

Novi zamah istraživanju ugljikovodika u Panonskom bazenu – seizmička kampanja na istražnim blokovima DR-03 i SZH-01

New momentum to hydrocarbon exploration in the Pannonian Basin – seismic campaign in the DR-03 and SZH-01 exploration blocks

Igor Sruk, Goran Jović,
Tomislav Baketarić
INA – Industrija nafte, d.d.

Ivana Žanić
INA – Industrija nafte, d.d.



Ključne riječi: istražni blokovi, DR-03, SZH-01, seizmička akvizicija, bežična tehnologija, obrada seizmičkih podataka, spajanje projekata,

Key words: exploration blocks, DR-03, SZH-01, seismic acquisition, wireless technology, seismic data processing, project merging

Sažetak

Tijekom 2020. godine INA je osvojila nove istražne koncesije DR-03 i SZH-01 te je pokrenula novi ciklus istraživanja ugljikovodika na tim područjima. Prvi korak opsežnog radnog programa bila je akvizicija i obrada seizmičkih podataka. Snimljeno je 600 km² nove 3D seizmike na bloku DR-03 te 150 km² na bloku SZH-01 što čini ovu akvizicijsku kampanju najopsežnijom do sada u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Po prvi puta prilikom akvizicije korištena je wireless tehnologija što je omogućilo snimanje podataka više kvalitete u kraćem roku te sa manjim utjecajem na okoliš i lokalno stanovništvo. Snimljeni podatci obrađeni su upotrebom naprednih tehnologija i algoritama te su spojeni sa susjednim volumenima

tvoreći konsolidirane volumene velikih površina. Takav pristup omogućio je pouzdaniju seizmo-geološku interpretaciju, upotrebu naprednih interpretacijskih tehnologija na širem području te olakšao definiranje istražnog portfelja.

Abstract

In 2020. INA was awarded with new exploration blocks DR-03 and SZH-01 starting new hydrocarbon exploration cycle in these areas. First step in extensive working program was seismic data acquisition and processing. In overall 600 km² of seismic data was acquired on DR-03 block and 150 km² on SZH-01 block which makes this seismic campaign the most extensive one in the history of Croatian part of Pannonian basin. For the first time wireless technology was used providing acquisition of higher quality data with faster turnaround time, lower HSE footprint and lower impact on local community. Acquired data was processed using high-end algorithms and afterwards merged with the existing older volumes providing consolidated volumes covering large areas. This approach

enabled reliable seismo-geological interpretation, utilization of advanced interpretation techniques which significantly impact the prospect portfolio generation.

1. Uvod

Odlukom Vlade Republike Hrvatske, INA – Industrija nafte d.d. na natječaju za istraživanje ugljikovodika osvojila je istražne prostore Drava – 03 (DR-03) i Sjeverozapadna Hrvatska – 01 (SZH-01) te 26.3.2020. potpisala Ugovore o istraživanju i podjeli proizvodnje ugljikovodika.

U sklopu radnog programa na novim istražnim prostorima, INA se obvezala da će u prvoj istražnoj fazi tijekom trogodišnjeg razdoblja provoditi geofizičke aktivnosti koje uključuju 3D seizmička snimanja i obradu novo snimljenih seizmičkih podataka.

Na istražnoj koncesiji DR-03 seizmičkom akvizicijom obuhvaćena su dva poligona: 3D Crnac zapad (400 km²) i 3D Virovitica jug (200 km²) dok je na istražnoj koncesiji SZH-01 snimljen jedan poligon 3D Međimurje ekstenzija (150 km²) (Slika 1). Ukupna površina sva tri poligona iznosi 750 km², snimljeno je ukupno 68 884 točaka, preko 250 166 768 tragova te više od 5 Tb podataka što ovu kampanju seizmičke akvizicije zasigurno čini najopsežnijim u povijesti snimanja u kopnenom djelu Hrvatske.

Također po prvi puta u Hrvatskoj 3D akvizicija izvršena je upotrebom wireless tehnologije. Umjesto klasičnih akvizicija izvođenih pomoću geofona i kablova na ovim projektima primijenila se bežična

tehnologija te su geofone zamijenili nodovi, bežični prijemnici seizmičkih signala.

Nakon akvizicije podaci su obrađeni u INA-inom centru za obradu seizmičkih podataka te su spojeni sa postojećim susjednim volumenima. Crnac zapad 3D tako je spojen sa Zalata-Cun 3D te Bokšić-Crnac-Donji Miholjac 3D što je rezultiralo 3D volumenom ukupne površine oko 1 300 km² trenutno najvećim 3D volumenom u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Virovitica jug 3D spojena je sa 3D Grubišno polje (ukupno 450 km²) dok je Međimurje ekstenzija 3D volumen spojen sa Međimurje 3D čineći ukupnu površinu od 310 km².

Takvi spojeni volumeni poslužili su kao osnova za integriranu seizmo-geološku interpretaciju šireg područja na temelju koje je definiran istražni portfelj koji će u narednom periodu biti testiran novim istražnim bušotinama.

2. Akvizicija seizmike

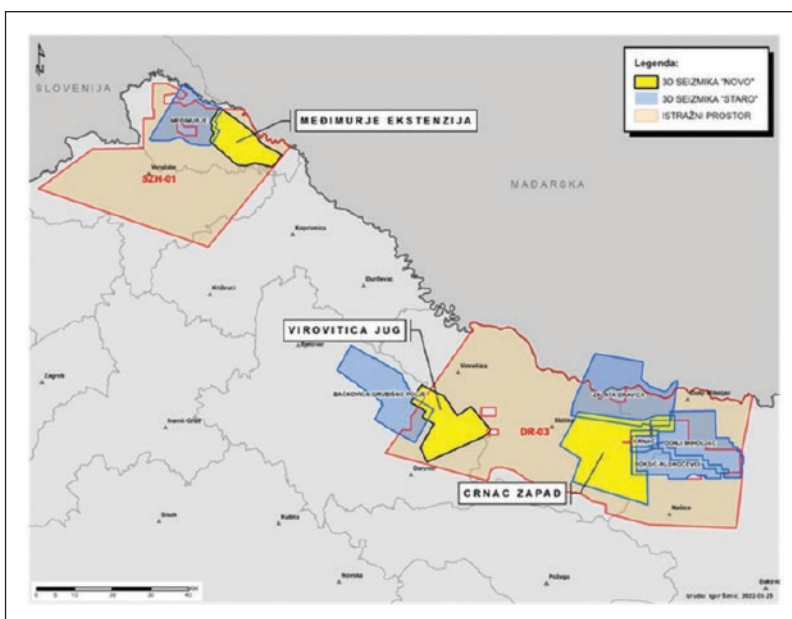
2.1. Wireless tehnologija

Dosadašnji princip seizmičke akvizicije izvodio se pomoću geofonskih točaka koje bi sadržavale po 6/12/24 geofona postavljenih u figuri te međusobno povezanih kablom koji se spajao na prijenosne kablove do kutija koje su pretvarale analogni signal u digitalni te potom u sabirne kutije. Sabirne kutije morale su imati napajanje u vidu teških akumulatorskih baterija te su kablom spojene do aparature za snimanje koja prikuplja sve snimljene podatke. Ovakvu dosadašnju praksu snimanja seizmike zamijenili su nodovi (eng. Nodes) i bežična tehnologija.

Sva tri projekta odrađeni su sa Quantum/Tremornet nodovima proizvođača Inova (Slika 2).

Lagani i mali nodovi uvelike su pridonijeli bržem, efikasnijem i sigurnijem postavljanju opreme na raznim tipovima terena.

Također, velika prednost nodova su fleksibilnost i izdržljivost. Naime u njima su integrirane punjive Li-ion baterije koje omogućuju više od 50 dana operativnosti, GPS prijemnik, memorija za pohranu podataka, širokopojasni i visokoosjetljivi senzor te omogućuju bežičnu komunikaciju pomoću Bluetooth-a. Olakšana je i sama kontrola kvalitete rada postavljenih prijemnika na terenu pa se ona sada odvija



Slika 1. Lokacije seizmičke kampanje i preklopi s prethodnim 3D seizmikama



Slika 2. Primjer Quantum/Tremornet noda

pomoću aplikacije koja se može instalirati na svaki mobilni telefon. Izuzetno bitno je da takva metodologija znatno olakšava seizmičku akviziciju u naseljenim krajevima te radove u poljoprivrednim područjima čime smanjuje moguću štetu na usjevima.

Operativni benefiti omogućili su veliki iskorak i u samom planiranju seizmičke akvizicije odnosno u dizajnu parametara.

Velike količine te dostupnost takvih vrsta prijemnika omogućuju dizajniranje puno gušćih seizmičkih akvizicija smanjivanjem razmaka između linija izvora i točaka prijemnika što u konačnici rezultira znatnim povećanjem broja snimljenih seizmičkih tragova te boljim prostornim uzorkovanjem seizmičkih podataka.

2.2. Terenski radovi

Kampanja seizmičke akvizicije započela je u ljeto 2020. a završila je u ljeto 2021. godine. S kratkotraj-

nim prekidima između pojedinih projekata zbog seljenja sa lokacije na lokaciju te svih pripremnih radnji prije početka snimanja kampanja je trajala devet i pol mjeseci a samo snimanje sva tri projekta trajalo je ukupno 182 dana.

U tome periodu postavljeno je ukupno 83 019 prijemnika poredanih u 310 profila ukupne dužine 3 301 km (toliko otprilike iznosi zračna udaljenost Zagreb – Reykjavík). Na sva tri 3D projekta snimljeno je 68 844 točaka izvora seizmičke energije, od toga 61 264 VP vibratorskih točaka (VP; eng. Vibro Point) i 7 580 SP eksplozivnih točaka (SP; eng. Shoot Point). Ukupna dužina 208 pripremljenih profila sa točkama izvora iznosi 2 717 km. Snimljeno je ukupno 250 166 768 seizmičkih tragova. Najbitniji akvizicijski parametri za sva tri projekta navedeni su u Tablici 1. Ovako impresivne brojke u tako kratkom vremenskom periodu bilo je moguće ostvariti upotrebom wireless tehnologije.

Tablica 1: Parametri akvizicije za sva tri 3D projekta

| AKVIZICIJSKI PARAMETRI | 3D CRNAC ZAPAD | 3D VIROVITICA JUG | 3D MEĐIMURJE EKSTENZIJA |
|------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|
| Površina (km ²) | 400 | 200 | 150 |
| Broj snimaka | 40 855 | 12 585 | 15 404 |
| Nominalno prekrivanje | 210 | 108 | 130 |
| Razmak prijemnika (m) | 40 | 50 | 30 |
| Razmak točaka izvora (m) | 40 | 50 | 30 |
| Veličina ćelije – „CMP“-a (m) | 20 x 20 | 25 x 25 | 15 x 15 |
| Razmak linija prijemnika (m) | 240 | 200 | 240 |
| Razmak linija izvora (m) | 240 | 300 | 300 |
| Broj aktivnih linija prijemnika | 28 | 24 | 26 |
| Broj prijemnika po točki | 1 | 1 | 1 |
| Broj aktivnih prijemnika po liniji | 180 | 108 | 200 |

| AKVIZICIJSKI PARAMETRI | 3D CRNAC ZAPAD | 3D VIROVITICA JUG | 3D MEĐIMURJE EKSTENZIJA |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| Ukupan broj aktivnih prijemnika | 5 040 | 2 592 | 5 200 |
| Orijentacija linija prijemnika | 205° | 210° | 210° |
| Orijentacija linija izvora | 295° | 300° | 300° |
| Dužina snimke (ms) | 6 000 | 5 000 | 6 000 |
| Uzorkovanje (ms) | 1 | 1 | 1 |
| Vrsta izvora | Vibrator/Eksploziv | Vibrator/Eksploziv | Vibrator |
| Vibratorske točke | 38 594 (94,5 %) | 7 266 (57,7 %) | 15 404 |
| Eksplozivne točke | 2 261 (5,5 %) | 5 319 (42,3 %) | 0 |
| Broj vibratora po točki | 2 | 3 | 3 |
| Frekvencija sweepa (Hz) | 8 – 100 | 8 – 100 | 8 – 100 |
| Dužina sweepa (s) | 18 | 18 | 18 |
| Vrsta sweepa | linearni | linearni | +3dB/Oct |
| Broj sweepa | 2 | 3 | 2 |
| Broj bušotina po ekspl. izvoru | 1 | 1 | - |
| Količina eksploziva (kg) | 2,7 | 3,6 | - |
| Dubina bušotine (m) | 10 | 10 | - |
| Vrsta prijemnika | Tremornet/Quantum | Tremornet/Quantum | Tremornet/Quantum |

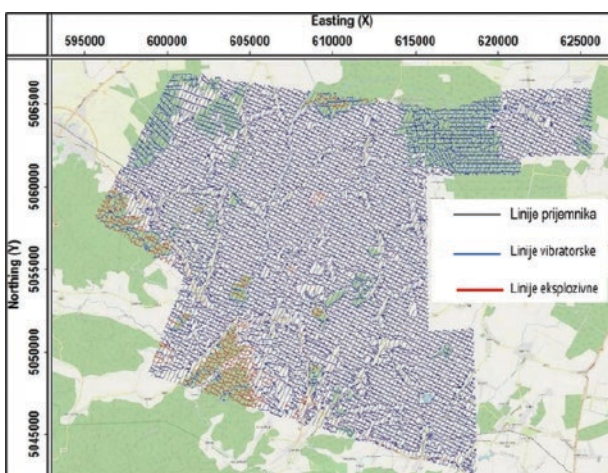
2.2.1. 3D Crnac zapad

Poligon 3D Crnac zapad smješten je u centralnom dijelu istražne koncesije DR-03 i zahvaća 400 km² (Slika 1). Preklapa se sa već postojećim 3D poligonima; na sjeveru sa 3D Zalata-Dravica te na istoku sa 3D Donji Miholjac, 3D Crnac i 3D Bokšić-Klokočevci.

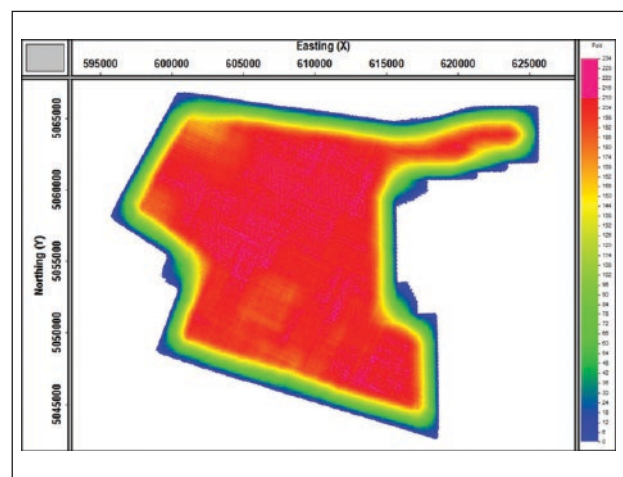
Zahvatio je dvije županije, većim dijelom (86 %) Virovitičko-podravsku te manjim dijelom Osječko-baranjsku županiju (14 %). Teren je bio izrazito pogodan za akviziciju seizmike. Radi se uglavnom o nizinskom, dominantno poljoprivrednom kraju, tek

manjim dijelom zahvaćenom obroncima Papuka te je kao takav većim dijelom uspješno odrađen vibratorima (94,5 %). Zbog gustih šuma 5,5 % poligona bilo je nedostupno vibratorima te je taj dio odrađen eksplozivom kao seizmičkim izvorom energije.

Na Slici 3 prikazan je pregled situacije snimljenih linija prijemnika te eksplozivne i vibratorske linije. Glavni parametri i geometrija snimanja na 3D Crnac zapad navedeni su u Tablici 1. Snimljeno je ukupno 40 855 točaka a za svaku snimljenu točku u punom prekrivanju bilo je aktivno 28 linija sa po 180 točaka



Slika 3. Snimljene eksplozivne i vibratorske linije te linije prijemnika na 3D Crnac zapad



Slika 4. Distribucija prekrivanja na 3D Crnac zapad

po liniji što ukupno iznosi 5 040 aktivnih prijemnika, snimljeno je 164 551 296 seizmičkih tragova. Distribucija ostvarenog prekrivanja je prikazana na Slici 4. Realizirana je gustoća od 104.17 točaka izvora po km² te isto toliko točaka prijemnika po km².

S obzirom na činjenicu da je 3D Crnac zapad prekrivao područje intenzivnog poljoprivrednog gospodarstva, što se smatralo najvećim logističkim izazovom, uporabom bežične tehnologije i poljoprivredni i seizmički radovi protekli su bez problema te je ostvarena odlična suradnja sa lokalnom zajednicom.

2.2.2. 3D Virovitica jug

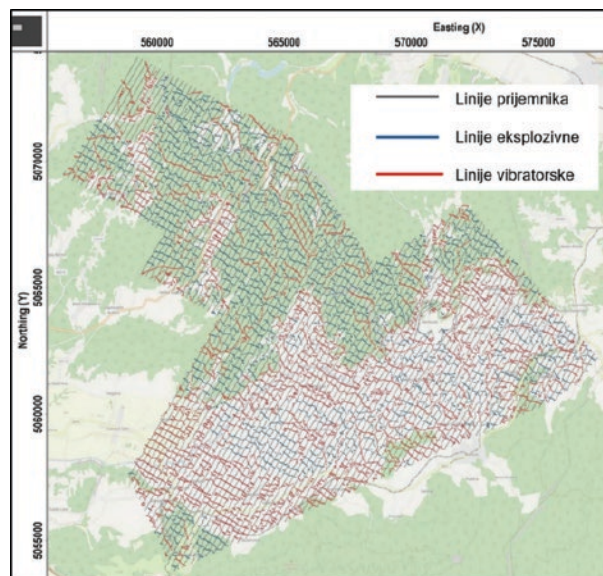
3D poligon Virovitica jug lociran je u jugoistočnom dijelu istražne koncesije DR-03, površine 200 km². Geografski je smješten u sjeverozapadnu Slavoniju, Podravinu i Bilogoru te zahvaća dvije županije, većim dijelom Bjelovarsko-bilogorsku (84 %) te manjim dijelom Virovitičko-podravsku (16 %). Preklapa se na zapadu sa postojećim 3D Bačkovica-Grubišno polje (Slika 1).

Za razliku od Crnca zapad 3D teren je nepogodan za seizmičku akviziciju. Radi se o brdovitom terenu sa strmim padinama i dubokim udolinama koji je skoro 80 % prekriven šumama te time uvelike nedostupan jeftinijem vibratorskom izvoru signala. Dodatan izazov je bio i zimski period tijekom kojega je izvedena akvizicija. Iz tih razloga proizlazi i nepovoljan omjer između vibratorskih (57,7 %) i eksplozivnih (42,3 %) točaka izvora koji se jasno vidi na Slici 5. koja prikazuje pregled situacije snimljenih linija prijemnika te eksplozivne i vibratorske linije.

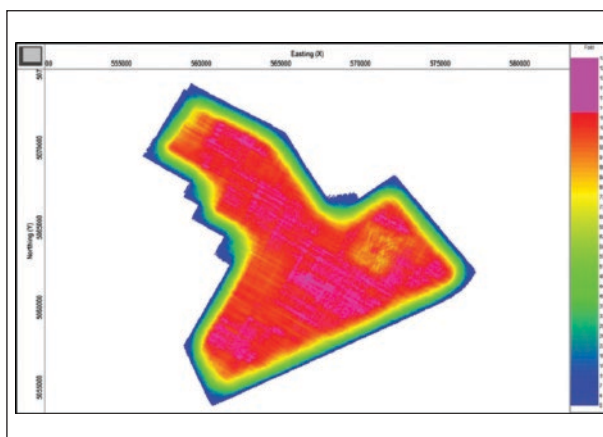
Geomorfološke i geološke značajke te omjer eksplozivnih i vibratorskih točaka utjecale su na sami dizajn seizmičke akvizicije te je ona morala biti postavljena u nešto rjeđu mrežu (gustoća točaka po km² za točke izvora iznosila je 66.67 a za točke prijemnika 100). Projekt je odrađen sa tri vibratora po točki, linije izvora bile su postavljene svakih 300 m, linije prijemnika 200 m a razmaci između točaka prijemnika i izvora iznosili su 50 m (Tablica 1).

Ukupno je snimljeno 12 585 točaka te je za svaku snimljenu točku u punom prekrivanju bilo aktivno 24 linija sa po 108 točaka po liniji što ukupno iznosi 2 592 aktivnih prijemnika a snimljeno je 26 070 038 seizmičkih tragova. Distribucija ostvarenog prekrivanja prikazana je na Slici 6.

Unatoč zimskim uvjetima, površinskim izazovima, kompleksnoj geologiji podzemlja projekt je profesionalnim pristupom uspješno priveden kraju unutar dogovorenog roka.



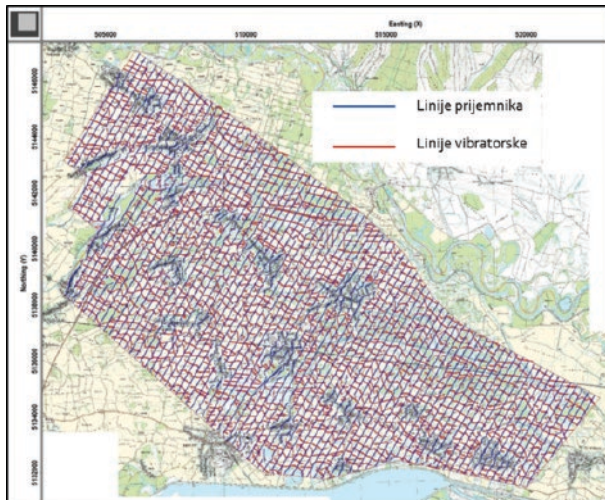
Slika 5. Snimljene eksplozivne i vibratorske linije te linije prijemnika na 3D Virovitica jug



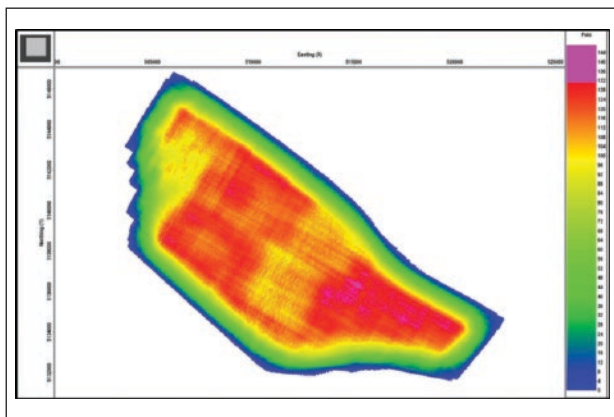
Slika 6. Distribucija prekrivanja na 3D Virovitica jug

2.2.3. 3D Međimurje ekstenzija

3D Međimurje – ekstenzija poligon zahvatio je 150 km² površine i smješten je u SI dijelu istražne koncesije SZH-01 (Slika 1). Na SZ se preklapa sa 3D Međimurje poligonom. Cijeli poligon smješten je u Međimurskoj županiji. Reljefno, teren je bio izuzetno pogodan za akviziciju seizmike što je omogućilo da se u cijelosti koristi samo vibratora kao izvor seizmičke energije. S obzirom na gustu naseljenost područja (Slika 7) i intenzivnu poljoprivredu upotreba wireless tehnologije pokazala se kao velika prednost u operativnom smislu te su vrlo uspješno koordinirani poljoprivredni i seizmički radovi. Također bilo je moguće dizajnirati vrlo gustu akvizicijsku mrežu sa razmacima između točaka prijemnika i točaka izvora od 30 m, 240 m između linija prijemnika dok su vibratorske linije postavljene na svakih 300 m (Tablica 1).



Slika 7. Snimljene vibratorske linije te linije prijelnika na 3D Međimurje ekstenzija



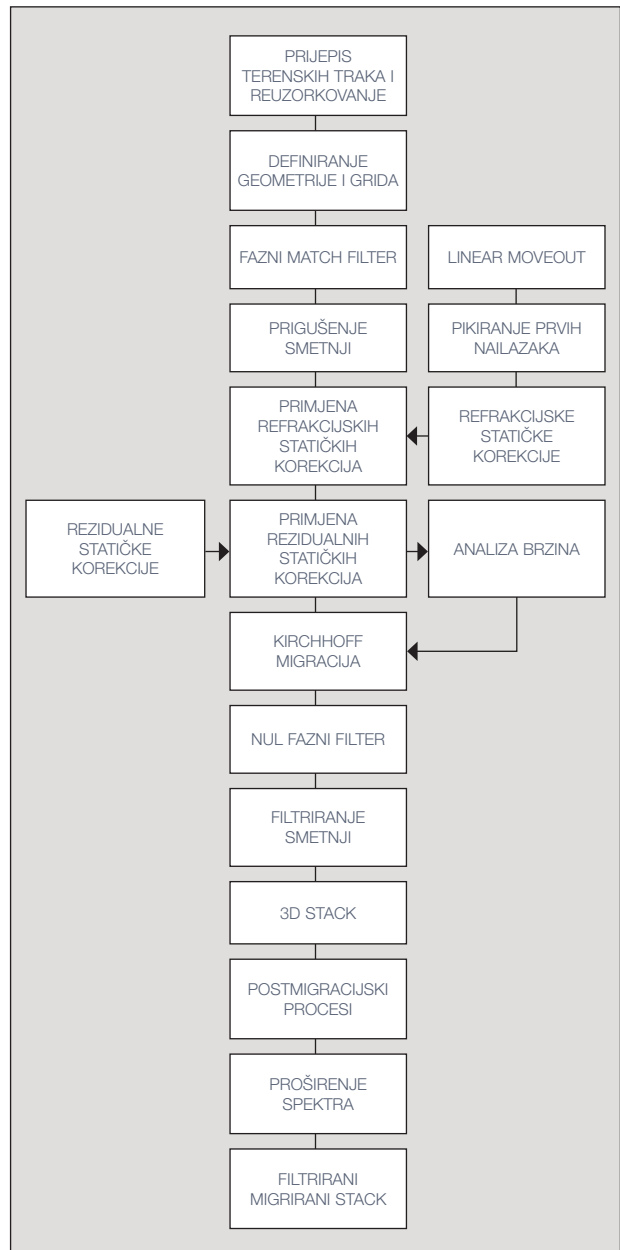
Slika 8. Distribucija prekrivanja na 3D Međimurje ekstenzija

Snimljeno je ukupno 15 404 vibratorske točke te je za svaku snimljenu točku u punom prekrivanju bilo je aktivno 26 linija sa po 200 točaka po liniji što ukupno iznosi 5 200 aktivnih prijelnika, distribucija ostvarenog prekrivanja je prikazana na Slici 8. Ukupno je snimljeno 59 545 434 seizmičkih tragova te su ostvarene gustoće od 111.11 točaka izvora po km^2 te 138.89 točaka prijelnika po km^2 što čini ovu akviziciju najgušćom u povijesti INA-e.

3. Obrada podataka

Nakon akvizicije seizmički podaci obrađeni su u INA-inom centru za obradu seizmičkih podataka koristeći Omega Seismic Processing SW. Svaki projekt obrađen je pojedinačno koristeći klasične procese od obrade signala, uklanjanja smetnji, migracije podataka te post-migracijskih procesa (Slika 9).

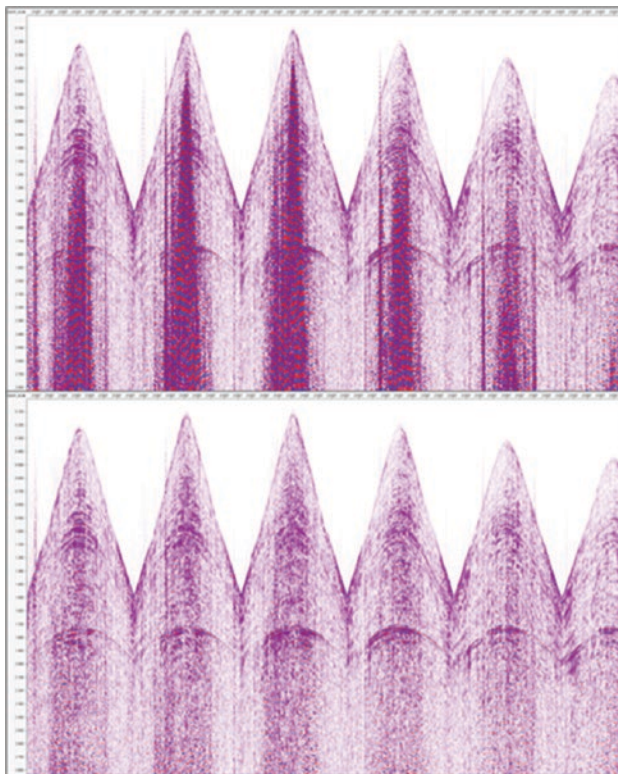
Budući da su kao izvor seizmičkih valova na dva projekta korišteni vibrator i eksploziv, seizmički tragovi su ujednačeni faznim match filterom. Tijekom



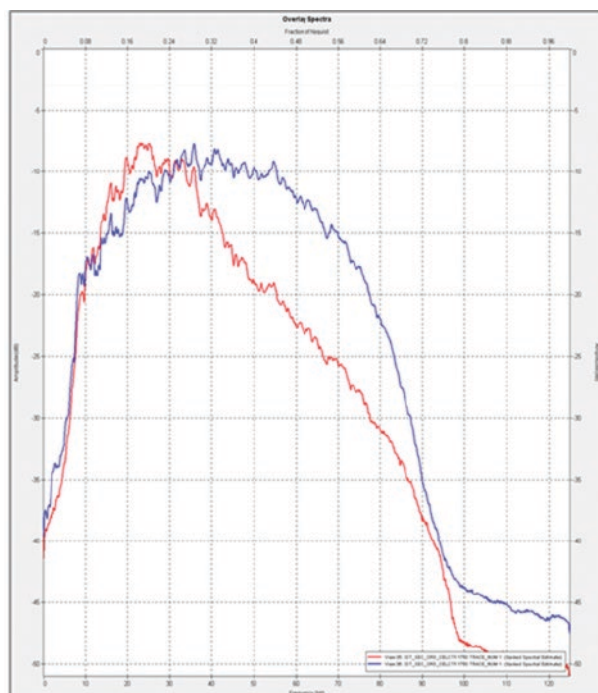
Slika 9. Shema procesa obrade seizmičkih podataka

uklanjanja smetnji, osobita pažnja pridavala se očuvanju relativnih odnosa amplituda te je svaki proces testiran i evaluiran pripadajućim alatima (Slika 10 i 11). Testirane su različite tehnike prigušivanja smetnji (AAA, FK filter, FXCNS, Radon, NUNCS) kao i različite podatkovne domene (shot, cross-spread, offset, CMP). Svi primijenjeni procesi prošli su nekoliko faza kontrole na reprezentativnom uzorku u pre-stack domeni i na stack sekcijama, a osobita se pažnja pridavala „difference“ prikazima u svrhu zaštite korisnog signala.

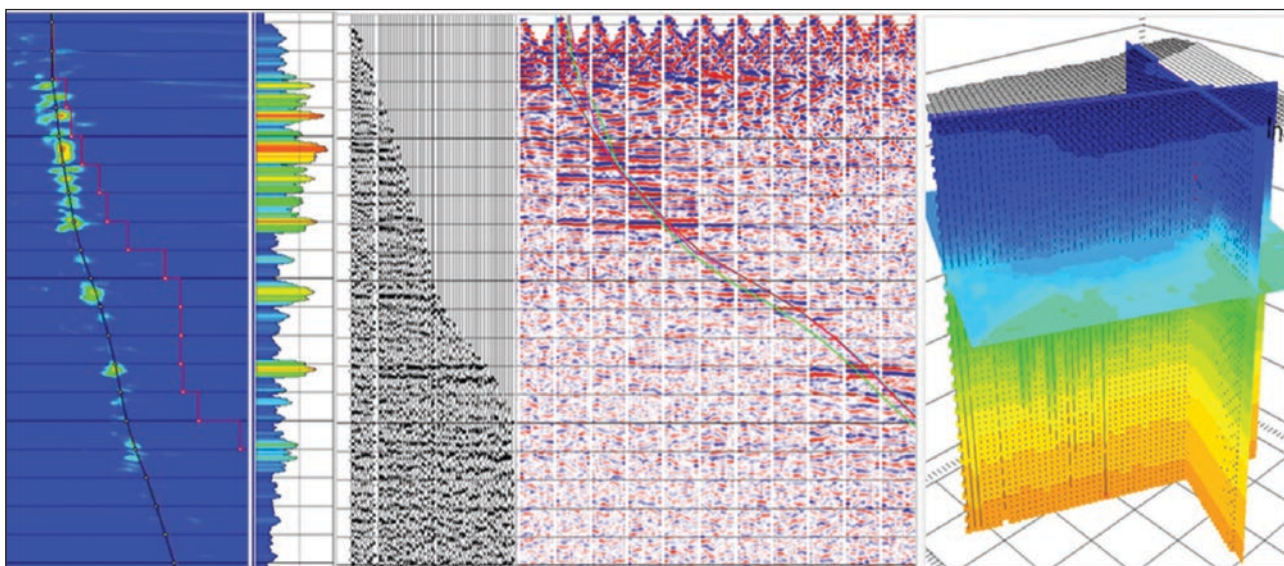
Paralelno s obradom signala, odvijao se i proces modeliranja pripovršinske zone te izračun refrakcijskih statičkih korekcija. Nakon primjene finalnog



Slika 10. Seizmički podaci prije (iznad) i poslije



Slika 11. Frekvencijsko-amplitudni spektar prije (ispod) signal processing-a (crveno) i poslije (plavo) filtriranja smetnji



Slika 12. Analiza brzina u programu VISTA – IVA

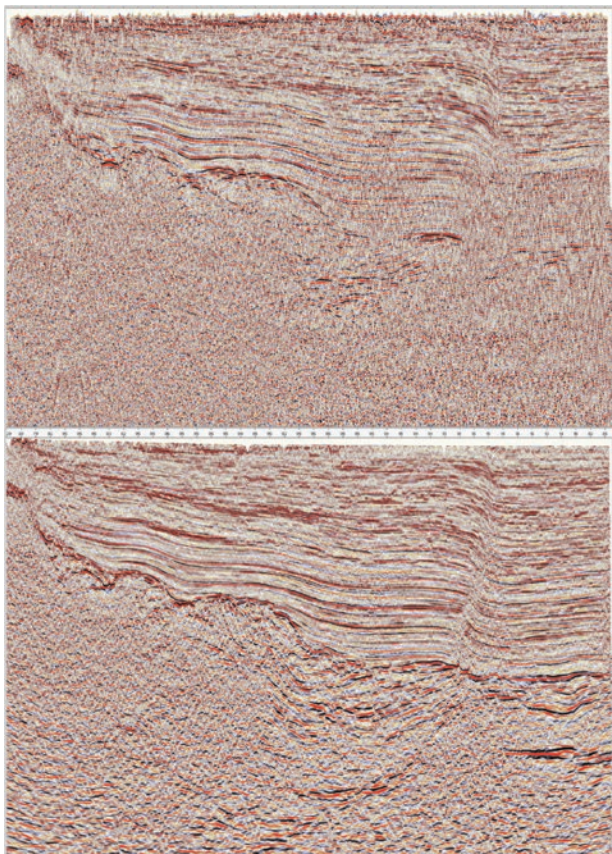
rješenja kojim se uspješno anulirao nepovoljan utjecaj rastrošne zone, pristupilo se detaljnoj analizi brzina koristeći program VISTA IVA (Interactive Velocity Analysis) (Slika 12).

Nakon uspješno izvedene obrade signala te statičkih i dinamičkih korekcija, uslijedio je proces migracije kako bi se seizmički signal pozicionirao na točnu lokaciju u podzemlju. U tu svrhu korišten je algoritam Krichhoff Prestack Time kao optimalno rješenje za

kompleksna područja. Obradom seizmičkih podataka dobiven je volumen visoke kvalitete i rezolucije čime je omogućeno definiranje složenih strukturalnih odnosa i prepoznavanja potencijalnih novih prospekata s mogućnošću atributivnih i kvantitativnih analiza (Slika 13).

3.1. Spajanje projekata

Zbog kalibracije sa postojećim poljima te mogućnosti pouzdane seizmo-geološke interpretacije šireg prostora



Slika 13. Seizmički profil prije (gore) i poslije (dolje) obrade podataka

ra pristupilo se spajanju novo snimljenih volumena s postojećim starim volumenima. Spajanjem projekata omogućava se izrada konsolidiranog 3D volumena te poboljšanje prikaza na rubovima pojedinačnih volumena. Geometrije novih 3D projekata dizajnirane su kako bi se preklapile i prilagodile postojećim susjednim projektima u svrhu preciznijeg spajanja i kvalitetnije zajedničke obrade.

Za uspješniji rezultat spajanja projekata odabrana je opcija pre-stack spajanja koja omogućava potpunije usklađivanje seizmičkih tragova. Između projekata se odredio po jedan master projekt koji je predstavljao bazu i prema kojem su se ostali projekti prilagođavali. Proces obrade prije migracije započeo je amplitudnim ujednačavanjem nakon kojeg su slijedile estimacija i uklanjanje vremenskih pomaka (uvjetovanih statičkim korekcijama), eventualna interpolacija i regularizacija te spajanje podataka. U svrhu interpolacije podataka na pravilne geometrije korišten je MPFI (Matching Pursuit Fourier Interpolation) 5D algoritam koji omogućava pravilnije uzorkovanje kontinuiteta valnog polja, što je preduvjet za uspješnu migraciju. Osim seizmičkih tragova bilo je potrebno spojiti i modele brzina pojedinačnih volumena te po potrebi uskladiti modele na područjima preklapanja. Kao i kod pojedinačnih obrada za migraciju spojenih volumena korišten je Krichhoff algoritam.

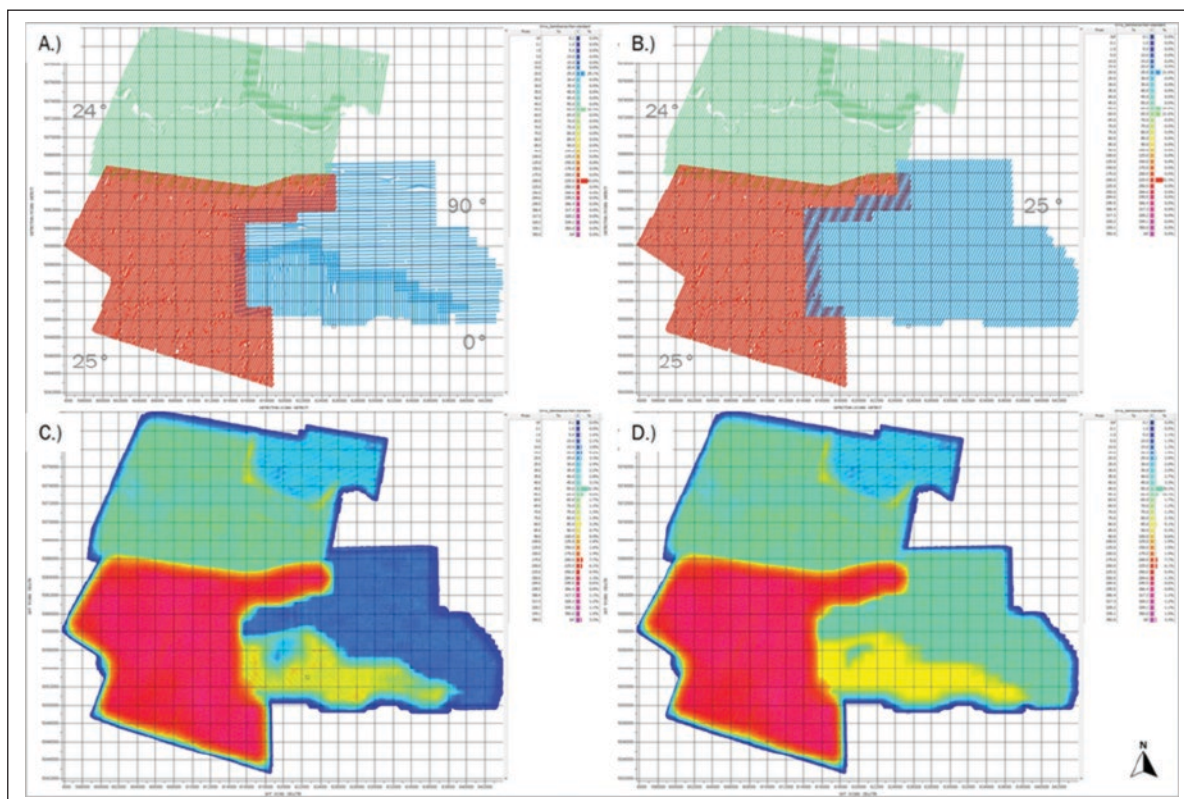
3.1.1. Crnac Zapad, Zalata – Cun i Bokšić – Crnac – Donji Miholjac

Nakon uspješno završene obrade novo snimljenih seizmičkih podataka projekta 3D Crnac zapad, uslijedilo je pre-stack spajanje s 5 susjednih seizmičkih volumena snimljenih i pojedinačno (re)obrađenih u zadnjih 26 godina. Ukupna površina spojenih projekata iznosi 1 304 km² što je ujedno i najveći jedinstveni seizmički volumen na kopnu.

Crnac zapad, određen kao master projekt, okružen je projektima Zalata – Cun 3D i Bokšić – Crnac – Donji Miholjac 3D. Obzirom na pojedinačne akvizicije, geometrije snimanja se međusobno razlikuju (Tablica 2) te je najznačajnija razlika u azimutu snimanja.

Tablica 2: Parametri geometrija snimanja projekata Crnac Zapad, Zalata – Cun 3D i Bokšić – Crnac – Donji Miholjac 3D

| Projekt | God. snimanja | Površina (km ²) | Veličina ćelije (m) | Razmak linija prijemnika (m) | Razmak linija izvora (m) | Nominalno prekrivanje | Azimut (°) |
|----------------|---------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|
| Crnac Zapad | 2020 | 400 | 20x20 | 240 | 240 | 210 | 25 |
| Bokšić | 2017 | 154 | 25x25 | 300 | 300 | 80 | 0 |
| Zalata Dravica | 2010 | 350 | 25x25 | 300 | 400 | 56 | 24.8 |
| Cun | 2004 | 113 | 20x20 | 320 | 320 | 20 | 11 |
| Donji Miholjac | 1997 | 250 | 25x25 | 400 | 400 | 15 | 90 |
| Crnac | 1995 | 37 | 25x25 | 400 | 400 | 15 | 90 |



Slika 14. Orijentacija detektorskih linija, A (prije) i B (poslije) regularizacije, pripadajuća prekrivanja C (prije) i D (poslije) regularizacije

Podaci su prije spajanja prilagođeni master projektu, dok je veličina ćelije procesnog grida određena prema većini projekata te iznosi 25x25 m.

Azimut snimanja od 25° projekta Crnac zapad odgovara azimutu projekta Zalata – Cun, dok su prethodno spojeni projekti Bokšić – Crnac – Donji Miholjac 3D u svrhu spajanja regularizirani na način da su se podaci rotirali na zadanu pravilnu geometriju odgovarajućeg azimuta od 25° (Slika 14).

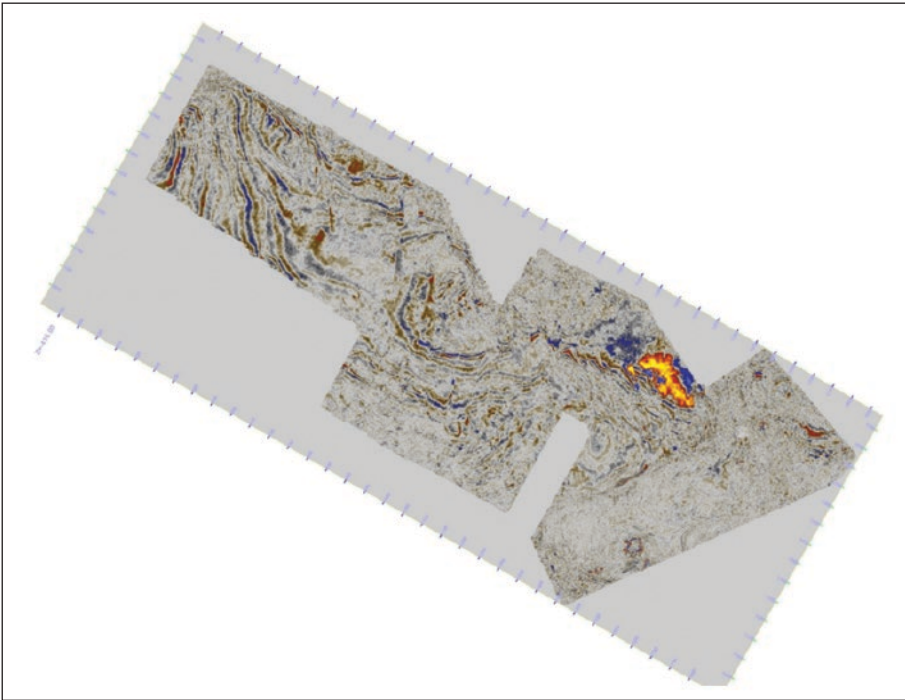
Spojeni seizmički volumeni prekrivanjem značajnog dijela Dravske depresije u blizini najvećih polja ugljikovodika u Hrvatskoj otvorili su mogućnost za istraživanje strukturnih i stratigrafskih zamki te značajno povećali ugljikovodični potencijal područja.

3.1.2. Virovitica jug i Grubišno polje

Projekt Virovitica 3D je nakon inicijalne obrade spojen s projektom Grubišno polje 3D snimljenim 1998., a reobrađenim 2017. godine. Geometrija projekta Virovitica jug dizajnirana je na način da čini jugoistočni nastavak projekta Grubišno polje, s identičnim razmacima površinskih točaka i azimutom snimanja, što u bitnom olakšava proces spajanja podataka. Zbog naprednije tehnologije snimanja, osnovnu razliku između projekata čine maksimalno ostvareni offset-i, što je uvaženo prilikom pre-stack migracije. Ukupna površina konsolidiranog volumena iznosi oko 450 km² (Slika 15), a ključni parametri pojedinačnih projekata dani su u Tablici 3.

Tablica 3: Parametri geometrija snimanja projekata Virovitica jug i Grubišno polje

| Projekt | Godina snimanja | Površina (km ²) | Veličina ćelije (m) | Razmak linija prijemnika (m) | Razmak linija izvora (m) | Nominalno prekrivanje | Azimut (°) | Maks Offest (m) |
|----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|-----------------|
| Grubišno polje | 1998 | 254 | 25x25 | 200 | 300 | 30 | 210 | 1850 |
| Virovitica jug | 2021 | 200 | 25x25 | 200 | 300 | 108 | 210 | 3577 |

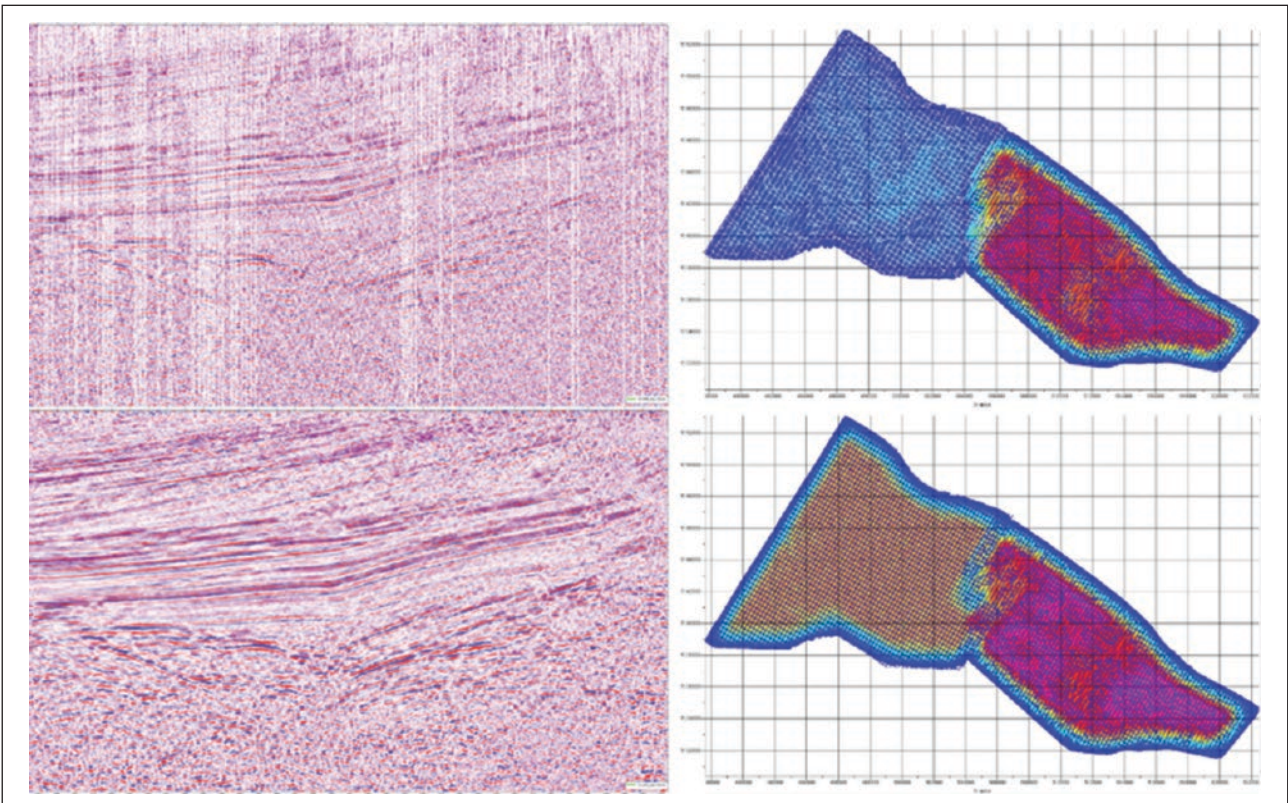


Slika 15. Vremenski presjek na 416 ms – Migracijski stack

3.1.3. Međimurje ekstenzija i Međimurje

U sjeverozapadnom dijelu Panonskog bazena 2005. godine snimljen je seizmički volumen Međimurje 3D dok je u sklopu istražne kampanje 2021. godine u nastavku realizirana nova akvizicija – Međimurje ekstenzija 3D. Smjer snimanja na oba projekta je isti, dok se razmaci između linija prijemnika i izvora

te posljedično veličina ćelije i prekrivanje razlikuju (Tablica 4). Međimurje ekstenzija 3D je odabran za master volumen, te je njegov grid (15x15 m) ekspanziran na podatke iz 2005. godine koji su netom prije spajanja reobrađeni. S obzirom da se stariji podaci rekonstruiraju na gušći i pravilni grid (simulirajući master projekt) korišten je algoritam MPFI pomoću



Slika 16. Seizmički profil i prekrivanje s geometrijom prije (gore) i poslije interpolacije i regularizacije (dolje)

Tablica 4: Parametri geometrija snimanja projekata Međimurje i Međimurje ekstenzija

| Projekt | Godina snimanja | Površina (km ²) | Veličina ćelije (m) | Razmak linija prijemnika (m) | Razmak linija izvora (m) | Nominalno prekrivanje | Azimut (°) | Maks Offest (m) |
|----------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|-----------------|
| Međimurje | 2005 | 163 | 25x25 | 350 | 350 | 35 | 30 | 3657 |
| Međimurje ekstenzija | 2021 | 150 | 15x15 | 240 | 300 | 130 | 30 | 4307 |

kojeg se prekrivanje starijeg projekta povećalo s 35 na cca 85 tragova po ćeliji. Rezultat (Slika 16) interpolacije i regularizacije te spajanja je konsolidiran volumen pouzdanijih odnosa amplituda te boljom definicijom kompleksnih strukturnih odnosa na rubovima pojedinačnih projekata.

4. Zaključak

Novi istražni prostori DR-03 i SZH-01 te vrlo opsežni radni programi potaknuli su novi istražni ciklus u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Kako je istraživanje u zrelih područjima sve izazovnije te zahtjeva upotrebu naprednih analiza i alata INA je odlučila redefinirati pristup od same akvizicije i obrade seizmičkih podataka do kasnijeg izdvajanja istražnog potencijala. Akvizicija novih 3D volumena po prvi puta izvršena je upotrebom wireless tehnologije što je omogućilo snimanje visokokvalitetnih podataka sa značajno poboljšanim uzorkovanjem podzemlja te

višom prostornom i vertikalnom rezolucijom. Unatoč vrlo zahtjevnim operativnim uvjetima poslovanja uzrokovanim COVID-19 pandemijom svi akvizicijski projekti realizirani su unutar zadanog roka te bez ijednog HSE incidenata.

Također, snimljeni podaci obrađeni su upotrebom naprednih tehnologija i algoritama te su spojeni sa susjednim projektima tvoreći konsolidirane volumene velikih površina. Takav pristup omogućio je definiranje novih geoloških modela istražnih područja, pouzdanu upotrebu naprednih kvantitativnih seizmičkih analiza te generiranje diversificiranog istražnog portfelja koji će u idućem periodu biti testiran novim istražnim bušotinama.

Literatura

1. Interna dokumentacija INA-e
2. <https://www.inovageo.com/products/quantum>