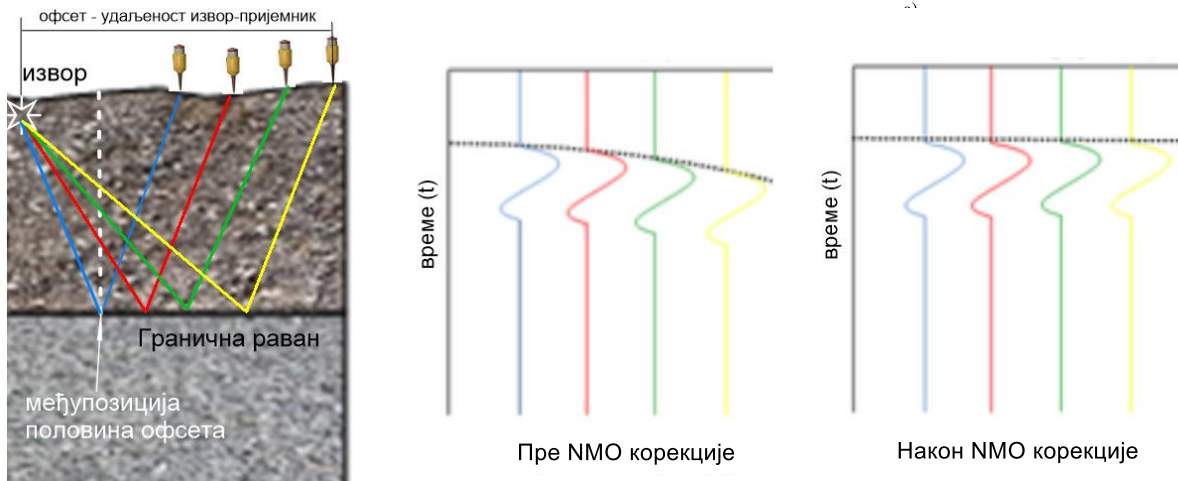
анализу и интерпретацију јер се свака рефлективна граница може апроксимирати са максималном или минималном амплитудом таласића.



Слика 3.27 – Типови таласића у зависности од фазе. а) минимална фаза и б) нулта фаза

3.4.6. NMO корекције

Потреба за примену NMO корекција јавља се због присуства офсета између извора и пријемника, односно, разлике при регистравању рефлексије на временској скали (Zhou, Hilterman, 2008). Као последица тога јавља се хиперболичан одзив граничне равни, где се са порастом офсета јавља и пораст времена детекције, односно регистрације након двоструког времена за које таласи путују од извора до граничне равни до пријемника (Опајите, 2014). Одзив граничне равни шематски је приказан на слици (Слика 3.28).



Слика 3.28 – NMO корекције, шема регистрације наилазака са временским заостатком и приказ након NMO корекција

Вертикална удаљеност између међу-позиције и хоризонталног рефлектора рачуна се према изразу:

$$Z = \frac{T_0 V}{2} \quad (3.14)$$

где је: Z – дубина,

V - брзина и

T_0 – нулто време, време иницијације.

Дубина за сваки пријемник се рачуна по универзалном изразу:

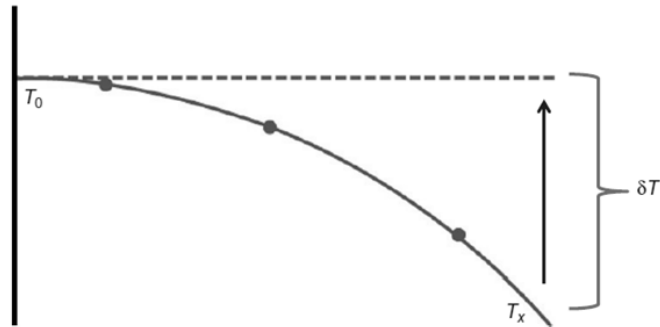
$$Z_x = \frac{T_x V}{2} \quad (3.15)$$

где је: T_x двоструко време путовања за вредност офсета $-x$, а V је одговарајућа брзина.

За хоризонталну рефлектујућу равна, крива рефлексије за различите офсете се рачуна путем следећег изрази:

$$T_x = \sqrt{\frac{x^2}{V^2} + T_0^2} \quad (3.16)$$

Да би се елиминисао утицај офсета, потребно је кориговати време наилазака T_x на позицију T_0 (Слика 3.29) тако да се раван рефлексије пресликава праволинијски, односно да поприми природни облик.



Слика 3.29 – Крива са позицијама наилазака са различитим временима

Ова корекција се назива NMO корекција и њом се елиминише временска разлика настала услед различитих вредности офсета, односно разлике у дужини пута који пређу таласи на путу до и од граничне равни са које се врши рефлексија. Универзални израз за NMO корекцију има облик (Sheriff, 2002):

$$\Delta t_n(x) = t(x) - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V^2}} - t_0 \quad (3.17)$$

3.4.7. Анализа брзина

Веродостојност таласне слике директно зависи од модела тренутних брзина. Модел је сачињен од вредности брзине у одређеном дубинском опсегу. По дефиницији, тренутна брзина представља производ малог дубинског сегмента и времена потребног да акустични талас путује кроз тај сегмент. Са друге стране принцип просечне брзине подразумева укупну удаљеност са укупним временом и

користи се приликом повезивања одређених дубина са специфичним временима при време-дубина конверзији.

Коришћење привидних брзина подразумева Снелов закон рефракције и једноставно срачунавање NMO-а и дифракције. Привидне брзине представљају добар избор у случају рачунања NMO корекција за мале офсети, док већи офсети захтевају додатне параметре.

Привидна брзина (V_{rms}) дефинисана је изразом, где је V_{int} интервална брзина, односно константна брзина слоја (који може бити и јако танак):

$$V_{rms}^2(T) = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} v_{int}^2(t) dt = \frac{\sum_{n=0}^{n=N} v_{int}^2(t_n) t_n}{\sum_{n=0}^{n=N} t_n} \quad (3.18)$$

Одатле следи да је:

$$V_{rms}(n) = \sqrt{\frac{V_{int}^2(0)t_0 + V_{int}^2(1)t_1 + \dots + V_{int}^2(n)t_n}{t_0 + t_1 + \dots + t_n}} \quad (3.19)$$

Анализа брзина представља процес у коме се дефинишу вредности брзина на равним деловима рефлектујуће хиперболе на CMP или CDP приказу (Онајите, 2014). На основу вредности тих брзина врши се стекирање сеизмичких трагова. Процес се одвија тако што се одабирају вредности на одређеним позицијама на секцији и резултати се линеарно интерполирају између различитих позиција на којима су пикиране.

Брзине које су пикиране на различитим CMP или CDP позицијама на сеизмичкој секцији представљају функцију брзина сеизмичких таласа.

Познато је својство да брзина расте са дубином, у складу са повећањем компактности стенских материјала, збијености и порастом густине и сл. (Онајите 2014). Тако да брзина расте са временом на сеизмичкој секцији.

Постоји неколико техника за анализу брзина, а најчешће коришћене су CVG и CVS. Циљ дефинисања брзина сеизмичких таласа је одређивање брзине на основу које ће се вршити стекирање (Yilmaz, 2001).

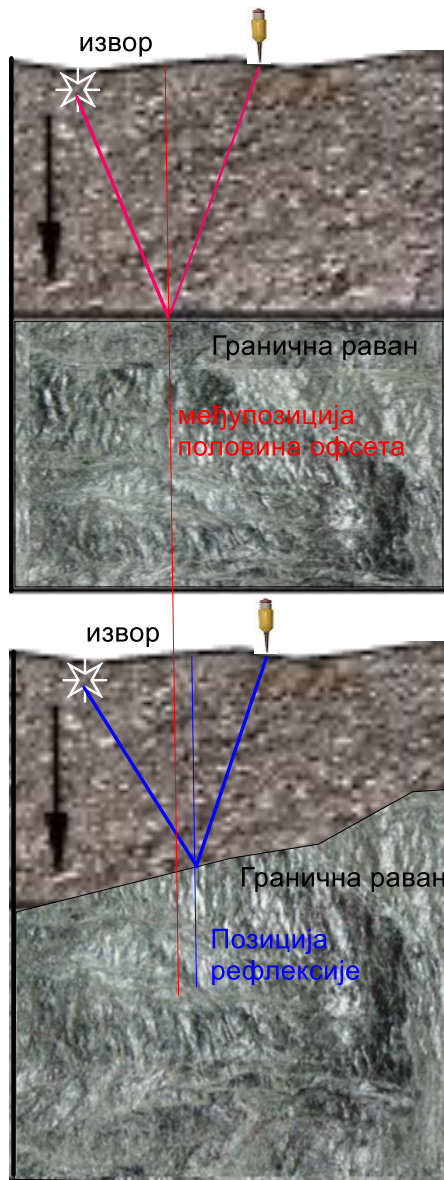
Приликом дефинисања интервалних брзина потребно је водити рачуна о одабиру примарних рефлексја, односно о пријему енергије која је враћена од слојне границе (рефлектујуће равни). Појава мултипла, односно вишеструке поновљене регистрације истог рефлектора такође утиче на маскирање примарних рефлексја.

Облик у ком се користе интервалне брзине приликом НМО или миграција дефинисан је изразом:

$$V_{\text{int}}^2(n) = \sqrt{\frac{V_{\text{rms}}^2(n)t_n - V_{\text{rms}}^2(n-1)t_{n-1}}{t_n + t_{n-1}}} \quad (3.20)$$

3.4.8. Миграција

Позиција рефлексје разликује се од привидне позиције, односно апроксимативне позиције на половини удаљености између извора и пријемника. Са повећањем офсета као и са порастом дубине до граничне равни знатно се повећава и утицај погрешне апроксимације рефлектујуће позиције. С тога је потребно да их разместимо на одговарајуће позиције у простору, што се врши применом неке од техника миграције помоћу којих се тежи да се приближе позиције рефлексје стварним вредностима у геолошкој средини (Опајите, 2014). Када је рефлектујућа раван хоризонтална, позиција рефлексје се налази на половини удаљености између извора и пријемника. Да би се регистровао сигнал рефлексје потребно је двоструко време: време од извора до рефлектујуће равни и време од равни до пријемника (Слика 3.30).



Слика 3.30 – Пример сеизмичке рефлексије у простору: горе - пример са хоризонталном граничном равни; доле – пример са косом граничном равни

У случају косе граничне равни односно косог рефлектора, позиција рефлексије одступа од половине удаљености између извора и пријемника а двоструко време се рачуна као:

$$T = \frac{2 Z \cos \theta}{V} \quad (3.21)$$

где је: T – двоструко време путовања акустичних таласа;

Z – дубина до позиције рефлексије;

V – брзина распрострања сеизмичких таласа у датој средини, или просечна брзина за све слојеве;

θ – упадни угао.

Померање применом миграције можемо изразити путем израза:

$$\Delta x = \frac{t \cdot D \cdot V^2}{4} \quad (3.22)$$

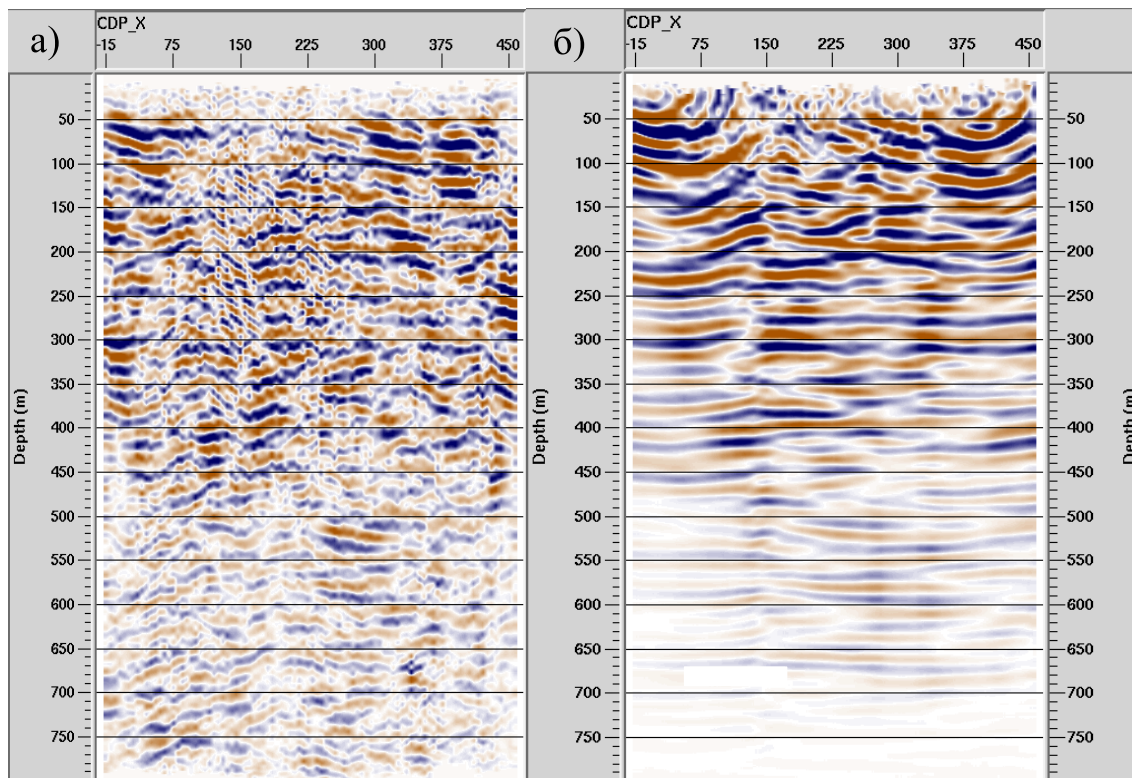
Вредности Δx можемо пикирати на немигрираној секцији користећи брзине за стекирање. Вредност D изражавамо у секундама по метру а брзину у метрима у секунди а време у секундама. Временски померај, односно ново време догађаја се изражава као:

$$t = \sqrt{t^2 - \frac{4 \cdot \Delta x^2}{V^2}} \quad (3.23)$$

Након примене миграције сви догађаји ће бити померени на дубље, односно на већа времена.

Миграција подразумева процес у коме се сеизмичка секција трансформише из временског у дубински домен (Sheriff, 2002). За трансформацију временске у дубинску секцију потребно је дефинисати брзине, односно дефинисати да ли су то интервалне брзине или је у питању срачуната просечна брзина. Ово зависи од доступних податка, као и искуства при обради сеизмичких података. Брзина којом се врши миграција дефинише се као брзина на основу које се обезбеђује оптималан распоред догађаја на сеизмичкој секцији. Брзине стекирања се уобичајено користе за конструисање расподеле брзина за миграцију. Успешност примене миграције директно је зависна од веродостојности модела расподеле брзина. Примена миграције захтева веће рачунарске ресурсе због комплекснијег математичког модела на основу ког се спроводи. На основу алгоритма деле се на три типа: FDDM, RTDM и IRTDM.

Миграције могу бити примењене пре и после стекирања сеизмичке секције (Biaolong and McMechan, 2005). Уколико је расподела сеизмичких брзина са мањим градијентом, односно лагано варира са порастом дубине, применом миграције пре стекирања добијају се добри резултати. Уколико је обрнут случај, потребно је миграције спровести над стекираном секцијом у виду пост-стек миграција (Biaolong, McMechan, 2005).



Слика 3.31 – Примена миграције на сеизмичку секцију REFL – 1. а) F-X деконволуција, предиктивни сигнал помешан са постојећим; б) мигрирана секција

Приликом истицања доминантних рефлексија сеизмичке секције, примењиване су операције у којима је најпре филтрирана енVELOпа, која представља јачину рефлексије, филтером пропусног опсега од 2 Hz до 8 Hz. Доминантне рефлексије је, такође, могуће нагласити и истицањем производа косинуса тренутне фазе. Ове операције је могуће вршити у напреднијим софтверским пакетима попут *SeisSpace Pro Max* (Слика 3.31).

Временске миграције за циљ имају да сеизмичке догађаје преслиже, односно да их поставе на стварне позиције у простору. Три основна типа временских

миграција су: Кирхофова миграција, миграција методом коначних разлика и миграција која користи Фуријеов алгоритам (Rosten and Ramstad 1998; Zhaludev et al., 2002; Biaolong and McMechan, 2005).

3.3.8.1. Миграција применом Кирхофовог алгоритма миграција

Миграција применом Кирхофовог алгоритма користи кинематички део таласних зрака уместо таласне једначине. Може се објаснити на основу Хајгенсовог принципа где свака честица погођена таласом постаје нови извор таласа. Када се честице налазе у непосредној близини резултат свих таласа представља таласни фронт. Уколико замислимо сеизмички експеримент у коме се преко закопаног цилиндра врши аквизиција, резултат ће бити дифракција (хиперболична рефлексија). Уколико се сумира сва енергија по дифракцији добија се одраз оригиналног цилиндра што у конкретним случајевима представља геолошки одзив. Те операције је могуће извести применом Кирхофове миграције где се врши сумирање енергије на основу дифракција. Уколико су дифракције на малој удаљености, апроксимирају се континуалним слојевима у простору што представља слику реалног окружења. Миграција путем Кирхофовог алгоритма дефинисана је од стране Снајдера (Schneider, 1978) и представља се једначином:

$$\text{tal. slika}(x, z) = R(r) = \frac{1}{2\pi} \int dA_0 \frac{\cos\theta}{RC} \left[U'_{(r_0, t_0)} + \frac{C}{R} U_{(r_0, t_0)} \right]_{t_0 = t - \frac{R}{C}} \quad (3.24)$$

Унутар заграде (једначина 3.24) дефинисана је вредност временског извода са додатком времена које је помножено коефицијентом $\frac{C}{R}$ или са $\frac{1}{t}$ што представља временски заостатак, односно $t_0 = t - \frac{R}{C}$. Множење заграде је слично фактору закривљења $\cos\theta$. Најједноставнији начин примене Кирхофовог алгоритма одвија се тако што за изабрану позицију (*scatter*), односно дубинског *сепмла* (детал секције или геолошки атрибут), срачунава време путовања за сваки пар извор-пријемник уз помоћ дефинисаног модела брзина. На основу тога прикупљају се вредности за времена са секција (сеизмичких трагова) и на њима се примењује тежински фактор. Након тога се сумирају узорци и усваја се резултат на секцији за

одређену дубину. Збрајање је ограничено параметром који се дефинише на основу очекиване максималне вредности угла у непосредној зони, а тежински фактор се бира на основу вредности упадног угла.

Кирхофова миграција представља поуздану технику мигрирања података и могуће ју је применити на било коју геометрију аквизиције, дефинисану геофонским размаком, кораком извора, бројем пријемника и сл. Применљива је за велике углове залегања геолошких јединица и погодна је за модификације секција на основу додатних геофизичких техника (VSP и прозрачивања).

3.5. Креирање геолошко-геофизичког модела и процена потенцијално опасних зона

Тродимензионални модел је урађен на основу геодетских подлога, дигитализованих карата, картираних и дигитализованих истражно-експлоатационих радова и интерпретације спроведених геофизичких истраживања. Након обраде података уследила је интерпретација, која је имала за циљ наглашавање читљивих геолошких атрибута, односно, геолошку детерминацију геофизичких података. Идентификација раседа мањег и већег скока, представљала је примарни циљ интерпретације, јер је континуитет пружања угљеног слоја у директној зависности од структурно-тектонских односа, које је са великом поузданошћу могуће протумачити са сеизмичких секција. Маркирањем структурно-тектонских дисконтинуитета у истражном подручју омогућено је смањење ризика при планирању експлоатационих радова. Могућност идентификовања здробљених-катаклазираних зона представља погодност примене рефлективне сеизмике, јер у овим зонама постоји могућност циркулације и акумулације подземних вода које при експлоатацији представљају потенцијалну опасност. Уколико се неспремно приступи експлоатацији у тим зонама без адекватних рударских припрема, које подразумевају системе за одводњавање рударских постројења (пумпе, инсталације, електрична мрежа и сл.) може доћи до нежељених сценарија који могу угрозити процес експлоатације и као и безбедност радне средине. Маркиране катаклазиране зоне на дводимензионалним профилима, интегрисане у једну просторну целину чине подлогу за израду карте хазарда. У овом случају хазарди се односе искључиво на потенцијална негативна дејства ослабљених стенских маса при процесу експлоатационих радова, идентификованих као здробљене-катаклазиране зоне на 2D профилима.

Пример инверзије и израде геотехничког модела за потребе експлоатације угља представљен је од стране (Hatherly et al., 2008, 2013; Zhou, Hatherly, 2005). За успешно дефинисање вредности параметра GSR (*Geophysical Strata Rating*), на основу кога се може протумачити квалитет стене са становишта геотехничких вредности, неопходни су подаци геофизичких каротажних мерења као

калибрационе методе за дефинисање изворног таласића и јасног пресликавања параметара слојних вредности у датој средини.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

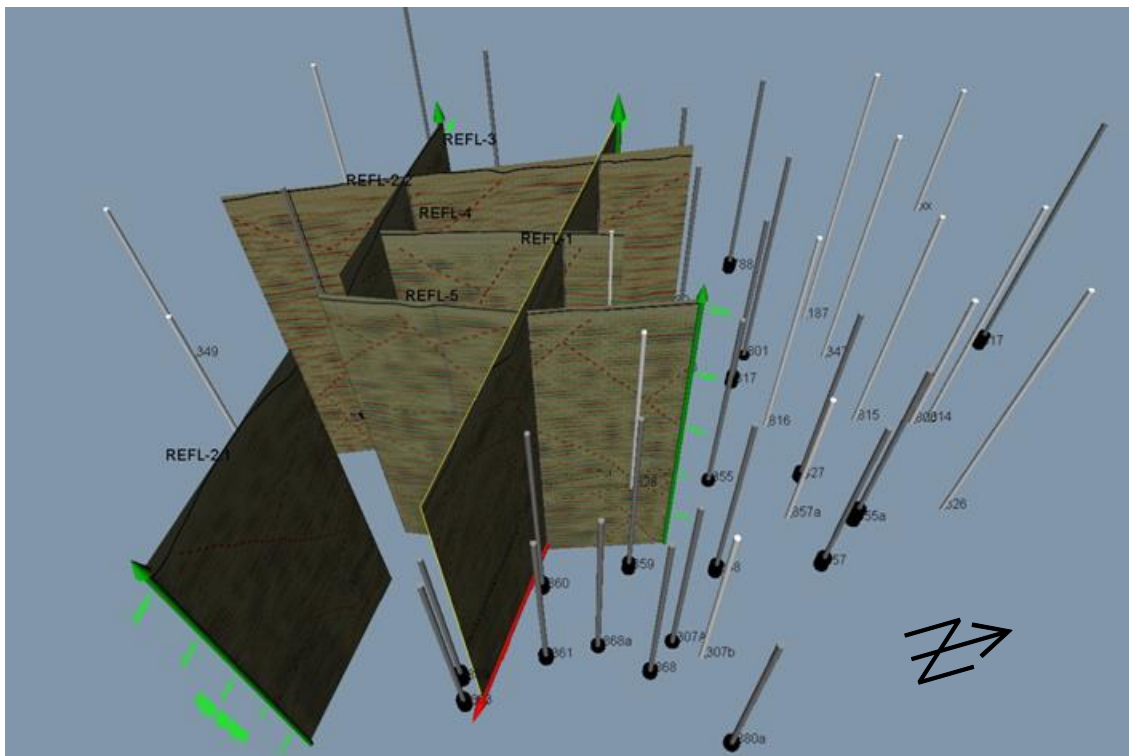
Подацима добијеним применом рефлективне сеизмике употпуњени су сви расположиви подаци на истражном простору, пре свега у зони између истражних радова. Корелација података са резултатима истражно-експлоатационих радова омогућила је израду поузданог геофизичко-геолошког модела.

4.1. Геолошко-геофизички модел

Резултати обихватају податке добијене дигитализацијом података истражних бушења и њихово инкорпорирање у модел добијен на основи сеизмичких профила. Подаци рефлективне сеизмике су анализирани у циљу интерпретације руптурног склопа и угљене серије.

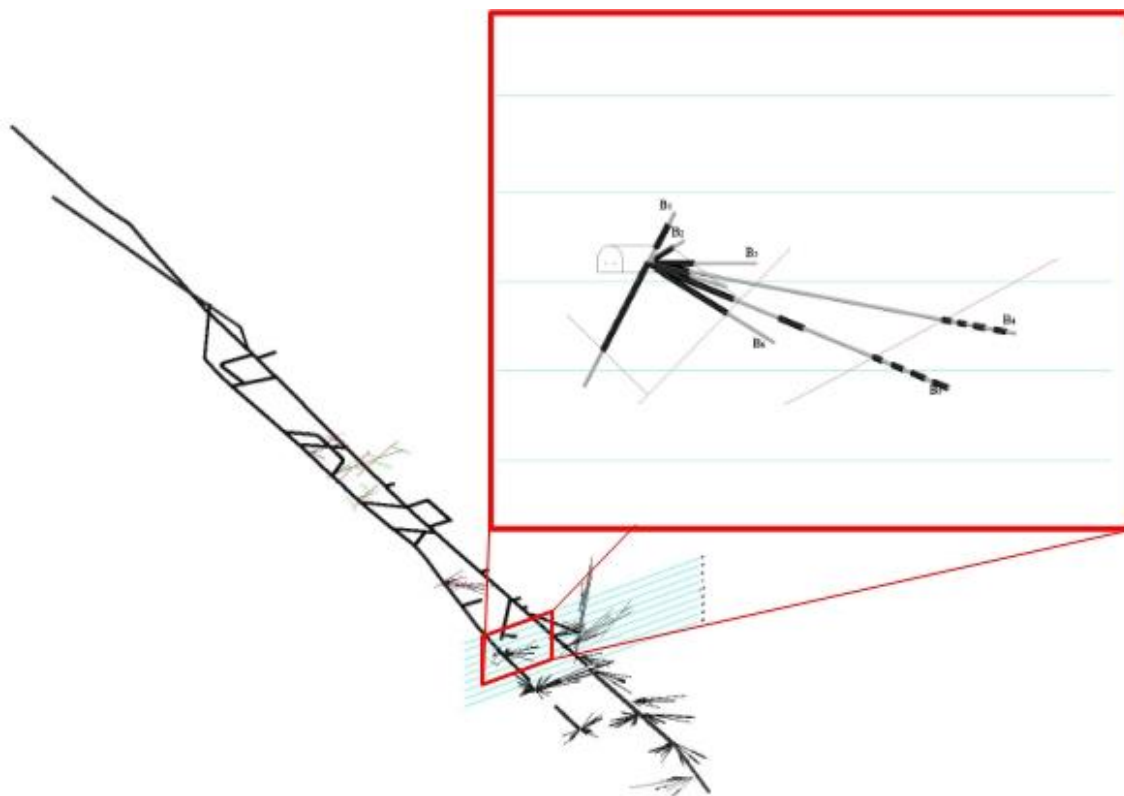
Подаци истражних бушења су дигитализовани (Слика 4.1) на основу доступних података, који обухватају:

- назив истражне бушотине;
- координате позиције бушотине (X,Y,Z);
- дубина истражне бушотине; и
- позиција угљене серије на стубу бушотине уколико је набушена, а уколико је бушотина негативна стуб бушотине представљен је белом бојом.



Слика 4.1 – Позиција мреже профила у односу на претходно изведене истражне бушотине са површине терена

Истражна бушења са површине терена изведена су пре више од тридесет година. Јамска експлоатација у моменту испитивања се налазила у непосредној близини, тако да су била могућа и додатна бушења директно у истражни простор помоћу усмереног бушења из јамских просторија. Бушење из јамских просторија изведено је из посебно припремљених комора за усмерено јамско бушење (димензије комора морају се прилагодити габаритима бушилице) и изведена су у виду "лепеза", односно низа усмерених бушотина под одређеним углом. Ти подаци су увршћени у модел (Слика 4.2).



Слика 4.2 – 3D модел јамских просторија са лепезама јамских бушотина.
 Издвојено: једна лепеза јамских бушотина из карактеристичне коморе за јамско
 бушење на основу које је сачињен профил са елементима угљене серије

Мрежа сеизмичких профила постављена је оптимално у односу на постојеће истражне радове, тако да су добијене потребне информације за израду просторног модела угљеног слоја у зонама за коју не постоји густа мрежа бушотина.

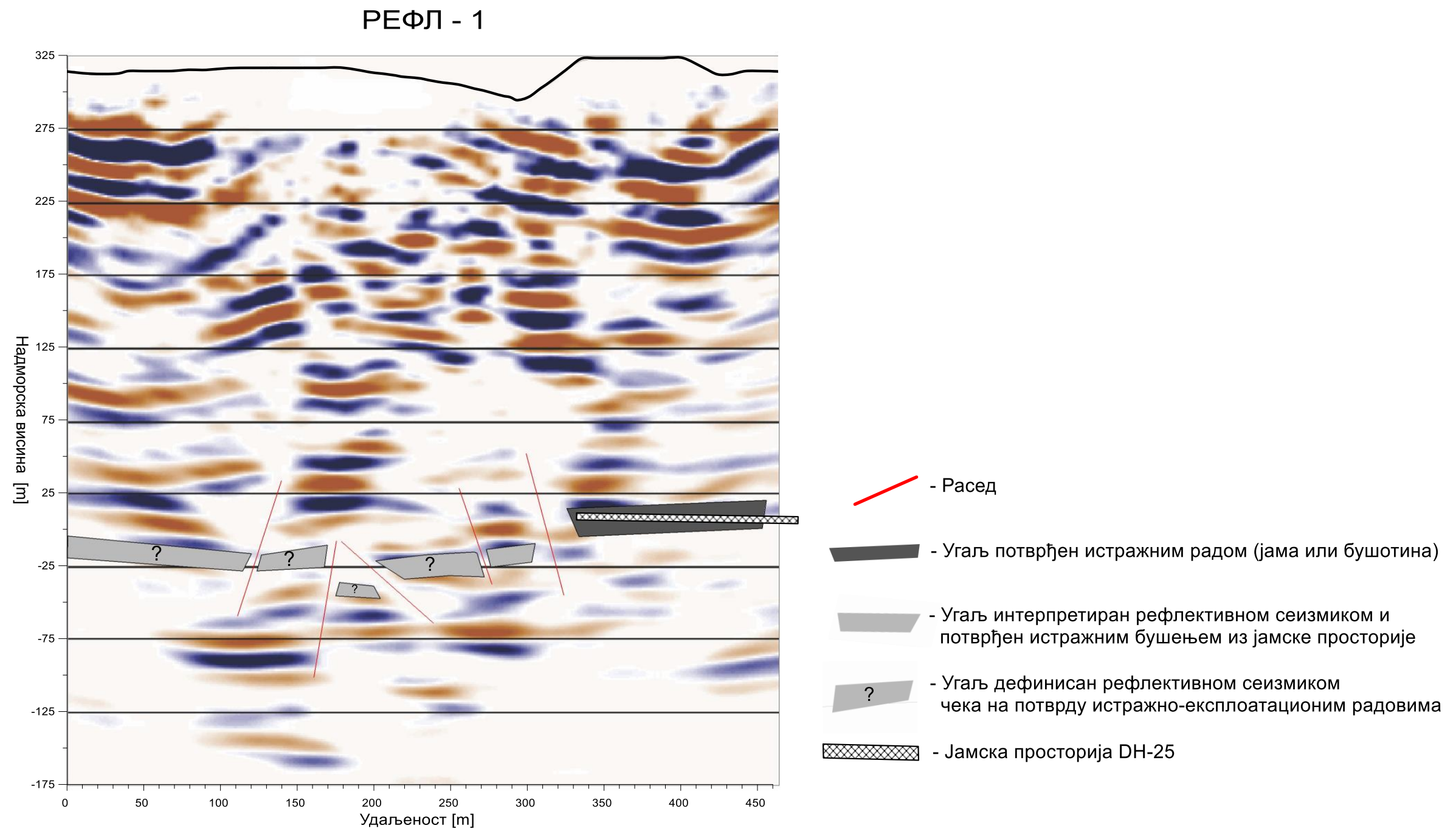
Услед тектонских активности позиција угљеног слоја варира од коте -40 m до +40 m н.м.в, а кота терена је 300 m н.м.в. На слици 4.3 приказана је интерпретација профила РЕФЛ - 1. Елементи интерпретације су интерпретација раседа (назначена црвеном линијом) и интерпретација угљене серије (полигон).

Интерпретација угљене серије (Слика 4.3) се, у зависности од степена потврђености, дели на:

1. потврђену експлоатацијом (полигон обојен црном бојом);
2. потврђену истражним (јамским) бушењем (полигон обојен сивом бојом); и

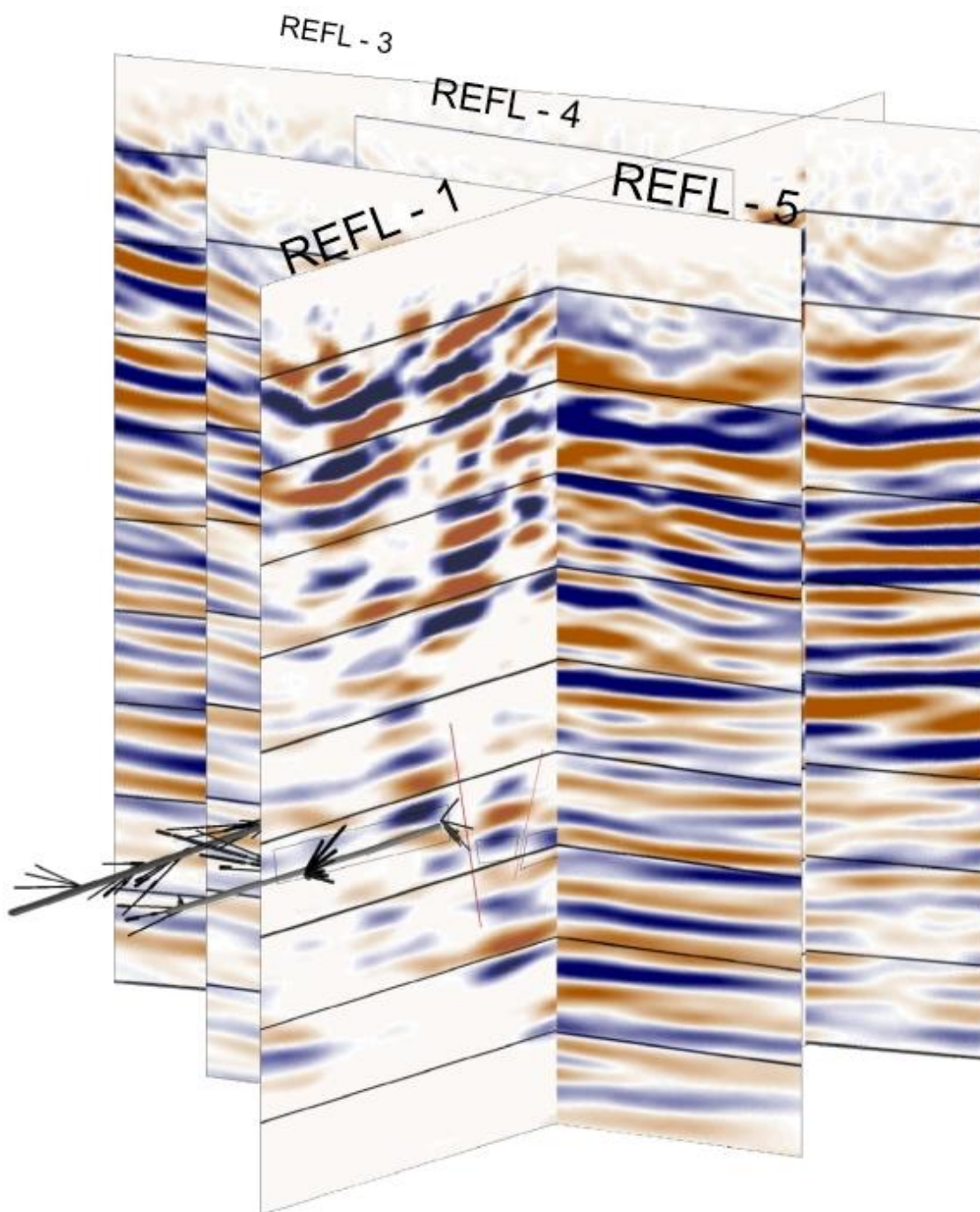
3. непотврђену, идентификовану само рефлективном сеизмиком (полигон обојен сивом бојом и знаком питања).

Полазну тачку интерпретације чини јамска просторија ДН-25 чија позиција у тренутку извођења теренских геофизичких мерења је нанесена на профил (Слика 4.3). Подаци прикупљени из јамске просторије се односе на позицију угљене серије, угао залегања угљеног слоја и моћност угљене серије у тој зони лежишта. Расед који се налази чеоно, односно у зони напредовања јамске просторије, интерпретиран је на основу геофизичких података и података усмереног јамског бушења и представља окосницу за дефинисање дислоцирања угљеног блока. Јамска просторија је на нанетој позицији наишла на јалову средину, која недвосмислено говори о важности примене истраживања у смеру напретка експлоатационих радова. На основу геофизичких података дефинисан је оптималан смер напретка просторије и процес експлоатације усмерен је нископно ка потврђеном угљеном блоку. Даљим напредовањем просторије очекују се подаци на основу истражно-експлоатационих радова (израда јаме и јамска бушења), који су од пресудног значаја за дефинисање позиција угљених блокова и корелацију геофизичких података са егзактним подацима.

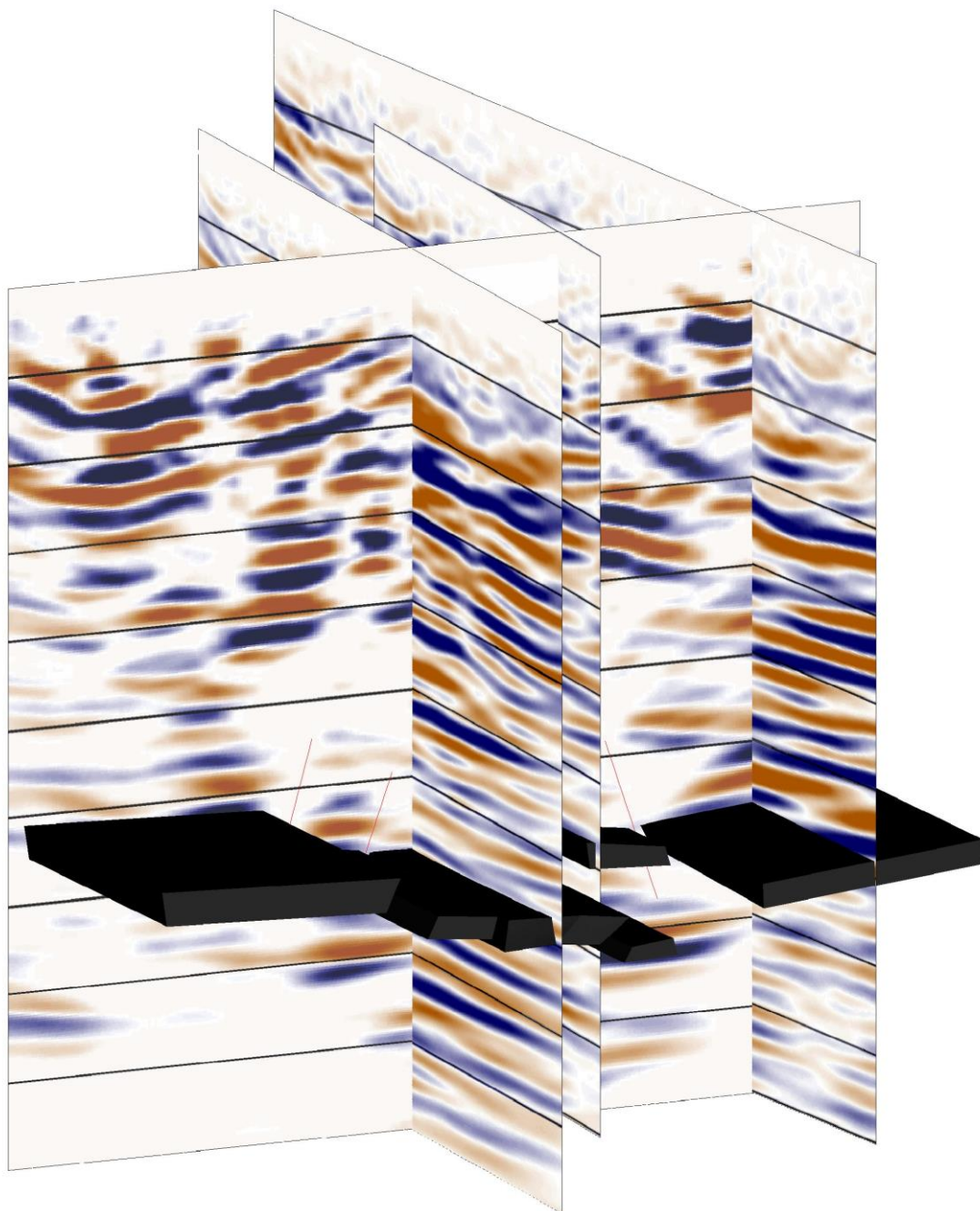


Слика 4.3 – Интерпретација профила РЕФЛ - 1

Иницијална интерпретација вршена је на дводимензионалним профилима засебно и она представља примарни корак интерпретације. У овој фази вршено је иницијално маркирање најупечатљивијих структурно-тектонских дисконтинуитета у виду пројекција раседних површи на дводимензионалној сеизмичкој секцији. Позиција угљене серије у овој фази дефинисана је "грубо" и тек на основу интерпретације раседних структура могуће је утврдити позиције изломљених блокова, карактеристичних за ову, "паркетну", структуру лежишта. Будући да је примењена дводимензионална рефлективна сеизмика, тај корак је и најважнији приликом тумачења коначне таласне слике са обрађених сеизмичких секција. Након иницијалне, приступило се просторној интерпретацији, при чему је коришћено софтверско окружење које омогућава манипулацију подацима у простору. Пројекције истражних радова, који су позиционирани у непосредној близини сеизмичких профила, коришћене су ради калибрације интерпретираних са стварним подацима. Процес интерпретације у тродимензионалном окружењу је знатно погоднији, поготово када је на располагању доста додатних податка на које се може ослонити при моделирању, као што су јамске просторије и истражна бушења из јамских просторија. Услед наведених лежишних карактеристика, могућност интерполације између профила била је знатно ограничена и захтевала је посебну дозу опрезности. Интерполација је била могућа само између јасних пројекција раседних структура на паралелним профилима, као и позиција угљене серије у "мирнијим" зонама тј. у зонама у којима није знатно изражена тектонска активност. Пример просторне интерпретације је дат на сликама 4.4 и 4.5 на којима су приказани укрштени профили у простору, са позицијама јамских просторија и подацима јамских истражних бушотина.

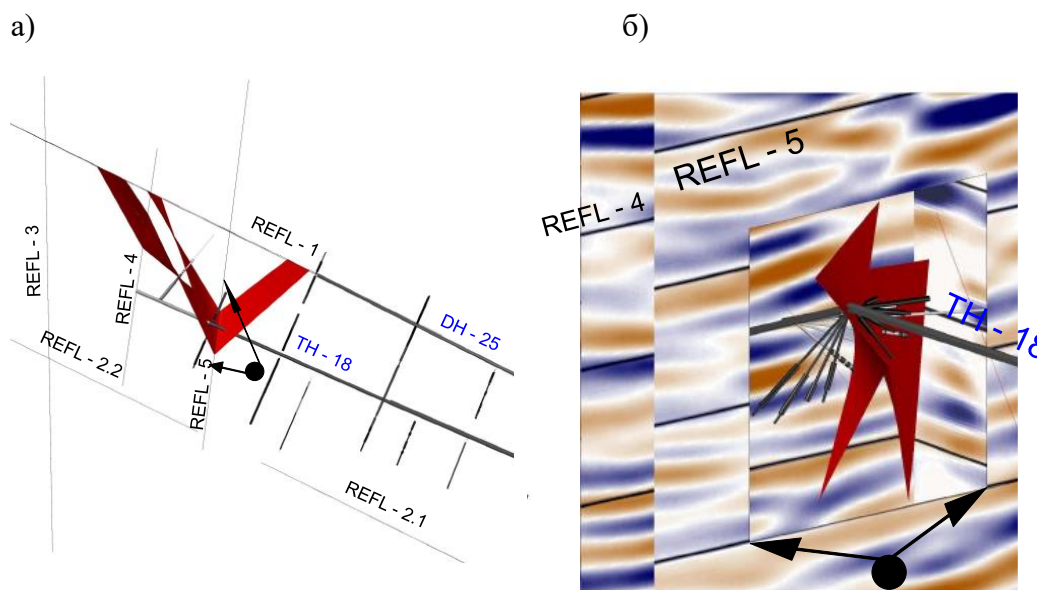


Слика 4.4 – Интерпретација гефизичких података у просторном окружењу. Позиција просторија и јамских бушења, поглед кроз делимично опсечен профил РЕФЛ - 1



Слика 4.5 – Интерпретација геофизичких података у просторном окружењу. Израда 3D модела угљене серије, интерпретирање блокова

Користећи интерпретацију раседа између укрштених 2D профила, извршена је интерполација линеарних пројекција раседних површи управних на профиле и на тај начин сачињена просторна пројекција раседне површи, као што је видљиво на слици 4.6, где се на левој страни налази тлоцрт са назначеном позицијом, која је приказана на десној страни кроз опсечен профил РЕФЛ-5.



Слика 4.6 – Интерпретација раседних површи у простору, интерполација интерпретираних јединица на укрштеним 2D профилима: а) тлоцрт, назначена позиција опсеченог профила РЕФЛ – 5; б) увећан приказ раседних површи

Приликом експлоатационих радова из просторије ТН-18 бочном просторијом се ушло у раседну зону која је интерполирана на основу пројекција раседне површи на профилима РЕФЛ - 5, РЕФЛ - 4 и РЕФЛ - 1. Просторија је у раседну зону ушла у најнеповољније подручје која се налази најудаљеније од егзактних података на сеизмичким секцијама (трасама профила) и где постоје само интерполирани подаци. У овом случају интерпретирана раседна површ је потврђена накнадним истражним радом, са минималним одступањима. Уласком у раседну зону дошло је до делимичног потапања ходника, јер је ослобођена велика количина воде са капацитетом од $25 \frac{l}{s}$. Имајући у виду да су деградиране, израседане и здробљене (катаклазиране) зоне читљиве на обрађеним сеизмичким

секцијама и представљају један од излазних података интерпретације геофизичких података, могуће је извршити одговарајуће припремне радове у тим зонама и тиме спречити неповољне исходе до којих може доћи у њима.

Интерпретирани блокови угља су просторно детерминисани (Слика 4.7), и на основу њихове геометрије могуће је срачунати податке о запремини, односно оптималној количини експлоатабилних резерви. Геометрија и позиција интерпретираних блокова директно утиче на планирање динамике експлоатационог процеса. Израда тродимензионалног модела у просторном окружењу могућа је употребом одговарајућег софтвера, попут *Auto Cad*⁷ где постоје одговарајући модули којима се може вршити манипулација подацима: израда попречних профила, прорачун запремине блокова, манипулација и прорачуни над геометријом интерпретираних јединица, надопуњавање модела, извоз података у друга софтверска окружења и сл.

Елементи који чине геофизичко-геолошки модел су у потпуности дигитализовани и геореференцирани. Модел је сачињен од следећих атрибута:

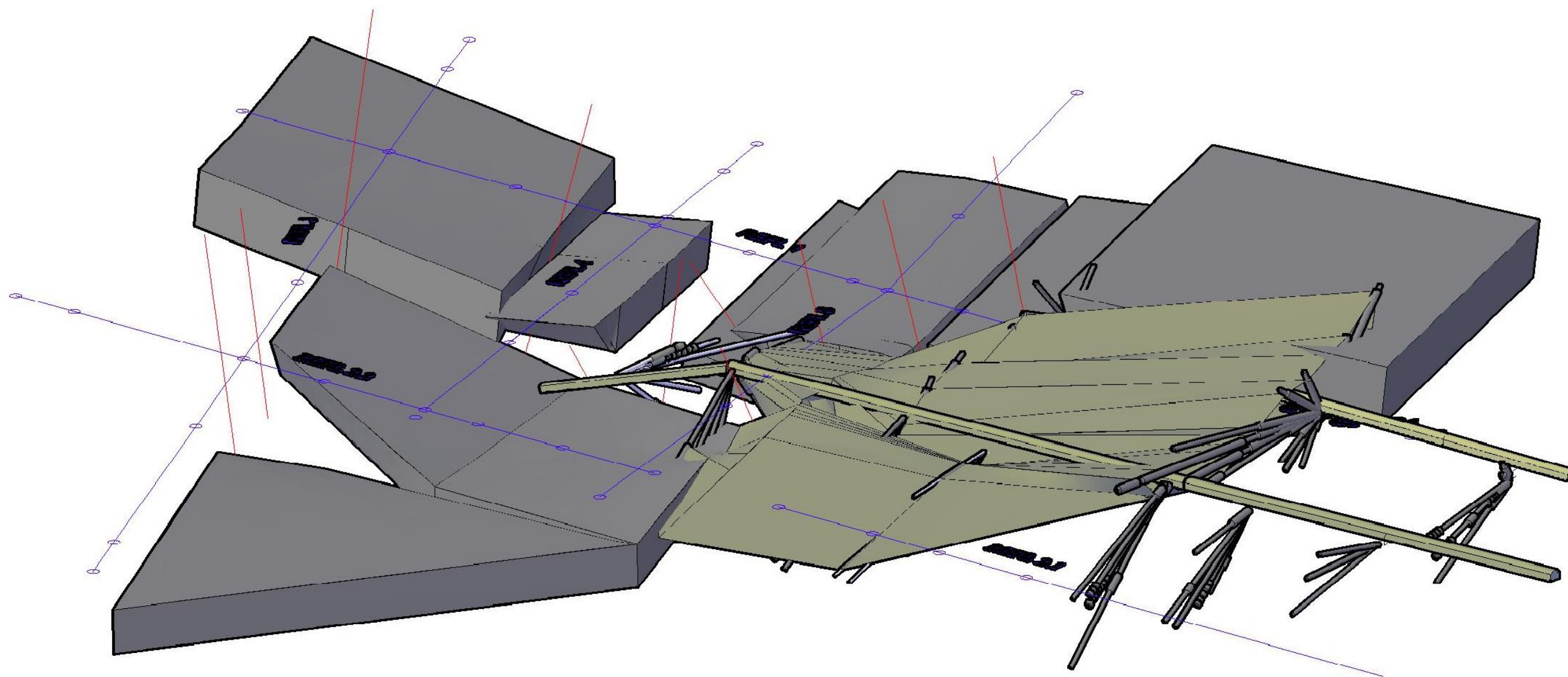
- Мреже профила 2D рефлективне сеизмике (2D слика генерисана путем софтвера за обраду геофизичких података);
- Геодетским подацима за мрежу профила (нанесени профили-3D линија);
- Атрибути интерпретације сеизмичких секција:
 - * интерпретација структурно-тектонских односа: раседи већег и мањег скока (2D линије на профилу и равни између профила);
 - * интерпретација угљене серије корелисане са истражним радовима и дефинисане само на основу рефлективне сеизмике (2D полигони на секцијама и 3D блокови у мрежи профила);
 - * интерпретација здробљених-катаклазираних зона (у виду полигона на профилу и интерполираних 3D структура на основу мреже профила).

⁷ *Auto Cad* – едисије са тродимензионалним модулима попут CIVIL, CIVIL 3D (Autodesk)

- Блокови експлоатисаног угља (дигитализовани подаци претходно изведених експлоатационих радова у непосредној близини истраживања);
- Јамске просторије (3D модел, дигитализован на основу постојећих карата) и коморе за истражна бушења;
- Истражна бушења са површине (стуб бушотине са позицијама набушеног угља);
- Истражна бушења из јаме (позиције истражних бушења са усмерењем, стубом и позицијама набушеног угља);
- Геолошки прогнозни профили на основу усмерених јамских бушења.

На основу геофизичко-геолошког модела приказаног на слици 4.7 може се јасно сагледати геометрија главног угљеног слоја. Атрибути модела разврстани су по слојевима, тако да је приликом генерисања одређеног погледа могуће одабрати сет одговарајућих параметара за приказ (сеизмичке секције, 3D угљени слој, елементи интерпретације и сл.). На моделу се налазе и позиције истражно-експлоатационих радова, које су у овом окружењу прегледне и садрже информације:

- геометрија јамских просторија (ходници и бочне коморе за истражна бушења),
- подаци истражног бушења у јами (угао, дубина, позиција набушеног угља) и
- интерпретирани геолошки профили на основу лепеза јамских бушотина.



Слика 4.7 – 3D модел угљеног слоја, геофизичко-геолошки модел

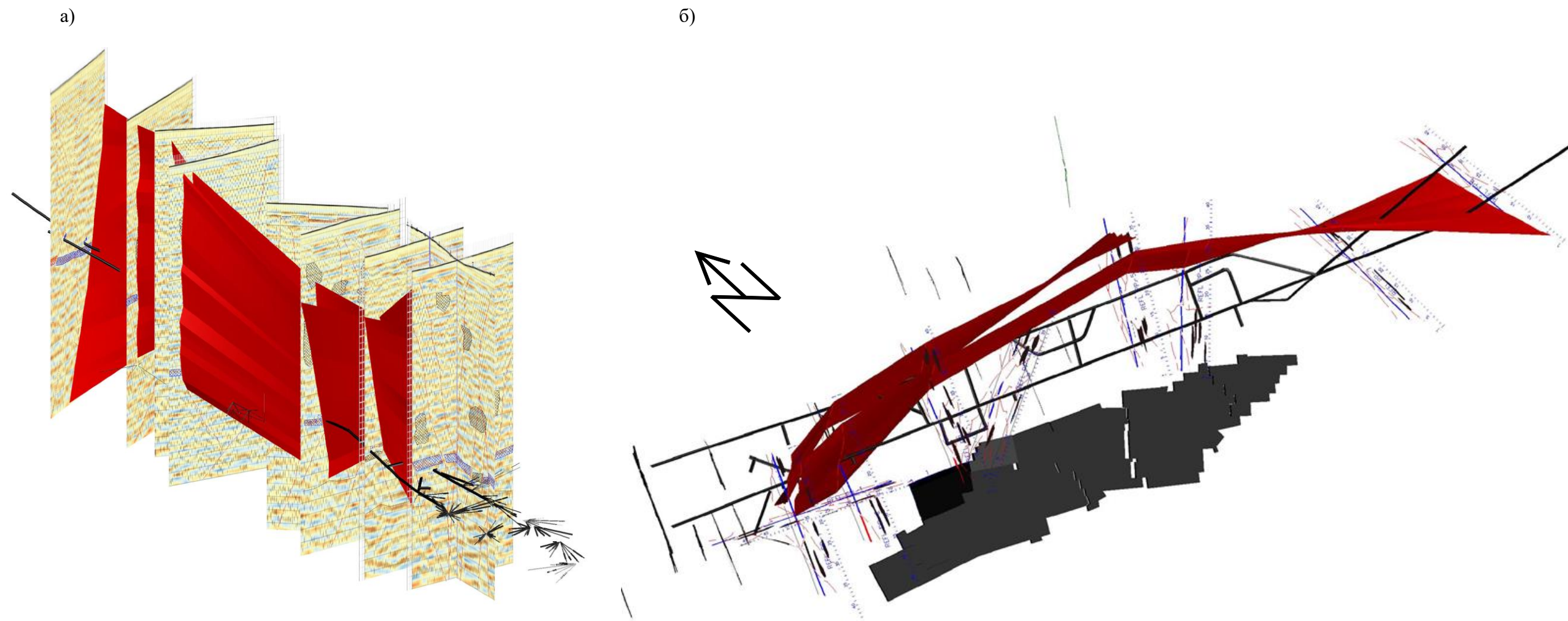
Надопуњавањем постојећих података прикупљених путем директних истражних радова са геофизичким подацима, могуће је извршити и прекатегоризацију резерви из нижих у више категорије у зависности од степена истражености. Прекатегоризација се врши надопуњавањем постојећих података са новим подацима рефлективне сеизмике. У случају када сеизмичка секција креће из зоне познатог (постојећи истражни рад – бушотина, просторија и сл.) ка непознатом, односно у зону у којој се налазе резерве нижих категорија, могуће је извршити прекатегоризацију нижих у више категорије у складу са новонасталим степеном истражености, у складу са важећим законима и правилницима. Недеструктивним приступом, попут рефлективне сеизмике, као и осталим геофизичким методама, не могу се и не треба избећи истражна бушења и методе којима долазимо директно до узорака неопходних за анализе. С обзиром да се геофизичким испитивањима може оптимизовати примена других истражних радњи, које су скупље и временски захтевније, веома је важно у којој фази истраживања се примењују геофизичке методе.

4.2. Интерпретација раседа

Подручје Ђурђевичког басена у тектонском погледу припада офиолитској зони унутрашњих Динарида. Снажна тектонска активност обављана је у више фаза у дужем геолошком периоду над стенским масама са различитим физичко-механичким својствима што је условило формирање специфичних веома бројних руптурних деформација са знатним кретањем стенских маса. Постанак депресије, у којој је створена млађа серија, везан је за крупне тектонске поремећаје услед којих је дошло до стварања читавог низа слатководних басена у којима се касније наталожила серија седимената са угљем. Серија има изразит нагиб ка југу и пружање у смеру И-З. Тектонско деформисање ове серије започело је после таложења угља и кровине једном од фаза Алпско-Динарског убирања. Најзаступљенији су раседи Динарског правца СЗ – ЈИ што одговара интерпретираној раседној структури у виду две раседне површи означене црвеном бојом на слици 4.8. Угљени слој је истог пружања, са падом на ЈЗ. Због ових раседа, као и мањих померања отежано је пратити угљени слој. На нивоу угљене серије интерпретација раседа потврђена је рударским радом – јамском просторијом. Интерпретација главног раседног система представља кључ за разумевање структурно-тектонских односа, на основу којих се врши тумачење позиција угљених блокова у делу лежишта у оквиру кога се врше истраживања. Интерпретација главне раседне површи је надовезана на њихову пројекцију у првој мрежи профила и као таква је предствљављена у коначном моделу (Слика 4.8). Главна раседна структура приказана је у виду интерполираних површи које су очитане на профилима постављеним управно на очекивани правац пружања раседа. Приказ интерпретације, на основу читавања позције на профилима, дат је на слици 4.8 а), а на слици 4.9 б) приказана је позиција главног раседног система са погледом одозго. Раседна зона манифестује се готово вертикално и пресеца постојеће јамске просторије у више позиција, што је умањило употребу интерполације између профила. Просторна оријентација очитане раседне структуре са сеизмичких секција се поклапа са претходним сазнањима стеченим на основу истражно-експлоатационих радова, и у складу је са структурно-тектонском интерпретацијом ширег подручја.

Управно на главни раседни систем идентификовани су мањи бочни раседи (Слика 4.6) чији ефекат се манифестује у виду мањих скокова угљеног слоја, које је теже директно тумачити на основу таласне слике, већ се дефинишу на основу интерпретираних раседа. Интерпретирани раседи окарактерисани као раседи одговорни за мања дислоцирања угљене серије, са скоком до пар метара, интерпретирани су на сеизмичким профилима и над њима није вршена интерполација. Разлог ограниченог интерпретирања на 2D секције мањих раседних структура лежи у томе што нису задовољени критеријуми неопходни за интерполацију између паралелних профила, односно није јасно читавање са истим или сличним параметрима раседне структуре. Из тог разлога неопходно је извршити адекватно позиционирање профила на терену. Будући да се ради о дводимензионалној рефлективној сеизмици пожељно је да се пресецање раседних структура изврши управно, са што мањим одступањем. Наравно, раседна површ не представља идеалну равну површ, већ се манифестује неправилним обликом. Из тог разлога је битна резолуција истраживања, односно густина мреже која се поставља у случају дводимензионалне рефлективне сеизмике.

Тродимензионална рефлективна сеизмика не би била оптерећена правцем пружања тела, па је могуће реконструисати просторну таласну слику. У срединама где нема додатних истражних радова и где, у најбољем случају, постоје претпоставке о пружању геолошких структура, препоручује се примена тродимензионалне рефлективне сеизмике. Пример успешне примене тродимензионалне сеизмике у истраживању угљева дат је ранијим радовима (Walton et al., 2000; Greenhalgh et al., 2002; Tselentis, Paraskevopoulos, 2002; Zhao, Wu, 2005; Hatherly et al., 2013) и на основу тог позитивног искуства у примењеном истражном раду, може се извести закључак да би унапређење истражних радњи требало усмерити ка примени тродимензионалних техника рефлективне сеизмике.

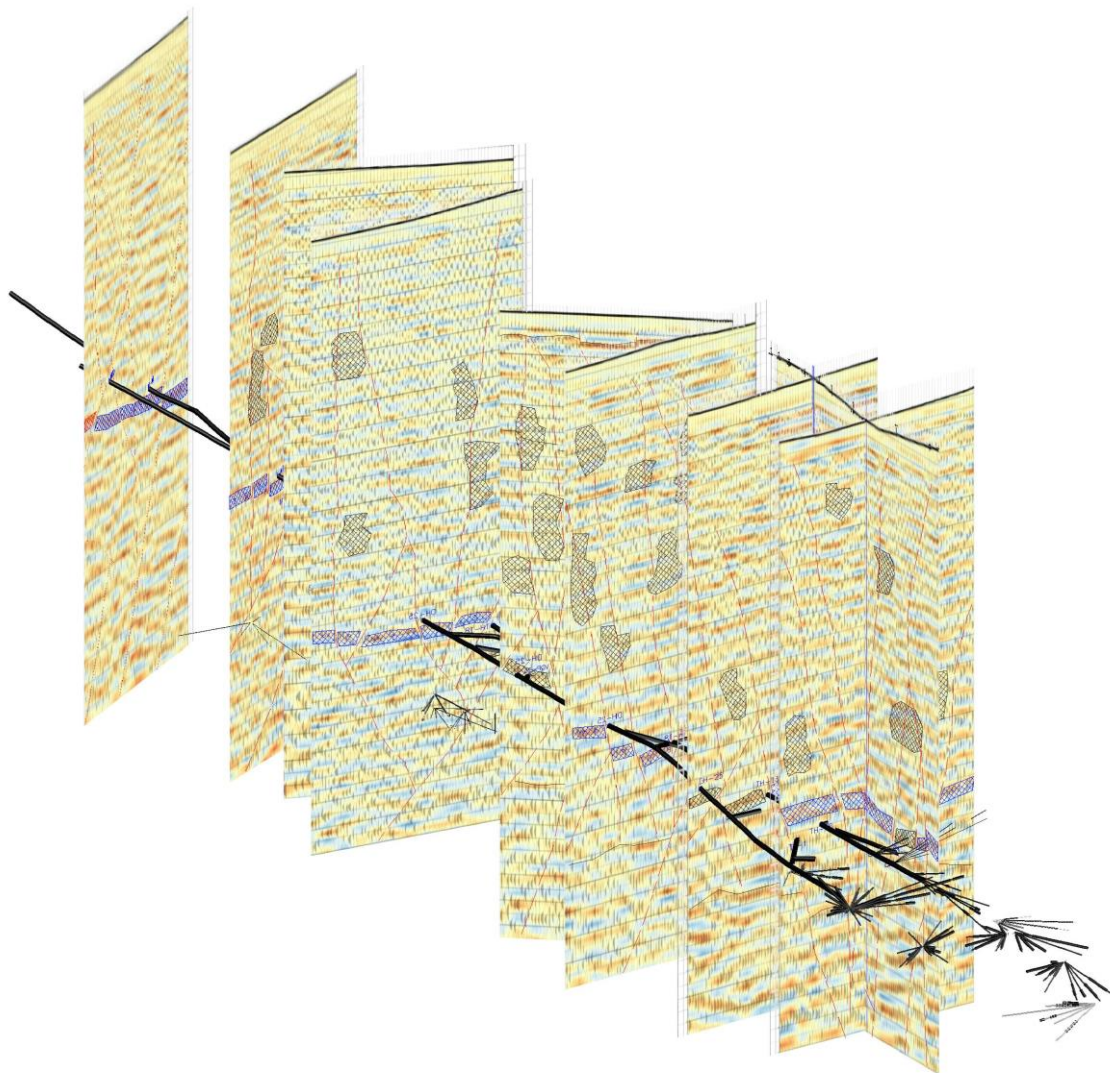


Слика 4.8 - Интерпретација главног раседа у виду две раседне површи у 3D моделу: а) поглед са стране; б) поглед одозго

4.3. Маркирање потенцијално опасних зона

Уласком јамске просторије у раседну зону, која је претходно интерпретирана на сеизмичкој секцији, дошло је до потапања просторије и ангазоване механизације. На основу тог искуства изведен је закључак да је неопходно означити све потенцијално опасне зоне за процес експлоатације. Значај овог поступка огледа се у могућности спровођења адекватних припремних радњи. Уколико се на време припреми адекватан обим постројења за одводњавање (електрична мрежа, пумпе и пратећа опрема) ове зоне је могуће третирати са минималним ризицима. Ризичне средине су присутне у самој зони лежишта.

Подлога за интерпретацију здробљених, катаклазираних, зона заснива се на нешто "сировијој" таласној слици. Комплексном обрадом података и "оштријим" филтрирањем, односно пропуштањем ужег фреквентног опсега у претходно обрађеним секцијама, истакнути су основни атрибути угљене серије, и циљ дефинисања геометрије угљене серије и тектонике је постигнут са задовољавајућим нивоом. Интерпретиране здробљене зоне представљене су у виду затворених полигона испуњених шрафуром на дводимензионалним профилима (Слика 4.9). Здробљене зоне са изразито нарушеним механичким својствима представљају опасност приликом експлоатационих радова, а стабилност кровинских седимената је од кључног значаја за постојаност јамских просторија и безбедност. Издвајањем здробљених зона дефинисани су потенцијални извори нарушавања безбедности и приказани су у тродимензионалном моделу на слици 4.9.



Слика 4.9 – Интерпретација здробљених - катаклазираних зона на сеизмичким профилима у простору (назначене шрафуром на сеизмичким секцијама)

Евидентно је присуство интерпретираних здробљених зона у непосредној близини раседних површи, у плићим слојевима односно изнад јамских просторија које су дигитализоване у моделу. Бушењем ових зона са површине терена долази се до оптималних средина за израду експлоатационих хидрогеолошких објеката – бунара. У хидрогеолошким истраживањима, ове зоне представљају циљ истражно-експлоатационих бушотина, јер се њима назначавашу најоптималније средине за циркулацију подземних вода у стенским масама. Из тог разлога важно је

растумачити све плиће сегменте и установити да ли постоји хидрогеолошка веза између катаклазираних зона. Уколико су зоне међусобно повезане порозним срединама, пукотинским системима или раседним структурама неопходно је издвојити те средине као директну опасност при извођењу експлоатационих радова у њиховој близини. Будући да су кровински седименти слабо порозони, литерарно окарактерисани као хидроизолатори, пукотински системи се могу понашати као "левак" односно извршити акумулацију и транспорт површинских вода, те им омогућити продор у ниже зоне захваћене рударским радовима (Walton et al., 2000).

Здробљене – катаклазиране зоне интерпретиране су на 2D сеизмичким профилима и приказане на слици 4.10 а) и б). Интерполација између профила је представљена у виду затворених 3D блокова, генерисаних применом интерполационог алгорита на основу спајања полигона са истим или сличним параметрима на паралелним сеизмичким секцијама. Негативан утицај назначених зона може бити последица нарушених физичко-механичких својстава здробљене зоне. Последице нарушених физико-механичких својстава се могу негативно одразити на стабилност кровинских седимената у зони јамске просторије и довести до урушавања кровине приликом израде јамских просторија, уколико се радови одвијају у непосредној близини здробљених зона. Негативни утицај на стабилност кровинских седимената може се испољити и касније, у току експлоатационог века јаме, услед деловања спољних фактора попут горских удара, сеизмичких активности и утицаја радне средине (негативног утицаја технологије експлоатације, ангажоване механизације и сл.). Поред овог утицаја, у овим срединама могућа је и хидрогеолошка повезаност више здробљених-катаклазираних зона, што представља нови вид опасности – опасност од продирања веће количине подземних вода у јамске просторије, што је доказано рударским радом у бочном ходнику ТН-18. У зависности од растојања између јамских просторија и здробљених зона, као и потенцијалне могућности успостављања хидрогеолошке везе између рударског рада и интерпретираних зона. Зоне су подељене у три групе и посебно назначене:

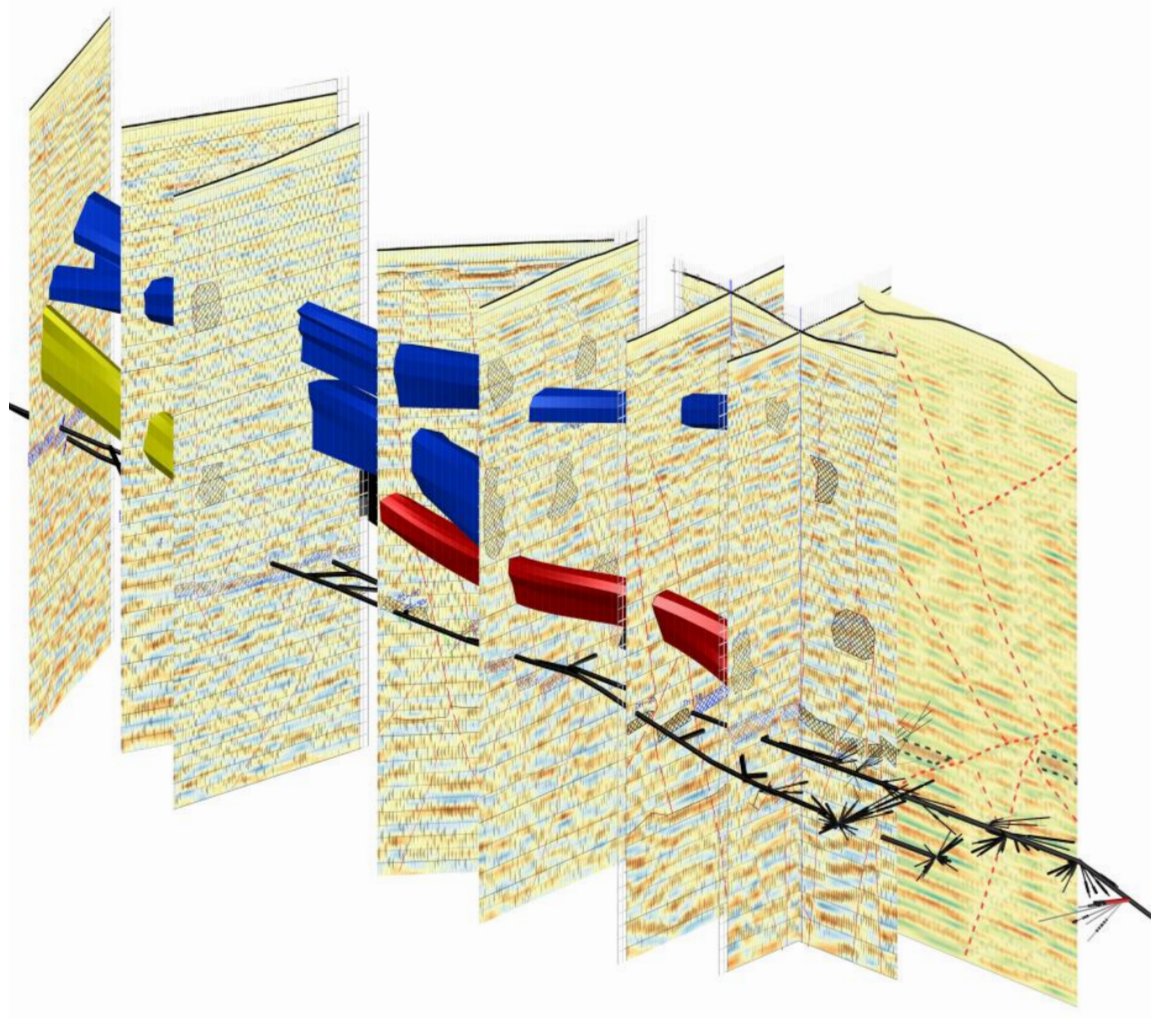
- Прва група – (означена црвеном бојом) у којој је најмања удаљеност између интерпретиране зоне и јамске просторије испод 50 m. Евидентирани су две зоне од којих је једна интерполована између два

профила, док је друга знатно већа и чини је интерполација између четири паралелна профила;

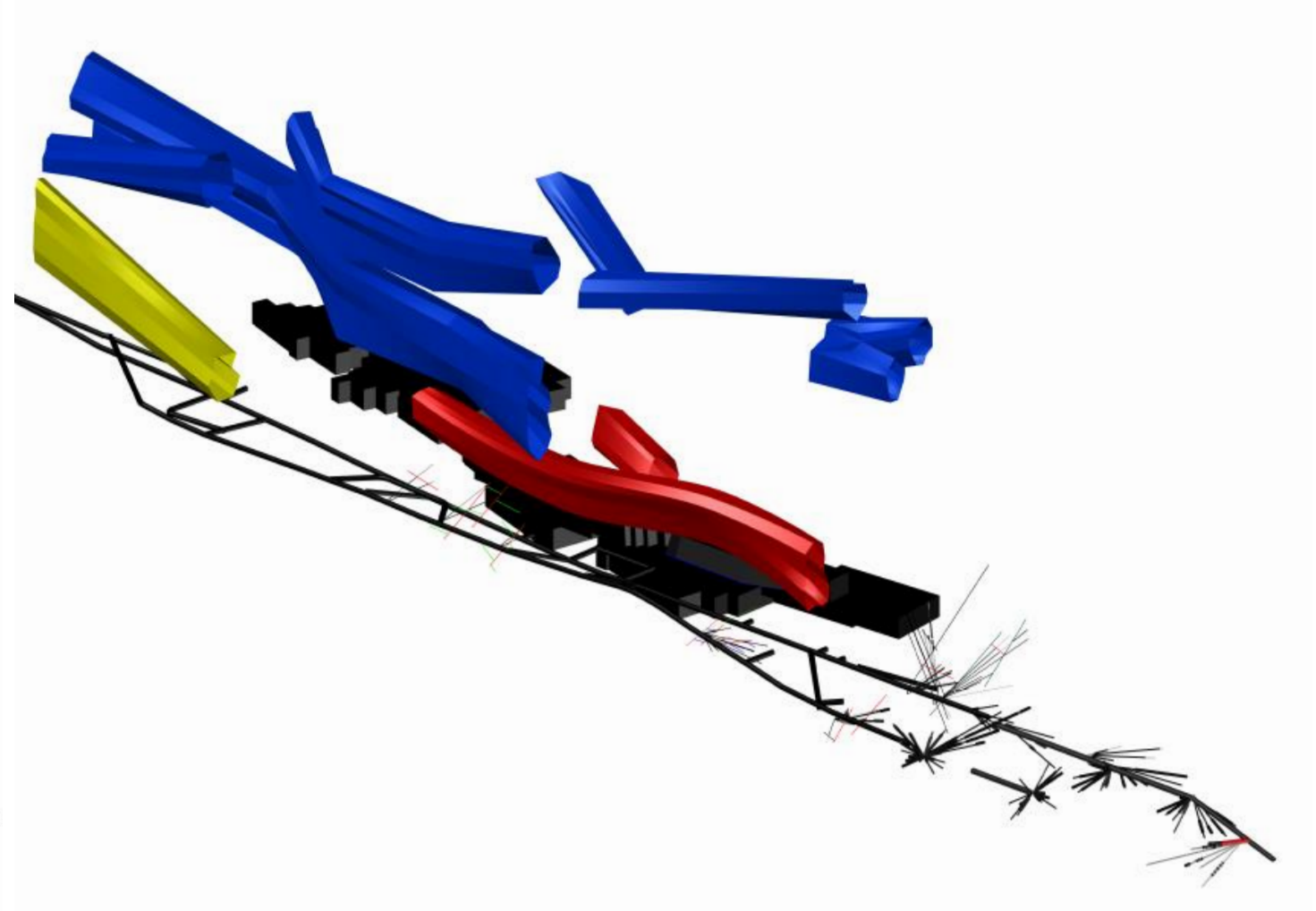
- Друга група – (означена жутом бојом) у којој је најмања удаљеност у интервалу од 50 до 100 m. Чини је интерполација интерпретираних зона на три сеизмичка профила;
- Трећа група – (означена плавом бојом) у којој је најмања удаљеност између здробљене зоне и јамских просторија преко 100 m. Чини је седам зона интерполованих између паралелних пројекција на сеизмичким профилима.

Приликом дефинисања геотехничких својстава подинских и кровинских седимената, на основу геофизичких података помоћу којих је срачуната расподела распрострања брзине Р таласа, узета је у обзир и вредност порозности, удела глине и дефеката присутних услед утицаја притиска кровинских седимената.

a)



б)



Слика 4.10 – Интерполација катаклазираних зона – просторни приказ у 3D моделу. а) приказ интерпретираних профила, јамских просторија и јамских бушотина; б) приказ интерполација катаклазираних зона, јамске просторије, истражна бушења и угљена серија

Поузданост интерпретираних зона је велика у непосредној близини сеизмичких профила. Разлог због кога интерполација у овом случају није представљала најбоље решење је последица непредвидљиве геометрије интерпретираних јединица. Интерполација угљене серије је била изводљива захваљујући релативно великој дебљини угљене серије, познавању лежишних услова и физичких карактеристика угљеног слоја, као и поуздане интерпретације тектонских односа на основу рефлективне сеизмике, истражних бушења и осталих истражних радова. Са друге стране, катаклазиране зоне се истражују са знатно мање корелационих елемената, односно додатних метода на које се може ослонити, па је из тог разлога пожељан континуиран приступ рефлективне сеизмике у просторном домену. Да би се извело прецизно идентификовање просторне расподеле здробљених зона, без примене интерполације, пожељна је примена 3D рефлективне сеизмике јер је геолошки тешко доказати просторну расподелу тектонизираних зона само на основу 2D сеизмике, односно на основу интерполације између профила. На основу 3D секција могуће је сачинити комплексну структурну интерпретацију, са већим нивоом тачности (Walton et al., 2000; Natherly et al., 2008; Qianoling et al., 2015) и тако поспешити процес планирања рударске производње у зонама које ће бити захваћене експлоатационим радовима. На основу тродимензионалне расподеле сеизмичких атрибута могуће је постићи знатно јаснију слику о просторном положају средина са деградираним механичким особинама, које су неправилног облика и за које нема јасне законитости распрострања у простору. У том циљу јавља се потреба за даљим истраживањима применом 3D сеизмике, приликом чега би геометрија катаклазираних зона била јасно дефинисана у простору на свим дубинским нивоима, посебно у непосредној близини јамских просторија. Дводимензионалну рефлективну сеизмику је пожељно изводити у непосредној зони напретка рударских просторија, односно директно изнад просторија, у правцу њиховог напредовања. На овај начин би неопходни подаци о здробљеним и катаклазираним зонама били обезбеђени са великом поузданошћу, посебно у зонама које су од директног значаја за безбедно планирање извођења рударских радова.

5. ЗАКЉУЧАК

Применом 2D рефлективне сеизмике дефинисан је просторни положај угљене серије у оквиру Турђевичког угљеног басена. Оригиналним приступом и применом савремених софтверских решења прикупљен је, обрађен и интерпретиран велики број података на основу минималних аквизиционих радњи. Просторни модел представља синтезу података деструктивних и недеструктивних метода, тачније интеграцију интерпретираних сеизмичких секција и података осталих истражно-експлоатационих радова.

Истраживање је вршено систематски. Најпре је извршена анализа постојећих података на основу којих је сачињен иницијални геофизички модел који је коришћен при симулацијама таласног одзива у софтверском окружењу. Симулације су за циљ имале дефинисање оптималног приступа аквизицији на основу кога су вршена теренска мерења. Након изведених теренских мерења извршена је обрада и интерпретација података. Подаци добијени истражно-експлоатационим радовима коришћени су као полазне основе при интерпретацији података рефлективне сеизмике. Иницијална интерпретација је подразумевала дефинисање доминантних раседних структура, а након тог корака вршено је интерпретирање раседа мањег скока. Након дефинисања структурно-тектонских односа, било је могуће интерпретирати угљени слој, најпре као пројекцију на 2D профилима. Интерполацијом и повезивањем са истражно-експлоатационим радовима у непосредној близини, 2D пројекција угљене серије је преведена у 3D блокове који чине основни елемент просторног геолошког модела. Просторни геолошко-геофизички модел представља надопуњив информациони систем, а коначни облик добија у зонама у којима је завршен експлоатациони процес, под условом да је исти адекватно забележен и унесен у модел.

Приликом експлоатације угља, дошло је до уласка радова у раседну зону, што је за последицу имало продор веће количине воде, и делимично потапање просторије и механизације. С обзиром да је зона дефинисана сеизмичким испитивањима, одлучено је да се издвоје све потенцијално опасне зоне за извођење експлоатационих радова.

Издавањем здробљених зона испред рударских радова могуће је унапредити процес планирања и организовања експлоатационих радова, тако што би се извршила оптимална припрема система за одводњавање у срединама које су назначене као потенцијално опасне. Будући да је геометрија здробљених зона неправилна, 3D рефлективна сеизмика би представљала оптимално решење којим би се избегла потреба за интерполацијом. Приликом израде модела здробљених зона у простору битно је утврдити међусобну повезаност зона и тако утврдити могућност прехрањивања, јер само у том случају оне чине стварну опасност у хидрогеолошком погледу. Поред могућности циркулације подземних вода, ове зоне су опасне због нарушених механичких особина, односно чине директну претњу по стабилност кровинских елемената рударских просторија. За интерпретацију овог типа задовољавајућа је примена 2D рефлективне сеизмике у правцу напредовања рударских радова, јер није неопходно утврђивање међусобне повезаности здробљених зона.

Резултати овог истраживања су допринели разјашњавању и дефинисању геометрије угљене серије Ђурђевичког лежишта угља, одређени су комплексни структурно-тектонски односи лежишта и омогућено је да се унапред издвоје потенцијално опасне зоне за извођење експлоатационих радова. Геофизичко-геолошки модел је у сагласности са пружањем главног угљеног слоја са правцем СЗ-ЈИ и падом према Ј. Употребом 3D модела запремину угљеног слоја није неопходно дефинисати на основу просечне моћности угљене серије. Континуираним приказом угљеног слоја на основу интерпретираних података у 3D моделу могуће је прецизније одредити запремину угљене серије у зонама које требају бити експлоатисане.

Добијени геофизичко-геолошки модел може послужити као база за примену тродимензионалне рефлективне сеизмике високе резолуције са већим просторним обухватом, која може обезбедити значајне додатне информације.

Структурно-тектонски односи у непосредној зони експлоатације показали су се као изузетно комплексни. Наставак истраживања би било пожељно усмерити ка примени 3D рефлективне сеизмике која би могла омогућити прецизнију детерминацију геометрије угљене серије и осталих геолошких параметара. На

основу тога било би могуће додатно оптимализовати истражно-експлоатационе радове. Обраду података треба вршити завршно са временском, а затим и дубинском миграцијом пре стекирања. Ова техника је захтевнија, али доводи до бољих резултата у односу на стандардну обраду, односно боље "осликава" квалитета угља у зони угљене серије. За инверзију је потребно постићи добар однос сигнал/шетња као и добро снимљене каротаже брзине и густине, барем за неколико бушотина унутар зоне у којој се врши 3D аквизиција.

Изградом тродимензионалне слике, засноване на атрибутима геофизичких података у корелацији са синтетичким моделом, дефинисаним на основу каротажних мерења брзине и густине, могуће је извести најпозданију геолошку интерпретацију геофизичких података. Уврштавањем података 3D сеизмике у геофизичко-геолошки модел довело би се до употпуњавања модела новим подацима.

6. ЛИТЕРАТУРА

- Arsenović, S., Urošević, M., Sretenović, B., Cvetkov, V., Životić, D., 2016. *Modelling of a coal seam of the deposit Durdevik (BiH) by means of 2D reflection seismic imaging*. Journal of Geophysics and Engineering 13(3), 422–428.
- Bates, K., Cheret, T., Pauget, F., Lacaze, S., 2009. *Vertical displacement on faults extracted from seismic, offshore Nigeria case study*. 71st Annual International Conference and Exhibition, AGE Extended Abstracts, 5800.
- Biaolong, H., McMechan, A. G., 2005. *Parsimonious 3D post-stack Kirchhoff depth migration*. Geophysical Prospecting 53(4), 507-522.
- Buchanan, D. J., Jackson J. L., 1986. *Coal Geophysics*. Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, p 466.
- Riel, W.J., 1965. *Synthetic seismograms applied to the seismic investigation of a coal basin*. Geophysical Prospecting 13(1), 105-121.
- Глишић, Р., Дангић, А., Милојевић, Р., 1990. *Минералне Сировине Босне и Херцеговине. Том I: Лежишта Угља*, ед. Чичић С. Сарајево: НИШП Ослобођење Сарајево, 58-73 стр.
- Gochioco, L. M., 1990. *Seismic surveys for coal exploration and mine planning*. The Leading edge 09, 25-28.
- Gochioco, L. M., Gochioco, J. R., Ruv, Jr. F., 2012. *Coal geophysics expands with growing global demands for safety and productivity*. The Leading Edge 31, 308-314.
- Gordon, N., Stam, S., Guy, G., 2012. *Back analysis of roof classification and roof support systems at Kestrel North*. 12th Coal Operator's Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 42-51.
- Greenhalgh, S., Suprajitno, M., King, D., 2002. *Shallow seismic reflection investigation of coal in the Sydney basin*. Geophysics 51, 1426-1437.
- Gülünay, N., 2017. *Signal leakage in F-x deconvolution algorithms*. Geophysics 82(5), W31–45. Retrieved (<https://doi.org/10.1190/geo2017-0007.1>).

Зависно друштво Рудник мрког угља "Ђурђевиќ" д.о.о. – Ђурђевиќ,

<http://www.rudnikdjurdjevik.ba>

- Hung, B., Yin, Y., 2013. *Optimal stacking for multi-azimuth pre-stack seismic data*. ASEG Extended abstracts 2012: 22nd Geophysical Conference, 1-4.
- Zhao, P., Wu, X., 2005. *How seismic has helped to change coal mining in China*. First Break 23, 31-34.
- Zhaludev, A. V., Ragoza, E., Kosloff, D. D., 2002. *Fast Kirchhoff migration in the wavelet domain*. Exploration Geophysics 33(1), 23-27.
- Zhou, B., Hartherly, P., Fallon, G., Sommer, D., 2013. *Coal seismic depth conversion for mine data integration: a case study from the sandy Creek 3D seismic survey*. ASEG Extended Abstracts 2004: 17th Geophysical Conference, pp.1-4
- Zhou, B., Haterly, P., 2000. *Pushing coal seismic to its limits through computer aided interpretation and 3D seismic*. Exploration Geophysics 31(2), 343-346.
- Zhou, B., Hatherly, P., 2005. *Delineation of geological structures by 3D seismic surveys in Australian coal mining*. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2000, pp. 1101-1104.
- Zhou, Z., Hilterman, F., 2008. *Offset-dependant NMO correction*. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2008, pp. 3118-3122.
- Ziolkowski, A., Lerwill, W., 1979. *A simple approach to high resolution seismic profiling for coal*. Geophysical Prospecting 27, 360–93.
- Jianxing, H., Shuster, T. G., Valasek, A. P. 2001. *Poststack migration deconvolution*. Geophysics 66, 939-952.
- Jingbin, C., Zhonghong, W., Ping, C., Quanhu, L., Chen, X., 2016. *The application of seismic attribute analysis technique in coal field explration*. Interpretation 4, 13-21.
- Lainiotis, D. G., Katsikas, S. K., Likothanassis, S. D., 1988. *Optimal seismic deconvolution*. Signal Processing 15(4), 375-404.
- Lamb, P. D., Saunders, J., Sweeney, D., 1992. *Reflection seismic sources for defining coal seam structure*. Exploration Geophysics 23(2), 177-184.

- Marsden, D., 1993. *Static corrections – a review, Part III*. The Leading Edge 12(1), 43-49.
- Masjukov, A. V., Murzov, I. S., 2013. *Short-period static correction without normal move out*. Geophysical Prospecting 61(1), 92-103.
- Мешић, М., 2014. *Елаборат о Класификацији и Категоризацији Мрког Угља у Басену Ђурђевић, Са Стањем 31.12.2013.Године*, ЈП Електропривреда БИХ д.д. Сарајево; ЗД Рудник Мрког Угља “Ђурђевић” д.о.о. Ђурђевић; 2014, 5-27 стр.
- Mills, G. F., Brzostowski, M. A., Ridgway, S., Barton, C., 1993. *A velocity model building technique for pre-stack depth migration*. First Break 11(10), 435-443.
- Onajite, E., 2014. *Seismic data analysis techniques in hydrocarbon exploration*. Doi: 10.1016/B978-0-12-420023-4.00002-2, ISBN: 9780124200234.
- Palmer, D., 1987. *High resolution seismic reflection surveys for coal*. Geoexploration 24, 397-408.
- Pesowski, M. S., Larson, R. K., 2000. *Seismic exploration methods applied to Potash mining: Risk analysis and mine planing*. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1105-1108.
- Poole, G., Walsh, R., Newland, A., Leung, L., 1995. *Combined seismic technology for mine planing – a user's perspective*. Exploration Geophysics 26, 319-324.
- Poole, T. L., Curtis, A., Roertsson, O. J., Manen, D. J., 2010. *Deconvolution imaging conditions and cross-talk suppression*. Geophysics 75(6), 1-12.
- Rafaelsen, B., 2006. *Seismic resolution and frequency filtering*. University Tromso, Lecture 2-4. http://folk.uio.no/hanakrem/svalex/Misc/Seismic_resolution.pdf
- Rosten, T., Ramstad, A. T., 1998. *Kirchhoff migration of 2-D post-stack seismic data after subband decompositon*. Image Processing, ICIP 98. Proceedings. 1998 International Conference. Vol.3, 353-357.
- Schneider, A. W., 1978. *Integral formulation for migration in two and three dimensions*. Geophysics 43(1), 49-76.

- Sheriff, R., 1985. *Aspects of seismic resolution*, Seismic stratigraphy II – An integrated approach to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir 39, 1-10.
- Sheriff, R., 2002. *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, ISBN (print): 978-1-56080-118-4. ISBN (online): 978-1-56080-296-9.
- Steples, W. D., Miller, D. R., 1997. *Seismic reflection methods applied to engineering environmental and groundwater problems the basics of various seismic methods*. Volumes on Geotechnical and Environmental Geophysics 1, 1-33.
- Стевић, М., 1985. *Геомеханичка Испитивања Угља и Стијена Праћених Наслага Са Локалитета Будућег Површинског Копа “Вишња II” и Прорачун Радних и Завршних Косина. РО РУДАРСКО ГЕОЛОШКИ ИНСТИТУТ И ФАКУЛТЕТ, Тузла*
- Стевић, М., 1988. *Геомеханички Извјештај о Стабилности Косина у 1988. Години На Површинском Копу “Вишња II” у Бурђеву. РО РУДАРСКО ГЕОЛОШКИ ИНСТИТУТ И ФАКУЛТЕТ, Тузла.*
- Стевић, М., 1989. *Геомеханички Извјештај о Стабилности Косина у 1989. Години На Површинском Копу “Поточари” у Бурђевик. РО РУДАРСКО ГЕОЛОШКИ ИНСТИТУТ И ФАКУЛТЕТ, Тузла.*
- Стевић, М., Хацић, Ф., Франчина, Ж., Хасанић, Ф., 1989. *Пројекат Допунског Истраживања На Подручју Јаме Бурђевик 2 – Бурђевик. РО РУДАРСКО ГЕОЛОШКИ ИНСТИТУТ И ФАКУЛТЕТ, Тузла.*
- Thomas L., 2013. *Coal geology, 2nd edition*. Chichester: Wiley, 460 pp. ISBN-13: 978-1119990444
- Thorson, R. J., 1984. *Velocity stack and slant-stack stochastic inversion*. Geophysics 50(12), 2727-2741.
- Tselentis, G. A., Paraskevopoulos, P., 2002. *Application of a high-resolution seismic investigation in a Greek coal mine*. Geophysics 67(1), 50-59.
- Harman, P. G., 1984. *High resolution seismic reflection techniques applied in coalfields: Cook Colliery, Queensland, a case history*. Exploration Geophysics 15(4), 220-228.

- Hatherly, P., Zhou, B., Peters, T., Urosevic, M., 2008. *Acoustic impedance inversion for geotechnical evaluation in underground coal mining*. SEG Technical program expanded abstract, doi:10.1190/1.3064076.
- Hatherly, P., Zhou, B., Urosevic, M., Peters, T., 2013. *Insights into seismic inversion for geotechnical property estimation in coal mining*. ASEG Extended Abstracts 2007: 19th Geophysical conference, p. 1-4.
- Haneberg, W., 2014. *The Rock Physics Handbook*, Environmental & Engineering Geoscience, doi: 10.2113/gseegeosci.v.4.489, ISSN: 1078-7275
- Hearn, S., 2004. *Shallow, high-resolution converted-Wave seismology for coal exploration*. ASEG Extended Abstracts, 10.1071/ASEG2004ab066
- Hosken, J. W. J., 1988. *Ricker wavelets in their various guises*. First Break 6(1), 24-33.
- Chuster, G., 2017. *Seismic Inversion*. Society of Exploration Geophysicists.
- Clarke, A.M., 1976. *Why modern exploration has little to do with geology and much more to do with mining*. Colliery Guardian **224**, 323–36 (Coal Geophysics, *Geophysics Reprint Series No. 6*. Society of Exploration Geophysicists ed D J Buchanan and J.L Jackson (Tulsa) pp 10–27 (466 pp)).
- Cox, M., 1999. *Static corrections for seismic reflection surveys*. Society of Exploration Geophysicists, ISBN: 978-1-56080-080-4.
- Qianoling, L., Peng, S., Zou, G., 2015. *High resolution processing of 3D seismic data for thin coal seam in Guqiao coal mine*. Journal of Applied Geophysics 115, 32-39.
- Walton, C., Evans, B., Urosevic, M., 2000. *Imaging coal seam structure using 3-D seismic methods*. Exploration Geophysics 31(3), 509-514.
- Wang, R. J., 1977. *Adaptive predictive deconvolution of seismic data*. Geophysical Prospecting 25(2), 342-381.
- Wang, Y., 2015. *Frequencies of the ricker wavelet*. Geophysics 80(2), A31-37.
- Wang, Y., Rao, Y., 2009. *Reflection seismic waveform tomography*. Journal of Geophysical Research 114(B3), 03304.
- Williamson, R. P., 1988. *Seismic reflection tomography*. Exploration Geophysics 19(2), 391-393.

- Wood, L. C., Treitel, S., 1975. *Seismic signal processing*. Proceedings of the IEEE 63(4), 649-661.
- Wu, X., Hale, D., 2015. *3D Seismic image processing for faults*. SEG Technical Program, Pp.1728-1733.
- Yilmaz, Ö., 2001. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Society of Exploration Geophysicists, ISBN (print): 978-1-56080-094-1, ISBN (online): 978-1-56080-158-0.

Додатак 1 - Деконволуција, конвенционални приступ

Сеизмичка траса се може дефинисати на основу конволуционог модела израженог као:

$$x(t) = w(t) * e(t) \quad \text{Д.1}$$

где је: $x(t)$ – сеизмичка траса;

$w(t)$ – сеизмички таласић (изворни импулс);

$e(t)$ – одзив средине кроз коју се сеизмички таласи распростиру, односно функција рефлексије-рефлективности тла.

На основну функцију потребно је додати и утицај сеизмичке буке, у виду функције $n(t)$ случајног карактера. Тако да израз добија облик:

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t) \quad \text{Д.2}$$

У овом случају изузет је утицај кохерентних типова сметњи попут површинских таласа, конвертованих таласа и мултипла, будући да је циљ обраде сеизмичких података реконструкција функције $e(t)$, односно истицање импулсног одзива рефлективне функције средине у којој се таласи емитују. Ако се претпостави да се филтер $f(t)$ конволуира са датим сеизмограмом $x(t)$ тако да се одзив средине може представити као:

$$e(t) = f(t) * x(t) \quad \text{Д.3}$$

Додавањем израза Д.3 у израз Д.2 биће:

$$x(t) = w(t) * f(t) * x(t) \quad \text{Д.4}$$

Елиминисањем $x(t)$ биће:

$$\delta(t) = w(t) * f(t) \quad \text{Д.5}$$

где $\delta(t)$ представља Кронекерову* делта функцију изражену као:

$$\delta(t) = \begin{cases} 1, & t = 0 \\ 0, & \text{друго} \end{cases}$$

Решавањем једначине Д.5 произилази:

$$a(t) = \delta(t) * w'(t) \quad \text{Д.6}$$

где $w'(t)$ представља инверзни сеизмички таласић. Задатак филтера је да реконструише импулсни одзив средине кроз коју се таласи распростиру на основу математичке инверзије сеизмичког таласића. Инверзни филтер претвара полазни таласић у "спајк" са нултим временом, односно инверзни филтер ће конвертовати сеизмограм у серију спајкова на основу импулсивног одзива рефлективности средине кроз коју се таласи распростиру. Овај случај деконволуције је погодан уколико су познате карактеристике изворног таласића који може бити дефинисан на основу "Z трансформације".

Да би инверзија била извршена пожељно је да таласић има следеће карактеристике: минималне фазе, једнакостраност и нулу пре нултог времена. Већа тачност се постиже употребном инверзног филтера са методом најмањих квадрата. Пожељно је да грешка између стварног и жељеног излаза буде минимална, односно да се тиме сведе разлика између срачунатог (s) и жељеног (\check{z}) излаза што је више могуће:

$$L = \sum_{t=0}^n (s_t - \check{z}_t)^2 = (s_0 - \check{z}_0)^2 + (s_1 - \check{z}_1)^2 + \dots \quad \text{Д.7}$$

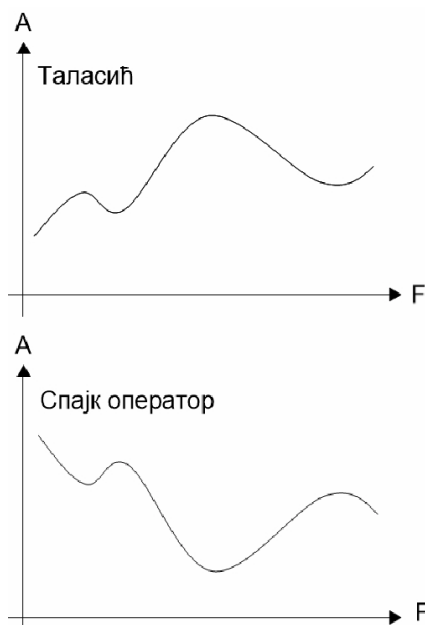
На основу процедуре у којој се врши компресија таласића у спајк, овај случај представља посебан случај деконволуције назван спајк деконволуција. Приликом примене овог филтера већи је утицај самог таласића од дужине филтра. Жељени излаз се нумерички може представити као $(1,0,0\dots)$ односно:

* Названу по Леополду Кронекеру, немачком математичару

$$\begin{bmatrix} \Gamma_0 & \Gamma_1 & \Gamma_2 & \cdot & \cdot & \Gamma_{n-1} \\ \Gamma_1 & \Gamma_0 & \Gamma_1 & \cdot & \cdot & \Gamma_{n-2} \\ \Gamma_2 & \Gamma_1 & \Gamma_0 & \cdot & \cdot & \Gamma_{n-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \Gamma_{n-1} & \Gamma_{n-2} & \Gamma_{n-1} & \cdot & \cdot & \Gamma_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Д.8}$$

На основу израза се може закључити да спајк деконволуција има математичку форму инверзног филтера најмањих квадрата. Једина разлика у пракси се огледа у томе што је аутокорељација функције представљене у Д.8 срачуната на основу

улаза са сеизмограма, док је метод најмањих квадрата ослоњен на познат изворни таласић. Аутокорељација сеизмичке трасе представља апроксимацију изворног таласића, односно таласића са минималном фазом. Спајк деконволуција функционише у свим случајевима, али се као најоптималнија ситуација истиче примена на сигналима са минималном фазом. Инверзни оператор a_n у изразу Д.8 представља оптималну апроксимацију изворног таласића. Оператор спајк деконволуције има изглед обрнутог амплитудног спектра изворног таласића (Слика Д.1)



Слика Д.1 – Облик оператора спајк деконволуције у односу на амплитуду таласића

Предиктивна деконволуција представља оптималну опцију у случају када је жељени излаз временски дефинисаног облика и у директној зависности од улазних података. Предиктивна деконволуција за задатак има предиктивно дефинисање излазних података на основу улазног сета података функције $x(t)$ у надолазећем временском интервалу $x(t + \alpha)$, где је α временски инкремент који одговара дужини предиктивног оператора.

Пример 1.

На основу улазне серије $X_i, i = 0,1,2,3,4$ а корак предиктивне деконволуције износи $\alpha = 2$, аутокорелација серије X_i биће:

$$r_0 = x_0^2 + x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2$$

$$r_1 = x_0x_1 + x_1x_2 + x_2x_3 + x_3x_4$$

$$r_2 = x_0x_2 + x_1x_3 + x_2x_4$$

$$r_3 = x_0x_3 + x_1x_4$$

$$r_4 = x_0x_4$$

Кроскорелација између жељеног излаза $x(t + 2)$ и улазног сета $x(t)$, биће:

$$g_0 = x_0x_2 + x_1x_3 + x_2x_4$$

$$g_1 = x_0x_3 + x_1x_4$$

$$g_2 = x_0x_4$$

Будући да $r_2 = g_0, r_3 = g_1$ и $r_4 = g_2$, једначина се може писати у облику:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \\ r_1 & r_0 & r_1 & r_2 & r_3 \\ r_2 & r_1 & r_0 & r_1 & r_2 \\ r_3 & r_2 & r_1 & r_0 & r_1 \\ r_4 & r_3 & r_2 & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \end{bmatrix} \quad \text{Д.9}$$

Вредност предиктивног филтера a_i , где је $i = 0,1,2,3,4$ може се дефинисати у једначини Д.9 а вредност излазних података серије $y_i = a_i * x_i$ може бити срачуната као:

$$y_0 = a_0x_0$$

$$y_1 = a_1x_0 - a_0x_1$$

$$y_2 = a_2x_0 - a_1x_1 - a_0x_2$$

$$y_3 = a_3x_0 - a_2x_1 - a_1x_2 - a_0x_3$$

$$y_4 = a_4x_0 - a_3x_1 - a_2x_2 - a_1x_3 - a_0x_4$$

Циљ примене предиктивне деконволуције огледа се у покушају да се предвиди вредност у временском инкременту улазне серије x_i . На основу поређења грешке између предиктивног и стварног податка:

$$L = \sum_{t=0}^n (c_t - d_t)^2 = (c_0 - d_0)^2 + (c_1 - d_1)^2 + \dots$$

$$e_2 = x_2 - a_0x_0$$

$$e_3 = x_3 - a_1x_0 - a_0x_1$$

$$e_4 = x_4 - a_2x_0 - a_1x_1 - a_0x_0$$

$$e_5 = 0 - a_3x_0 - a_2x_1 - a_1x_2 - a_0x_3$$

$$e_6 = 0 - a_4x_0 - a_3x_1 - a_2x_2 - a_1x_3 - a_0x_4$$

Као и поређење конволуционог филтера a_i са коефицијентима $(1, 0, -a_0, -a_1, -a_2, -a_3, -a_4)$ са улазном серијом x_i :

$$e_0 = x_0$$

$$e_1 = x_1$$

$$e_2 = x_2 - a_0x_0$$

$$e_3 = x_3 - a_1x_0 - a_0x_1$$

$$e_4 = x_4 - a_2x_0 - a_1x_1 - a_0x_0$$

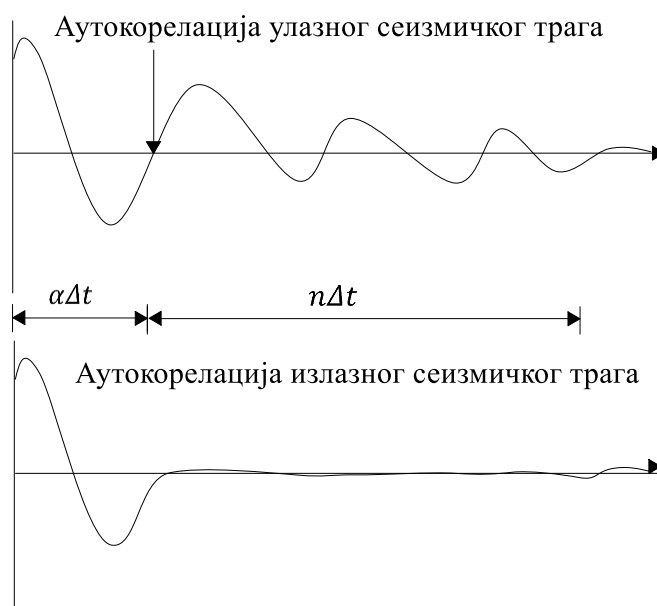
$$e_5 = 0 - a_3x_0 - a_2x_1 - a_1x_2 - a_0x_3$$

$$e_6 = 0 - a_4x_0 - a_3x_1 - a_2x_2 - a_1x_3 - a_0x_4$$

Из наведених једначина јасно је уочљиво да су вредности једнаке за e_2, e_3, e_4 и e_5 . Резултат серије грешака се може добити и директнијом методом, тако што се конволуира улазна серија са филтером типа $(1, 0, -a_0, -a_1, -a_2, -a_3, -a_4)$.

Сеизмичка траса састоји се од серије импулса случајног карактера. Функција рефлективности је у стварном окружењу случајног карактера и не постоји могућност дефинисања законитости. Једина предвидива компонента у низу случајних импулса (одзива) рефлексива су мултипла који се јављају периодично. Након примене предиктивног филтра, филтрирани подаци подразумевају идентификацију мултипла, док се у преосталом делу података који се налази у домену предиктивне грешке налазе корисни подаци, односно стварна рефлексива која је била замаскирана нежељеним појавама мултипла.

На слици Д.2 приказана је аутокорељација излазног сигнала након примене деконволуције. На горњем графика приказано је дефинисање времена понављања, а то је време мултипла. Зона између нултог времена и стрелице представља очекивани изглед нашег таласића (предиктивно време), а преостали сигнал представља последицу мултипла. Предиктивна деконволуција се одвија тако што се дефинише позиција друге нуле (назначена стрелицом) и период мултипла. Спајк деконволуција представља случај у коме друга нулта позиција дефинише један семпл.



Слика Д.2 – Аутокорељација излазног сигнала применом деконволуције

Списак скраћеница

2D – Две димензије

3D – Три димензије

AGC – (*Automatic Gain Control – AGC*) - Аутоматско појачање сигнала

CDP – (*Common Depth Point – CDP*) – Заједничка дубинска тачка

CMP – (*Common Mid Point – CMP*) - Заједничка међутачка, односи се на половину растојања између извора и пријемника

CVG – (*Constant Velocity Gather – CVG*) – При анализи сеизмичких брзина CVG подразумева технику која узима у обзир константну брзину за читаву путању

CVS – (*Constant Velocity Stack – CVS*) - Техника анализирања сеизмичких брзина

FD – (*Finite Difference – FD*) – Метод коначних разлика

FDDM – (*Finite-Difference Depth Migration – FDDM*) – Миграција сеизмичких података заснована на принципу метода коначних разлика

GSR – (*Geophysical Strata Rating – GSR*) – Емпиријска вредност дефинисана квалитетом стена на основу геофизичких мерења

IRTDM – (*Imgae-Ray Tracing Depth Migration – IRTDM*) – Техника миграције сеизмичких података

LMO – (*Linear Move Out – LMO*) – Линеарна апроксимација утицаја удаљености извор-пријемник

NMO – (*Normal Move Out – NMO*) – Апроксимација утицаја удаљености извор-пријемник

RTDM – (*Ray-Theoretical Depth Migration – RTDM*) – Техника сеизмичке миграције

SNR – (*Signal to Noise Ratio* – *SNR*) – Однос корисног сигнала и буке

VSP – (*Vertical Seismic Profil* – *VSP*) – Вертикално сеизмичко профилисање

Биографија

Синиша Арсеновић је рођен 31. октобра 1987. године у Тузли, Република Босна и Херцеговина. Основне академске студије „Студијски програм за нове информационе технологије“ на Универзитету “Слобомир П“ у Бијељини уписао је школске 2006/07. године. Дипломирао је јула 2010. године са просечном оценом 7,65 и оценом 10 на одбрани завршног рада са темом „Информационе технологије у геофизичко-сеизмолошким истраживањима“. Школске 2010/11. уписао је мастер студије на студијском програму Геофизика, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду и завршио их у септембру 2012. са просечном оценом 9,15 и оценом 10 на одбрани мастер рада са темом „Истраживање лежишта угља сеизмичким методама“.

За време трајања мастер студија кандидат је обавио специјализацију у „Институту грађевинарства Хрватске д.д.“ у оквиру сектора за геотехнику – одсек за геофизику у периоду од 13.06.2011 до 16.07.2011. године (уверење бр.00-090/2011).

Аутор је једног рада у међународном часопису са SCI листе и седам радова који су презентовани на домаћим и међународним научним скуповима.

Од страних језика течно говори енглески. Члан је асоцијација European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE) и Society of Exploration Geophysicists (SEG).

У оквиру SEG асоцијације и GWB (Geoscientists Without Borders) фондације 2015/2016. године учествује као експерт за геоелектрична испитивања на пројекту „Assessment of flood damaged infrastructures in Bosnia & Herzegovina and Serbia“.

РАДОВИ ПРОИСТЕКЛИХ ИЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Категорија М23

Arsenović, S., Urošević, M., Sretenović, B., Cvetkov, V., Životić, D., 2016. *Modelling of a Coal Seam of the Deposit Durdevik (BiH) by Means of 2D Reflection Seismic Imaging*, Journal of Geophysics and Engineering, Vol. 13(3): 422-428; Impact factor: 0.778, ISSN 1742-2132; doi:10.1088/1742-2132/13/3/422.

Категорија М64

Арсеновић, С., Арсеновић, Ж., 2013. *Моделирање угљеног слоја лежишта Бановићи (БИХ) на основу 2Д рефлективне сеизмике*, I Конгрес геолога у Босни и Херцеговини са међународним учешћем, Тузла, Књига сажетака, 136; ISSN 1840-4073.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Синиша Арсеновић

Број индекса Г804/2012

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ПРОСТОРНИ ПОЛОЖАЈ ЛЕЖИШТА УГЉА ЂУРЂЕВИК:

ГЕОФИЗИЧКО-ГЕОЛОШКИ МОДЕЛ

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Синиша Арсеновић
Број индекса Г804/2012
Студијски програм Геофизика
Наслов рада Просторни положај лежишта угља Ђурђевик: Геофизичко-геолошки модел
Ментор Проф др Драгана Животић и Проф др Весна Цветков

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ПРОСТОРНИ ПОЛОЖАЈ ЛЕЖИШТА УТЉА ЂУРЂЕВИК:
ГЕОФИЗИЧКО-ГЕОЛОШКИ МОДЕЛ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____
