

Visokorezolutivna sekvencionna stratigrafija ugljeva Kostolca

Anastasia Ninić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Visokorezolutivna sekvencionna stratigrafija ugljeva Kostolca | Anastasia Ninić | | 2023 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007927>

**Univerzitet u Beogradu
Rudarsko – geološki fakultet**



Završni rad

Master akademske studije

VISOKOREZOLUTIVNA SEKVENCIONA STRATIGRAFIJA UGLJEVA KOSTOLCA

Kandidat

Ninić Anastasia

G612/22

Mentor

dr Dejan Radivojević, vanredni profesor

Beograd, septembar 2023.

Komisija:

1. Dejan Radivojević, vanredni profesor, mentor

Rudarsko – geološki fakultet, Beograd

2. Dragana Životić, redovni profesor, član

Rudarsko – geološki fakultet, Beograd

3. Draženko Nenadić, redovni profesor, član

Rudarsko – geološki fakultet, Beograd

4. Uroš Stojadinović, vanredni profesor, član

Rudarsko – geološki fakultet, Beograd

Datum odbrane: _____

REZIME

Visokorezolutivna sekvenciona stratigrafija kao princip posmatranja evolucije depozicionih uslova, njihove zavisnosti i uzoročno – posledične veze sa velikim promenama globalnih parametara, ostavila je veliki uticaj na razvoj današnje sedimentologije. U ovom istraživanju ispitivana je mogućnost primene visokorezolutivne sekvencione stratigrafije na neogenom ugljenom basenu kod Kostolca, sa ciljem definisanja depozicionog sistema, izdvajanja sekvenci i rekonstrukcije evolucije Kostolačkog basena u vreme panona. Radi povećanja preciznosti intepretacije, sprovedena su ispitivanja sedimentološkim, paleontološkim, geofizičkim i petrografskim metodama. Rezultati ovih analiza ukazali su na oplicavanje facija ka severu, depoziciju mlađih sedimenata u severnom delu basena, kao i veće debljine litoloških članova na severu. Objedinjavanjem i interpretacijom rezultata dobijenih navedenim metodama, stekao se zaključak o progradaciji sa juga ka severu. Facijalna analiza ukazala je na depoziciju u donjem delu deltne ravnice, koja se progradacijom selila ka severu i uspostavljala nekoliko ciklusa akumulacije uglja. Erozione površi nisu utvrđene nijednom metodom, te se može zaključiti da je svaki novi ciklus oplicavanja facija nastavljen na prethodni, bez prekida u sedimentaciji. Akumulacija treseta se u svakom ciklusu završavala potapanjem močvare i početkom novog ciklusa oplicavanja. Intepretacija seizmičkih sekcija ukazala je na postojanje niza normalnih raseda, korelativnih sa regionalnim rasedima zaslužnim za otvaranje peri – Panonskog domena u miocenu, kao i moguću uslovljenost pozicije i osobina ugljenih slojeva tektonskim uslovima u trenutku egzistencije tresetišta.

Ključne reči: *peri - Panonski basen, miocen, progradacija, stratigrafska korelacija, macerali, geofizički karotaž.*

SADRŽAJ

REZIME.....	3
1. UVOD.....	1
1.1 Geografski položaj i geomorfološke karakteristike područja istraživanja.....	2
1.2 Geološke karakteristike područja istraživanja	4
1.2.1 Geotektonska pripadnost područja istraživanja	4
1.2.2 Litostratigrafske karakteristike područja istraživanja	7
1.2.3 Geološke i petrografske karakteristike uglja na području istraživanja	12
2. MATERIJALI I METODE.....	14
2.1 Materijali	14
2.2 Metode.....	14
2.2.1 Sedimentološka analiza	14
2.2.2 Biostratigrafska analiza	15
2.2.3 Tehnička analiza ugljeva	15
2.2.4 Petrografska analiza ugljeva.....	17
2.2.5 Istražno bušenje	17
2.2.6 Geofizički karotaž.....	18
2.2.7 Seizmička ispitivanja	19
2.2.8 Principi sekvencione stratigrafije.....	20
2.2.9 Primena metoda istraživanja sa aspekta sekvencione stratigrafije.....	21
3. REZULTATI I INTEPRETACIJA.....	27
3.1 Rezultati sedimentoloških analiza i intepretacija podataka	29
3.1.1 Sedimentološki stubovi.....	29
3.1.2 Karte debljina frakcija	44
3.2 Rezultati i interpretacija podataka biostratigrafske analize	52
3.3 Rezultati geofizičkog karotaža i interpretacija podataka.....	56
3.4 Rezultati petrografskih istraživanja uglja i intepretacija podataka.....	61
3.5 Rezultati seizmičkih istraživanja i intepretacija	69
4. DISKUSIJA.....	72
5. ZAKLJUČAK.....	75
ZAHVALNICA	77
LITERATURA	78

1. UVOD

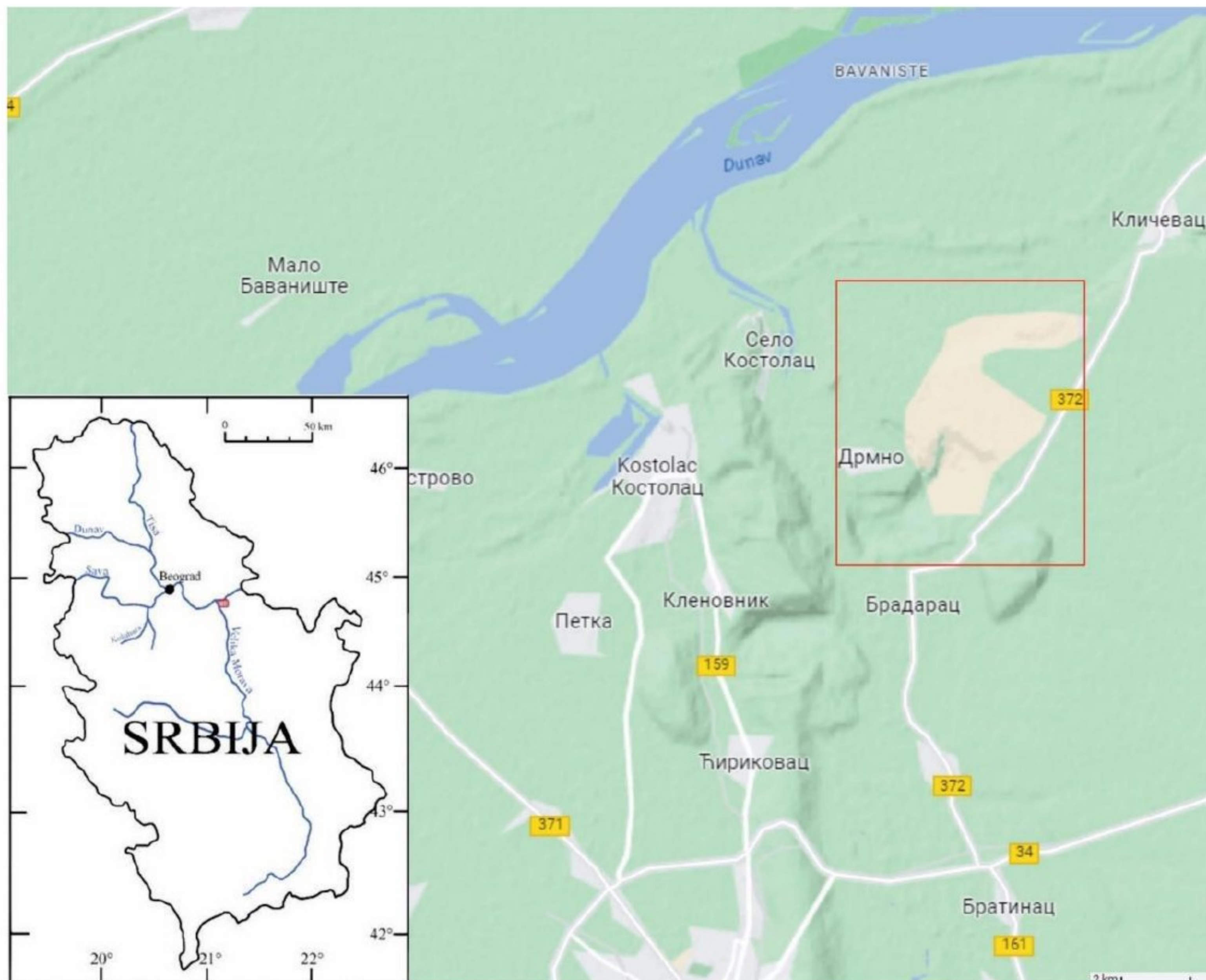
Razvoj sekvencione stratigrafije u poslednjim decenijama unapredio je metode istraživanja ležišta ugljeva na globalnom nivou, te doveo do boljeg razumevanja nastanka uglja i njegove zavisnosti od sedimentoloških i geodinamičkih uslova terena. Kvalitet podataka i intepretacije znatno je poboljšan primenom visokorezolucione sekvencione stratigrafije, što dovodi do veće mogućnosti predviđanja postojanja uglja i njegovog kvaliteta u različitim sredinama. Veća rezolucija intepretacije postiže se korišćenjem rezultata većeg broja metoda, u cilju posmatranja geološkog sistema sa što više aspekata.

Cilj ovog istraživanja je postavljanje panonskih sedimenata Kostolačkog basena u okvire sekvencione stratigrafije, izdvajanje parasekvenci, određivanje depozicionog sistema i sistemskog trakta u kom su sedimenti formirani. Zadatak istraživanja je bio primena različitih metodoloških pristupa na podacima o pomenutim sedimentima, kao što su sedimentološke, biostratigrafske, geofizičke i petrografske metode.

Ovo istraživanje je prvo sprovedeno istraživanje ovakvog tipa na ugljenom basenu u našoj državi i okruženju, te se može posmatrati kao test primene sekvencione stratigrafije na neogenim ugljenim basenima peri – Panonskog domena. Bitno je napomenuti da sekvencionna stratigrafija na ugljevima daje veoma pozitivne rezultate istraživanja u Kini i zapadnoj Evropi. Rezultati ovog istraživanja mogu dati uvid u mogućnost upotrebe sekvencione stratigrafije u ugljevima Srbije, ali i ukazati na eventualne korake prilagođavanja metode uslovima na terenu.

1.1 Geografski položaj i geomorfološke karakteristike područja istraživanja

Kostolački ugljeni basen nalazi se u istočnom delu Srbije, na oko 95 kilometara istočno od Beograda i 15 kilometara severno od Požarevca. Severnu granicu basena predstavlja korito reke Dunav, dok sa istočne strane basen ograničava reka Mlava. Basen se pruža pravcem sever – jug, a nalazi se u peri - Panonskom domenu basena (slika 1). Zauzima oko 14 km² i proizvodi oko 25% lignitskog uglja u Srbiji, kojim snabdeva termoelektranu “Kostolac” (<https://www.eps.rs>).



Slika 1 - Geografski položaj područja istraživanja u odnosu na Srbiju (levo), u odnosu na okolinu Kostolca (desno) (označeno crvenim poligonom).

Ugljeni basen se deli na tri ugljena polja – Drmno na istoku, Ćirikovac u centralnom delu i Smederevsko Podunavlje u zapadnom delu basena. Na polju Ćirikovac je završena eksploatacija, polje Drmno je trenutno u eksploataciji, dok se na polju Smederevsko Podunavlje vrše detaljna istraživanja (Stojanović et al., 2012).

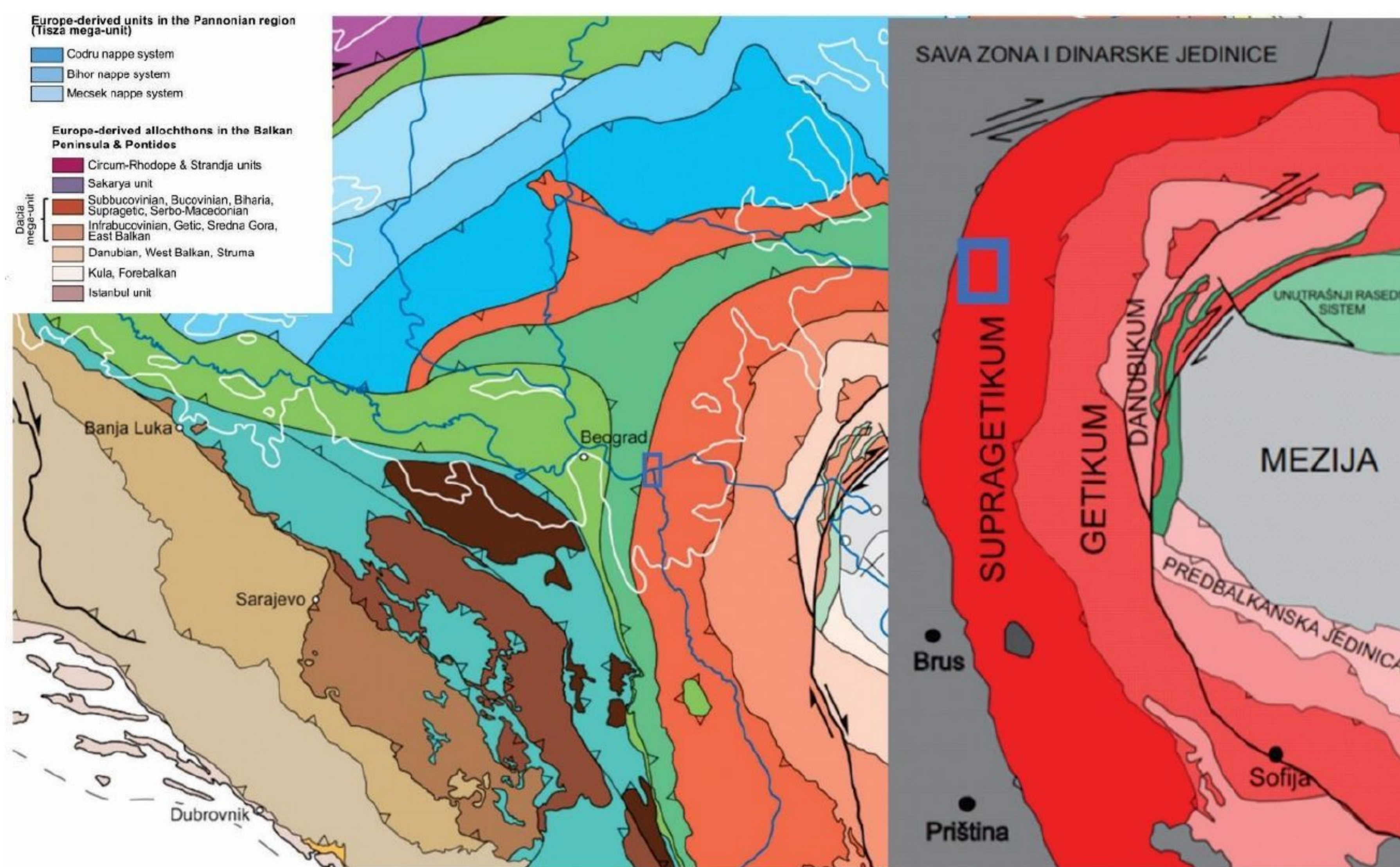
Savremene geomorfološke karakteristike okoline Kostolačkog basena su u velikoj meri diktirane eksploatacijom uglja. U centralnom delu basena, u kom je aktivna eksploatacija,

nalaze se velike površine iskopa, kao i jalovišta na kojima je odložen neiskorišćeni materijal. Iskope i jalovišta okružuju područja marinsko – limničkih terasa koje su pokrivene lesom. Na obodima basena nalaze se područja aktivnih klizišta, kao i područja umerenog spiranja i jaružanja, nastala kao direktna posledica eksploatacije uglja. Severna strana basena predstavlja aluvijalnu ravan Dunava, duž koje se prostiru bare i močvare u smeni sa peščanim bedemima. Posmatrano u regionalnom planu, okolina Kostolačkog basena predstavlja veliku oblast aluvijalnih ravni, koje se prostiru ka jugu, markirajući položaj Velikomoravskog rova (<https://geoliss.mre.gov.rs/>).

1.2 Geološke karakteristike područja istraživanja

1.2.1 Geotektonska pripadnost područja istraživanja

Posmatrano sa aspekta regionalne geotektonske rejonizacije, na području Srbije dominiraju tri velike jedinice Dinaridi, Karpato – Balkanidi i Vardarska zona, koje imaju različito unutrašnje uređenje. Ova rejonizacija je posledica geodinamičke evolucije terena kroz geološku istoriju. Na osnovu radova mnogih autora (između ostalih Schmid et al., 2008, 2020) definisano je da Dinaridi predstavljaju orogeni sistem nastao kolizijom Evropske ploče i Adrijske mikroploče krajem mezozoika i početkom kenozoika, na Adrijskoj donjoj ploči. Sa druge strane Karpato – Balkanidi takođe predstavljaju orogeni sistem nastao tokom iste orogene faze na istočnoj strani kolizionog sistema (slika 2). Shodno tom tumačenju Sava zona predstavlja zonu sučeljavanja ranije pomenutih ploča prema Šmitu, a predstavlja ekvivalent Centralne Vardarske zone prema Toljiću (Toljić et al., 2019).



Slika 2 – Geotektonski položaj područja istraživanja (označeno plavim kvadratom) u odnosu na jugoistočnu Evropu (levo) i u okviru Karpato – Balkanida (desno) (modifikovano prema Schmid et al., 2008).

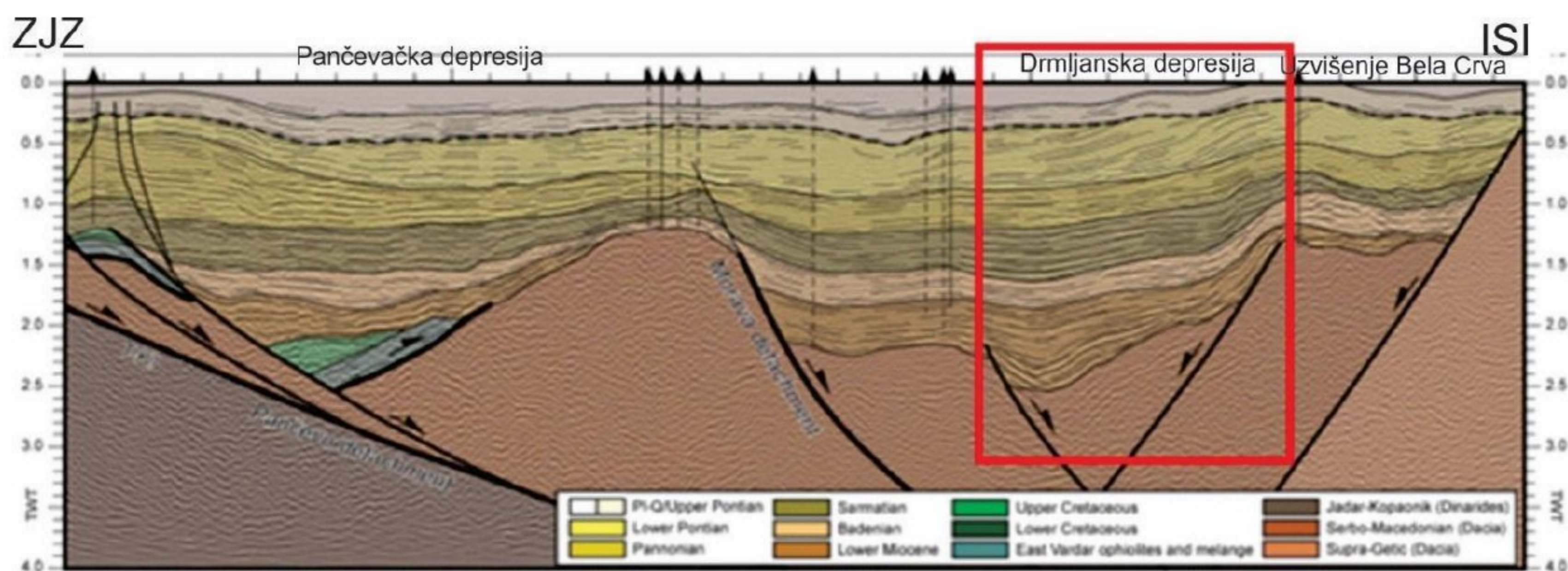
Kostolački basen nalazi se u istočnoj Srbiji, peri – Panonskoj oblasti koja prema geotektonskim rejonizacijama različitih autora pripada Karpato – Balkanidima, kao jednoj od tektonskih jedinica najvišeg reda.

Karpato – Balkanidi predstavljaju planinski venac koji zauzima celu istočnu Srbiju, od Istočne Vardarske zone dalje ka istoku, a u potpunosti su formirani na Evropskoj kontinentalnoj margini. Evropska kontinentalna margina u ovom delu je podeljena na tri mega jedinice – Tisu, Dakiju i Rodopsku jedinicu (Schmid et al., 2008, 2020). Tisa je mega jedinica koja se nalazi severno od planinskog venca Karpato – Balkanida, skoro u potpunosti pokrivena neogenim sedimentima Panonskog basena. Prema Šmitu i saradnicima izgrađena je od tri navlačna sistema – Meček, Bihor i Kodru.

Dakijska mega jedinica predstavlja blok krednih navlaka u unutrašnjim istočnim i zapadnim Karpato – Balkanidima. Ona je podeljena na nekoliko jedinica, koje čine navlačni sistemi – Bukovinijski, Infrabukovinijski, Subbukovinijski, Biharijski, Getski i Supragetski, od kojih se u Srbiji nalaze poslednja četiri navlačna sistema.

U sklopu Karpato – Balkanida izdvaja se nekoliko manjih jedinica koje se razlikuju prema autorima. Prema Šmitu (Schmid et al., 2008, 2020) u okviru Karpato – Balkanida izdvajaju se Getikum, Supragetikum i Danubikum (slika 2), dok Dimitrijević i Marović (Dimitrijević, 1997; Marović, 2001) izdvajaju i Srpsko – Makedonsku masu kao odvojenu geotektonsku jedinicu. Prema Šmitu i saradnicima (2008, 2020) Srpsko – Makedonska masa je jedinica nižeg reda, koja se može poistovetiti sa Supragetikumom.

Generalno Supragetikum je izgrađen od metamorfisanih stena u podlozi, koje su pokrivene sedimentima paleozoika i mezozoika. Metamorfiti su ordovicijsko – silurske starosti, predstavljeni hloritskim škriljcima i kvarcitima. Preko metamorfita leže klastiti devona, karbona i perma. Devon karakteriše turbiditska sedimentacija te se deponuju naslage fliševa. Tokom karbona dolazi do promena uslova sedimentacije te se talože plitkovodni klastiti sa ugljem koji u permu prelaze u prave kontinentalne crvene pešcare. Preko paleozojskih stena leže mezozojski sedimenti – klastiti i karbonati trijasa, jure i krede (Krstekanić et al., 2017). Ispod Supragetikuma, prema istoku, nalazi se Getikum. U okviru Getikuma izdvaja se viša i niža jedinica. Niža jedinica je izgrađena od metamorfnog kompleksa i sedimentnog pokrova. Metamorfni kompleks je prekambrijumske i kambrijumske starosti u nižem delu u kom su zastupljene stene visokog stepena metamorfizma, a u višem delu je donjepaleozojske starosti izgrađen od stena nižeg stepena metamorfizma. Sedimentni pokrov predstavljaju stene koje po svojim karakteristikama dosta podsećaju na sedimente Supragetikuma. Radi se o karbonskim i permskim klastitima, mezozojskim karbonatima. Mezozojske stene imaju znatno veće rasprostranjenje nego na Supragetikumu (Krstekanić et al., 2017).



Slika 3 - Interpretirani seizmički profil sa označenom Drmljanskom depresijom (crveni pravougaonik) (modifikovano prema Matenco i Radivojević, 2012).

Područje Kostolačkog basena pripada peri – Panonskom sistemu basena, koji su formirani ekstenzijom duž gravitacionih raseda, u slučaju Drmljanske depresije Moravskog raseda, tokom miocena. Ekstenzija u ovom domenu rezultat je „rollback“ -a u Karpatima, kao i u Dinaridima u srednjem miocenu. Formirano je u sklopu Drmno – Zagajica – Plandište strukture, koja predstavlja jednu od dve glavne strukture peri – Panonskog domena. Ove strukture se pružaju pravcem sever – jug i imaju geometriju nagnutih polu – rova povezanih sa sistemima velikih listričnih gravitacionih raseda Drmno – Zagajica – Plandište struktura predstavlja tipičan ekshumirani detačment rased blagog pada ka istoku, po kom je došlo do ekshumacije potpuno erodovanih stena podine. Glavni Morava detačment ispresecan je nizom strmijih normalnih raseda, što je dovelo do formiranja današnje geometrije polu – rova (slika 3), (Matenco i Radivojević, 2012).

1.2.2 Litostratigrafske karakteristike područja istraživanja

Na području istraživanja razlikuju se dva genetska tipa stena – metamorfne stene Supragetikuma u podini basena i neogena sedimentna zapuna basena.

Metamorfne stene Supragetikuma potiču od vulkanogeno – sedimentnih stena nastalih u periodu od kasnog neoproterozoika do silura, koje su potisnute sa površine tokom Variscijske orogeneze u gornjem paleozoiku. Tokom ovog procesa, stene Supragetikuma i Srpsko – Makedonske mase potisnute su na različite dubine u Zemljinoj kori, što je za rezultat imalo različit stepen metamorfizma stena u ove dve subjedinice (Stojadinović, et al., 2021).

Stene Supragetikuma nisu otkrivene na površini terena, u području Kostolačkog basena, kao ni u široj okolini Požarevca, s toga se ne može precizno utvrditi koje metamorfne stene Supragetikuma se nalaze u podini Drmljanske depresije. Postojanje metamorfne podloge utvrđeno je seizmičkim ispitivanjima, gde se na seizmičkom profilu u podini može primetiti granica između Srpsko – Makedonske mase i Supragetikuma, (Matenco i Radivojević, 2012), kao i otvorenim izdancima stena Supragetikuma na obali Dunava, na granici sa Rumunijom (Rakić, 1978).

Metamorfna podloga basena izgrađena je od velikog broja različitih škriljaca: albit – epidot – hlorit – aktinolitski škriljci, epidot – amfibolitski, epidot – hloritski i aktinolitski škriljci, muskovitski, sericit – muskovitski i hloritski škriljci. Albit – epidot – hlorit – aktinolitski škriljci vode poreklo od metabazita i dijabaz – spilit – keratofirske asocijacije, javljaju se u obliku nepravilnih tela sa paralelnom folijacijom. Epidot – amfibolitski, epidot – hloritski i aktinolitski škriljci vode poreklo od retrogradno metamorfisanih bazičnih magmatskih stena, a amfibolitski i epidotski tipovi od metamorfisanih tufova. Muskovitski, sericit – muskovitski i hloritski škriljci su najzastupljeniji predstavnik metamorfnih stena na kartiranoj površini, a predstavljaju sitnozrne škriljave stene filitičnog sastava, u koji ulaze kvarc, muskovit i hlorit (Rakić, 1978).

Neogeni sedimenti Kostolačkog basena usko su povezani sa sukcesijom neogenih sedimenata Drmljanske depresije, budući da je basen u direktnoj genetskoj vezi sa formiranjem Drmljanske depresije. Na osnovu ranije pomenutih seizmičkih podataka, kao i bušotinskih podataka (Matenco i Radivojević, 2012), utvrđeno je da se iznad metamorfne osnove basena nalaze sedimenti donjeg miocena, badena, sarmata i panona. Bušotine u Kostolačkom basenu dokazale su prisustvo sarmata i panona (Vučković, 2021).

Donji miocen

Donji miocen počinje sa kontinentalnim, aluvijalnim ili jezerskim sedimentima, brečama i konglomeratima. Konglomerati su crvenkaste i crveno – zelene boje. Osim toga u sukcesiji

se javljaju i konlomeratični peščari i tamno crveni peskoviti alevroliti, gline i peskovite gline. Crvena boja sedimenata ukazuje na dijagenetski proces i oksidaciju gvožđevitih minerala u kontinentalnim uslovima. Javljaju se i interkalacije vulkanskog pepela i proslojci uglja. Debljina sedimenata iznosi i do 400 metara u nekim delovima basena, a litološki je sličan srednjem miocenu, kao i u ostalim delovima Panonskog basena. Sa aspekta tektonske geneze ovih sedimenata, oni pripadaju jedinici početka riftne faze.

Fosilni materijal u ovim sedimentima je veoma redak, pronađeni su tragovi slatkovodnih gastropoda i bivalvija (Radivojević et al., 2022).

Srednji miocen

Baden je predstavljen dubokovodnim sedimentima, svetlo sivim i belim krečnjacima, tamno sivim glinama, glinovitim i peskovitim alevrolitima, peskovito – alevritičnim glinama, debljine preko 400 metara. Ovi sedimenti nastali su u fazi ranog riftnog maksimuma (Radivojević et al., 2022).

Starost sedimenata određena je na osnovu planktonskih foraminifera *Asterigerinata planorbis*, *Rosalina dubia*, *Elphidium crispum*, *E. fichtelianum*, *E. flexuosum*, *Borelis melo*, *Virgulina schreibersiana*, *Quinqueloculina partschii*, *Q. heidingeri*, *Q. contorta*, *Q. longirostra*, *Q. heidingerii*, *Adelosina longirostra*, *Hansenisca soldanii*, *Cibicidoides ungerianus*, *Ammonia beccarii*, *Globulina gibba*, *Glandulina laevigata* i *Sphaeroidina bulloides* (Radivojević et al., 2010).

Sarmat je predstavljen svetlo braon, sivim i belim, laminiranim peščarima, sa proslojcima tamno sivih i crnih alevrolita i peskovitih alevrolita. U donjem delu serije preovlađuju sivozelene laporovite gline, koje se smenjuju sa sivim peskovima. Gornji, mlađi deo serije izgrađen je od peskovitih glina, karbonatnih peščara sa proslojcima uglja (Rakić, 1978). Debljina ovih sedimenata iznosi i do 300 metara, a predstavljaju deponate faze riftnog maksimuma (Radivojević et al., 2022).

Starost je određena na osnovu nalaza makro i mikro faune – *Cerithium nodosoplicatum*, *C. disjunctum*, *C. rubignosum*, *Pirinella picta*, *P. disjuncta*, *Cardium plicatum olicatum*, *Dorsanium duplicatum*, *Hidrobia acuta*, *Maetra podolica*, *Nonium gronosum*, *N. Subgranosum*, *Triloculina sp* (Rakić, 1978).

Gornji miocen

Panon počinje dubokovodnim sedimentima, svetlo i tamno sivim homogenim, laminiranim alevrolitima, za koje se smatra da su produkt kraja riftnog maksimuma. Preko njih nalaze se alevroliti i gline sa sivkastim peskom, u kojim je uočena ukrštena laminacija i konvolucija. Ova asocijacija sedimenata identifikovana je kao asocijacija ivice padine šelfa. Preko njih leže sedimenti šelfa, koji su litološki raznovrsni, sadrže pesak, glinu, alevrolit, proslojke lignitskog uglja, deponovani u pritkovodnim jezerskim, deltnim ili

aluvijalnim uslovima. Serija je okarakterisana prisustvom *Congeria triangularis* u peskovitim delovima, a *Congeria rhomboidea* u sublitoralnim glinama. Kaspi - brakični sedimenti prekriveni su jezerskim i fluvijalnim sedimentima sa slatkovodnom faunom: *Viviparus spurius*, *V. sadleri*, *V. stricturatus*, *V. dezmanianus*, *Congeria triangularis* (Radivojević et al., 2022).

Prema zaključcima autora Radivojevića i saradnika (Radivojević et al., 2022), panonski sedimenti u jugoistočnom delu Panonskog basena u Srbiji, mogu se podeliti na tri facijalne asocijacije – proksimalna prodelta ispod nivoa talasa, proksimalni delta front i facija gornje i donje deltne ravnice, plavina ravnica.

Proksimalnoj delti ispod nivoa talasa pripadaju horizontalno laminirani alevroliti i gline, kao i masivni muljci.

Proksimalnom delta frontu pripadaju slabosortirani, dobrozaobljeni peskovi i šljunkovi, finozrni peskovi, peskovi sa ukštenom laminacijom, kao i srednjezrni peskovi sa horizontalnom laminacijom.

Faciji gornje i donje deltne ravnice i plavne ravnice pripadaju veoma finozrni peskovi sa ukrštenom laminacijom, muljevi i alevroliti, kao i ostaci zemljišta.

Ove facije smenjuju se u transgresivno – regresivnom ciklusu, koji ukazuje na promenu nivoa vodenog stuba tokom panona (Radivojević et al., 2022).

Panonski sedimenti Kostolačkog basena detaljno su opisani od strane Rakića (Rakić, 1978), koji ih je podelio na peskove, gline i alevrite donjeg panona i peskove, gline i ugalj gornjeg panona (u literaturi gornji panon je nazivan i pont, koji je kasnije izuzet iz hronostratigrafske podele razvoja neogena u Panonskom basenu (Raffi et al., 2020; Radivojević et al., 2022)).

Peskovi, gline i alevriti donjeg panona – u ovoj sukcesiji sedimenata moguće je izdvojiti dve litofacijalne sredine, litoralna i sedimenti dubljih voda.

Plitkovodne facije odlikuju se preovlađivanjem peskova sa kojima se javljaju proslojci alevrolita, šljukova, glina i uglja. Svi litološki predstavnici odlikuju se visokim sadržajem peskovite komponente.

Sedimenti dubljih voda su predstavljeni sivozelenim glinama i laporcima, koji se smenjuju sa alevrolitičnim peskovima i kompaktnim karbonatnim pešćarima.

Peskovi, gline i ugalj gornjeg panona - u okviru sedimenata ove starosti izdvajaju se tri facije Kostolačka, Podunavska i središnja, od kojih je na području istraživanja zastupljena Kostolačka facija.

Kostolačku facija prostire se u donjem toku Velike Morave, na levoj obali Dunava u okolini Novog Bavaništa. Glavne karakteristike ove facije su debele naslage uglja i aluvijalni sedimenti sa slatkovodom faunom (*Unio*, *Anodonta*, *Vivipara*) koji se smenjuju sa kaspi – brakičnim slojevima. Ugljevi eksploatisani u Kostolačkom basenu deo su ove facije.

U sedimentima gornjeg panona otkrivena je razovrsna fauna: *Dreisensia auricularis*, *D. serbica*, *Congeria zagrabiensis*, *C. triangularis*, *Limnocardium zagrabiense*, *L. zujevici*, *L. dirposopum*, *Kaladacna steindacheri*, *Didacna budmani*, *Prosodacna carbonifera*, *Viviparus sadleri*, *Viviparus viminatica*, *Candona sublabiata*, *C. affinis*, *C. pontica*, *Cyprideis triangulata*, *Caspiolla parabalcanica* (Rakić, 1978).

Kvartar

Kvartarni sedimenti pokrivaju najveći deo područja istraživanja, u okviru kojih se izdvaja nekoliko kartiranih jedinica – lesne terase, šljunkovi, peskovi i lesoidni alevriti, eolski les, aluvijalna terasa, deluvijum, lesoidni alevriti, peskovi i alevriti facije povodnja.

Lesne terase, šljunkovi, peskovi i lesoidni alevriti nalaze se na levoj obali Dunava, zapadno od Kličevca. Izgrađeni su od starijeg aluvijalnog dela i mlađeg eolskog dela. Stariji deo predstavljen je šljunkovito – peskovitim sedimentima, facije rečnog korita. U starijoj seriji pronađena je fosilna asocijacija: *Planorbis cariatius*, *P. nautilus*, *P. corneus*, *Posidium parvulum*, *Bithina tentaculata*, *Succinea oblonga*, dok je mlađem, lesnom delu serije kostatovana stepska fauna: *Chondrula tridens*, *Discus ruderatus*, *Cochlicopa lubrica*, *Punctum pygmaeum*, koja ukazuje na starost risa i virma.

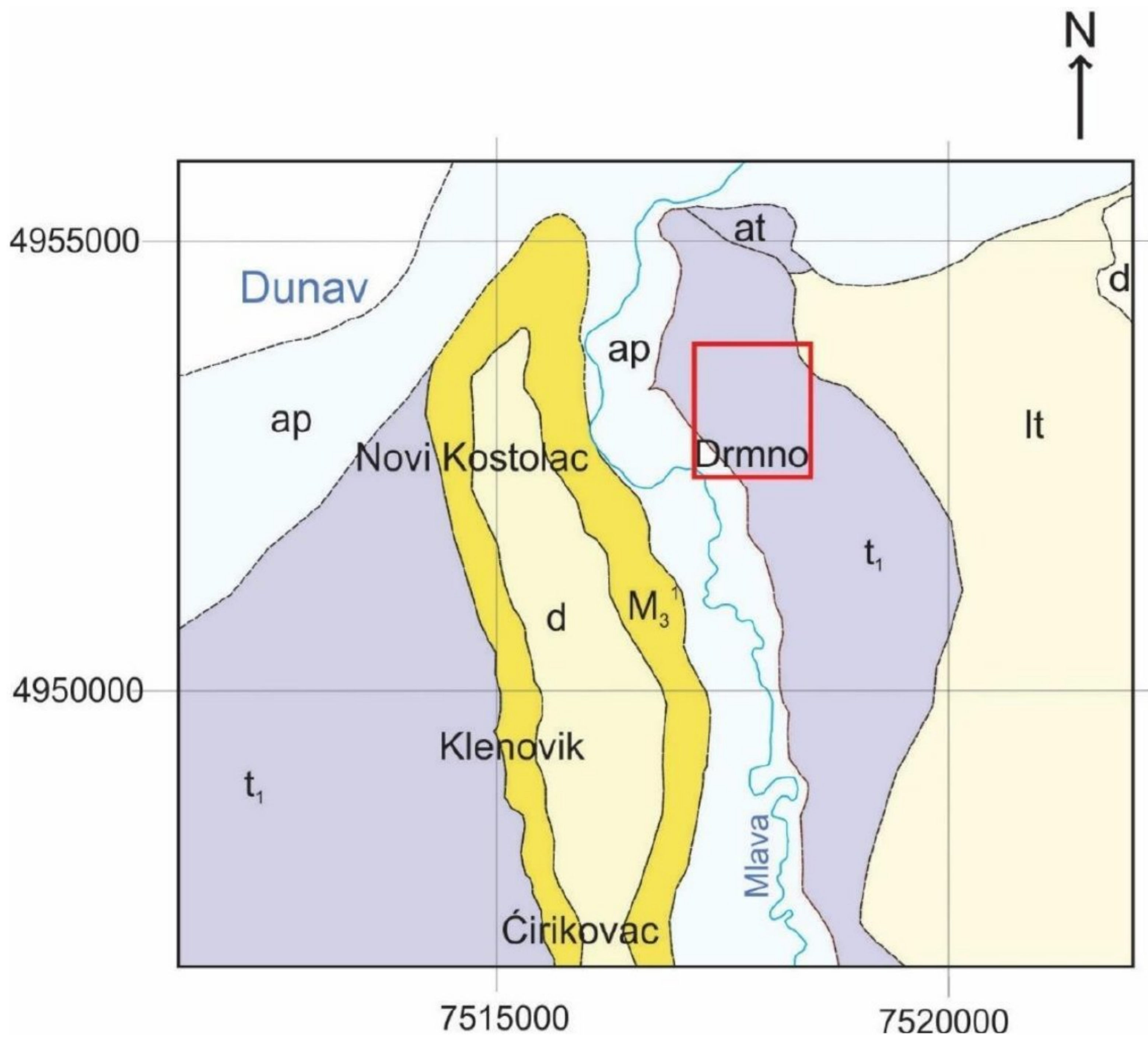
Eolski les (I) je izgrađen od tri do četiri lesna horizonta sa pogrebenim zemljama između, a javlja se u širokom pojasu od Zagajice ka Kostolačkoj gredi. Na osnovu stepske faune određena je starost risa i virma.

Aluvijalna terasa nalazi se na levoj obali Dunava, od Kovina do Batovca, u visini od 7 do 12 metara. Na profilima moguće je izdvojiti facije korita i povodnja sa fosilnim ostacima faune: *Planorbis planorbis*, *P. carniatus*, *P. cornus*, *Limnaea palustris*, *Galba truncata*, *Clausilla dubia*, *Discus ruderatus*, *Euconulus falvus* i drugi.

Deluvijum, lesoidni alevriti nalaze se na prostoru samog Kostolačkog kopa. Javljaju se u vidu deluvijalnih lepeza i zastora šljunkovitih i alevritskih glina i alevritskih peskova.

Peskovi i alevriti facije povodnja pokrivaju obale reke Mlave i karakteriše se sedimentima finijeg zrna, sitnosočivastim laminacijama, horizontalnom stratifikacijom, prisustvom barsko – kopnene faune sa visokim sadržajem kalcijum – karbonata (Rakić, 1978).

Na slici 4 prikazana je geološka karta područja istraživanja sa svim opisanim kartiranim jedinicama.



Legenda

ap	Peskovi i alevriti facije povodnja
d	Deluvijum, lesoidni alevriti
lt	Lesne terase, šjunkovi, peskovi i lesoidni alevriti
t ₁	Aluvijalna terasa
at	Aluvijalna terasa
M ₃ ¹	Peskovi, alevriti i gline sa proslojcima lignitskog uglja

Slika 4 – Pozicija područja istraživanja (označeno crvenim pravougaonikom) na geološkoj karti šire okoline Kostolačkog basena, razmere 1 : 100 000 sa legendom kartiranih jedinica (modifikovano prema Rakić, 1978).

1.2.3 Geološke i petrografske karakteristike uglja na području istraživanja

Ugalj Kostolačkog basena nalazi se u sedimentima panonske starosti, glinama, peskovitim glinama, alevritima, peskovim, alevritičnim, peskovim i ugljevitim glinama. U ovoj sukcesiji sedimenata izdvaja se pet ugljenih slojeva. Najstariji, prvi ugljeni sloj koji je debljine do 82 metra, nalazi se iznad peskovito – glinovitih sedimenata, a pokriven je međuslojnim peskovima i glinama. Ovaj sloj za potrebe eksploatacije naziva se i trećim slojem, iako je superpoziciono najstariji. Drugi sloj se u lokalnoj literaturi naziva i drugi a sloj, nema kontinuiranu debljinu, te posmatrano u planu isklinjava. U svojim najkontinuiranijim delovima, sloj je debljine do 11 metara. Treći superpozicioni ugljeni sloj, koji nosi lokalni naziv drugi sloj, nalazi se iznad međuslojnih glina i ima debljinu do 16 metara. Preko njega se nalaze peskovi i gline, koji pokrivaju četvrti sloj (poznat i kao prvi a sloj) debljine do 6 metara. Najmlađi, peti ugljeni sloj (nazvan i prvi) nalazi se preko peskova i ima debljinu do 47,5 metara (Životić, 2001).

Na prostoru polja Drmno eksploatiše se ugalj trećeg i drugog sloja.

Prosečne vrednosti najznačajnijih parametara kvaliteta uglja iznose: 43,41‰ za ukupnu vlagu, 18,83% pepela na ukupnu vlagu, 1,03% ukupnog sumpora na ukupnu vlagu, 8,4MJ/kg donje tpolote sagorevanja, sadržaj isparljivih materija bez vlage i pepela iznosi 60,69% (Ercegovac, 2006).

Prema petrografskim karakteristikama ugalj drugog i trećeg sloja pripada ulminitsko – densinitskom tipu, dok refleksija iznosi $0,30 \pm 0,3\%$ Rr metara (Životić, 2001).

Ugalj sa ležišta Drmno je tipični humusni ugalj, sa koncentracijom huminita između 50,8 i 89,3%, liptinita ispod 7% i inertinita između 4 i 12,5%. Najzastupljeniji macerali iz grupe huminita su tekstinit, ulminit i densinit. Liptodetrinit i sporinit dominiraju u okviru liptinitske grupe macerala, dok iz grupe inertinita najviše ima inertodetrinita i fizinita.

Indeks očuvanosti tkiva (kasnije u tekstu TPI – *tissue presevation index*) u ovim ugljevima definisan je kao odnos između strukturisanog i nestrukturisanog dela macerala huminitske i inertinitske grupe, te on iznosi od 0,7 do 4,2. Razlika u indeksu očuvanosti tkiva može da ukazuje na različito poreklo biljne materije koja je formirala tresetište, a konkretno se odnosi na razliku u biljnoj zajednici i vrstama koje su egzistirale.

Indeks gelifikacije (kasnije u tekstu GI – *gelification index*) izražava se kao odnos gelificiranih i negelificiranih macerala. U gelificirane macerale spadaju ulminit, densinit, gelinit, korpohuminit i drugi, dok su glavni negelificirani tekstinit i atrinit. Ovaj indeks služi za određivanje visine vodenog stuba tokom akumulacije treseta, budući da proces

gelifikacije zahteva prisustvo vode. Ligniti Drmljanskog ležišta imaju indeks gelifikacije između 0,5 i 0,3.

Sadržaj mineralne materije pokazuje velike varijacije i kreće se od 5,1 do 35,7%. Povećanje sadržaja mineralne materije je obično povezano se degradacijom organske materije ili većim uplivom klastičnog materijala. U mineralnoj materiji dominiraju minerali glina, dok je karbonatnih minerala znatno manje.

Učešće organskog ugljenika je u granicama za lignitske ugljeve, između 30,72 i 58,09%. Sadržaj organske materije varira u širokom rasponu od 6645 do 98666ppm (parts per milion) i uglavnom se radi o asfaltenima i polarnoj NSO frakciji (Stojanović et al., 2012).

Sadržaj mikroelemenata u tragovima (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Th i U) određen je u drugom i trećem ugljenom sloju na prostoru ležišta Drmno. Analize su pokazale da ugalj Kostolačkog basena sadrže visoke koncentracije mangana – 172,45 mg/kg, nikla – 53,94 mg/kg, hroma – 28,42 mg/kg, arsena – 25,15 mg/kg, bakra – 19,09 mg/kg i kobalta – 8,6 mg/kg, što je znatno iznad proseka za ugljeve istog ranga. Koncentracije ostalih mikroelemenata su u graničnim vrednostima, osim urana i torijuma koji pokazuju povišene vrednosti u određenim delovima sloja (Životić et al., 2008).

2. MATERIJALI I METODE

2.1 Materijali

Za potrebe ovog istraživanja korišćeni su podaci geofizičkog karotaža, kartiranja bušotina, paleontoloških ispitivanja, seizmičkih merenja, analize kvaliteta ugljeva koji su obezbeđeni od strane TE Kostolac.

Osim toga uzimane su probe uglja za maceralnu analizu, kao i za sedimentološka i paleontološka ispitivanja, na tri profila kopa Drmno. Ukupno je uzeto 10 uzoraka uglja i 16 uzoraka klastičnih sedimenata.

2.2 Metode

Kao što je ranije navedeno, cilj ovog istraživanja je izdvajanje stratigrafskih sekvenci i interpretacija stratigrafskih podataka u cilju razumevanja evolucije Kostolačkog basena. Zadatak istraživanja je inkorporacija podataka dobijenih što većim brojem različitih metoda, u cilju povećanja rezolucije i preciznosti dobijenih rezultata, kao i sigurnije interpretacije.

Metode koje su korišćene za potrebe ovog istraživanja su: sedimentološka analiza, biostratigrafska analiza, tehnička analiza ugljeva, elementarna analiza ugljeva, petrografska analiza ugljeva, sadržaj mikroelemenata, istražno bušenje, geofizički karotaž, seizmička ispitivanja.

2.2.1 Sedimentološka analiza

U okviru sedimentološke analize deponata Kostolačkog basena vršene su terenske opservacije i prikupljanje uzoraka, kao i laboratorijska ispitivanja sedimenata.

Prilikom terenskog dela istraživanja snimljena su tri sedimentološka stuba, dva u trećem ugljenom sloju i jedan u sedimentima između drugog i trećeg ugljenog sloja. Snimanje sedimentoloških stubova obuhvata prepoznavanje litoloških članova u stubu, prikupljanje uzoraka za dalje analize, merenje debljina slojeva sedimenata, opservacije sedimentoloških karakteristika materijala. Za potrebe ovog istraživanja, uzorkovanje je rađeno prema litološkim članovima koji su izdvojeni, tačnije iz svakog izdvojenog litološkog horizonta uzet je uzorak, kao i iz svake litološke promene manje debljine tipa proslojka ili sočiva (Tucker, 1988). Sedimentološki stubovi su izrađeni u programu SedLog.

Na osnovu baze podataka o litologiji kartiranih istražnih bušotina na kopu Drmno, konstruisane su granulometrijske karte, koje prikazuju debljine horizonata materijala različite veličine zrna (npr. karta debljine peska).

2.2.2 Biostratigrafska analiza

Ova metoda obuhvata prikupljanje uzoraka prilikom terenskih opservacija, a zatim posmatranje tog materijala i izdvajanje fosilnih ostataka organizama. Posmatranje materijala zavisi od same prirode stene koja se posmatra, budući da su neogeni sedimenti u Kostolačkom basenu nevezani, materijal posmatra pod mikroskopom i fosili se fizički odvajaju od ostatka materijala. Da bi se izdvajanje olakšalo, materijal se razdvaja na frakcije različitih veličina procesom šlemovanja. Nakon razdvajanja frakcija materijal se posmatra pod mikroskopom za odbijenu svetlost, gde se fosilni ostaci izdvajaju od ostatka materijala. Zatim se fosilni organizmi individualno fotografišu i determinišu na osnovu fotografija i postojeće literature.

2.2.3 Tehnička analiza ugljeva

Tehnička analiza uglja obuhvata nekoliko fizičko – hemijskih analiza i predstavlja jednu od prvih obaveznih analiza prilikom ispitivanja uglja. Određuje se devet osnovnih parametara: vlaga, pepeo, ukupni sumpor, sumpor u pepelu, sagorljivi sumpor, koks, fiksni ugljenik, sagorljive materije, isparljive materije, gornja i donja toplota sagorevanja. Svi ovi parametri određuju se prema tačno definisanim standardima. Analize mogu da se prikazuju kao parametar sa grubom vlagom, bez vlage, bez vlage i pepela, sa grubom vlagom ali bez pepela (Životić, 2018).

Vlaga – W (%).

Sadržaj vlage može varirati u širokom rasponu i zavisi od ranga uglja u kom se meri, njegove drobljivosti, kao i od hidrogeoloških uslova u ležištu. Postoji nekoliko tipova vlage – gruba vlaga, higroskopna i ukupna vlaga. Treset i ligniti imaju sadržaj vlage preko 40%, dok kod antracita iznosi 1 – 2%.

Pepeo – A (g).

Pepeo predstavlja neorgansku supstancu u uglju koja zaostaje nakon potpunog sagorevanja organske supstance, što je praćeno razlaganjem mineralnih komponenti uglja. Sadržaj mineralnih primesa u uglju nije ekvivalentan sadržaju pepela, budući da sagorevanje uglja dovodi do razlaganja nekih karbonatnih minerala, pirita, te se oslobađa konstitucionalna vlaga i gasovi. Iz toga sledi da je količina mineralnih primesa uvek veća od količine pepela.

Sumpor – S (%).

Sumpor se u uglju javlja u vidu sulfida i sulfata – neorganski sumpor, u vidu elementa organskih jedinjenja – organski sumpor. Poreklo organskog sumpora vezano je za proteine koji ulaze u sastav organske materije koja formira ugalj, dok neorganski ugalj potiče iz pirita. Tehničkom analizom određuje se sumpor u pepelu, dok se sagorljivi sumpor određuje elementarnom analizom.

Sadržaj sumpora u uglju ukazuje na uslove formiranja uglja u močvari, nizak sadržaj sumpora imaju ugljevi nastali u klastičnim sedimentima, dok ugljevi nastali u krečnjačkim sredinama imaju viši sadržaj sumpora.

Isparljive materije – V (%).

Ovaj parametar predstavljen je gasovima nastalim termičkim razlaganjem uglja. Prvenstveno se izdvaja vodena para, a povećanjem temperature ugljen – dioksid i metan. Na temperaturama većim od 500°C izdvajaju se ugljovodonici, kiseonična jedinjenja i vodonik – sulfid.

Sadržaj isparljivih materija je obrnuto proporcionalan rangu uglja.

Koks – K (%).

Koksnost predstavlja preostali deo materijala nakon izdvajanja isparljivih materija, a dalje se može razdvojiti na fiksni ugljenik i pepeo. Koks je različit kod različitih tipova uglja, može biti rastresit ili sunderast.

Vezani ugljenik – C-fix (%).

Sadržaj fiksnog ugljenika predstavlja razliku između sadržaja koksnog ostatka i sadržaja pepela, a direktno utiče na toplotu sagorevanja.

Sagorljive materije - Sm (%).

Sagorljive materije predstavljaju sagorljivi deo organske materije, a računaju se kao razlika između sadržaja vlage i sadržaja pepela.

Toplota sagorevanja – Q (kJ/kg).

Toplota sagorevanja je količina toplote koja se oslobađa pri sagorevanju jedinice mase uglja. Određuje se sagorevanjem 1 grama uglja u kalorimetru. Potrebno je razlikovati gornju i donju toplotu sagorevanja. Donja toplota sagorevanja se od gornje razlikuje za toplotu kondenzacije vode. Direktno je povezana sa rangom uglja.

2.2.4 Petrografska analiza ugljeva

U okviru petrografskih analiza ugljeva ispituju se – refleksija huminita/vitrinita, maceralna analiza, analiza mikrolitotipova.

Priprema uzoraka za petrografska ispitivanja

Prilikom pripreme uglja za petrografska ispitivanja, uzorak se suši dok ne izgubi grubu vlagu, zatim se drobi na granulaciju do 1mm. Nakon toga, mala količina materijala se stavlja se u kalupe i utapa u smolu, da bi postao kompaktna. Prilikom izlivanja smole, na vrh se stavlja oznaka uzorka. Nakon vađenja uzorka iz kalupa, polira se na vodobrusnim papirima finoće zrna redosledom – 300>500>1000>2000>4000 μ m, u trajanju faze 15 – 20 minuta.

Maceralna analiza

Maceralna analiza radi se na preparatima za odbijenu svetlost u uljnoj imerziji u normajnoj i ultraljubičastoj svetlosti. Neophodno je identifikovati 500 tačaka u uglju (ISO 7404-3, 2009; ASTM D2799-05, 2005) u tačno određenoj mreži, a identifikuju se samo macerali ili minerali koji padnu u centar končanice. Preparati su napravljeni od uglja granulacije zrna do 1 milimetra, a maceralna analiza urađena je na mikroskopu Zeiss Axio Imager II koji je povezan na Diskus – Fossil sistem za merenje refleksije u normalnoj i ultraljubičastoj svetlosti sa objektivom 50x i okularom 10x uz upotrebu uljne imerzije na 500 tačaka (Stach et al., 1975; Taylor et al., 1998; ISO 7404-3). Izuzetak čini poslednji uzorak koji je sadržao veliku količinu mineralne materije, te je merenje završeno na manjem broju tačaka. Determinacija minerala i macerala vršena je prema nomenklaturi za lignite, huminite (Sykorova et al., 2005), liptinite (Pickel et al., 2017) i inertinite (ICCP, 2001).

2.2.5 Istražno bušenje

Bušenje je jedna od najprimenjenijih metoda za stratigrafska istraživanja poslednjih 20 godina. Razvoj ove metode uticao je na kvalitet stratigrafske analize i interpretacije. Osim podataka dobijenih iz jezgara, bušotine omogućavaju pristup i izvođenje različitih geofizičkih merenja, koja značajno povećavaju opseg i kvalitet. Osnovni principi na kojima počiva interpretacija jezgara bušotina slični su principima interpretacije površinskih podataka (sa profila, izdanaka). Kartiranje jezgara je prvi korak intepretacije, beleženje litoloških, petroloških, paleontoloških i drugih karakteristika, uzimanje uzoraka za dalje analize i konstruisanje stubova za bušotine (Whittaker, 1999).

Materijal iz jezgara donosi najbolje geološke informacije o potpovršinskim delovima Zemljine kore, te konstantno jezgrovanje daje mogućnost kontinuiteta stratigrafskog zapisa, koji nije tako jednostavno postići sa površinskim podacima (Whittaker, 1999). Sa druge strane, materijal jezgra nije jedina vrsta podataka koja se dobija bušenjem. Nakon procesa bušenja, u bušotine se spuštaju razni tipovi sonde koje snimaju fizičke osobine stena i daju veliki spektar geofizičkih podataka, koji znatno utiču na kvalitet interpretacije geologije date oblasti.

2.2.6 Geofizički karotaž

Metode geofizičkog karotaža zasnivaju se na spuštanju sonde ili drugog mernog instrumenta u bušotinu, te konstantnog merenja i beleženja neke fizičke osobine stena, što za rezultat ima geofizički stub (log). Kvalitetno snimljen log, u povoljnim podpovršinskim uslovima i korektnom brzom snimanja, može obezbediti podatke za izuzetno precizne stratigrafske interpretacije (Whittaker, 1999).

Postoji nekoliko vrsta geofizičkih merenja koja se izvode u bušotinama, te s toga postoji i nekoliko tipova karotaža – kaliper, električni otpor, sopstveni potencijal, gama i spektralni karotaž, neutronske karotaže, karotaž gustine, sonični karotaž.

Kaliper karotaž predstavlja metodu merenja prečnika, veličine i oblika bušotine. Ova vrsta karotaža pokazuje razlike u čvrstoći i vezanosti stena kroz koje se buši. Ukoliko se prečnik bušotine kroz bušotinu menja, to govori o postojanju nevezanih, rastvorljivih ili mekih stena, dok konstantan iznos poluprečnika govori o bušenju kroz čvrste masivne stene. U nekim slučajevima može doći do smanjenja prečnika bušotine što govori o prisustvu glina (Whittaker, 1999).

Karotaž električnog otpora je metoda kojom se meri otpor stena prilikom provođenja električne struje, a obrnuto je proporcionalan električnoj otpornosti. Provodljivost stena, a samim tim i otpor, zavise od poroznosti stena, hidrogeoloških uslova, kao i mineralnog sastava stena. Prisustvo fluida u stenama takođe doprinosi smanjenju električnog otpora, a povećava provodljivost, osim u slučaju ugljovodonika koji pokazuju visoku otpornost (Whittaker, 1999).

Karotaž sopstvenog potencijala (SP) meri razliku prirodnog električnog potencijala elektrode u bušotini i referentne na površini terena. Podaci koje daje SP karotaž su kvalitativne, a ne kvantitativne prirode, te se često koriste u korelaciji sa drugim vrstama karotaža (Whittaker, 1999).

Gama i spektralni gama karotaž mere prirodnu radioaktivnost stena, koja uglavnom potiče od radioaktivnih elemenata u mineralima, kao što su uran, kalijum i torijum. Ovaj karotaž daje podatke o sva tri elementa zajedno, dok spektralni karotaž daje podatke o količini svakog elementa posebno. Gama karotaž pokazuje i veliku osetljivost na promenu veličina zrna, krupnozrniji sedimenti imaju manju radioaktivnost od sitnozrnijih, te se na dijagramu mogu jasno izdvojiti peskovi od glina, ali i prelazi između granulacionih kategorija u samoj vrsti stene, npr moguće je razlikovati „čistije“ peskove od glinovitih (Whittaker, 1999).

Neutronske karotaže meri se razlikom izgubljene energije emitovanjem neutrona iz radioaktivnog izvora na sondi, te njihovim sudaranjem sa stenama bušotine. Samim tim, merenjem neutronske karotaže dobija se količina vodonika u steni, što je često proporcionalno količini vode u stenama (nevezane, porne i konstitucione). Takođe je dobar indikator poroznosti i u kombinaciji sa drugim vidovima karotaža može jasno odvojiti šejlove od peskova i krečnjaka (Whittaker, 1999).

Karotaž gustine koristi se kao jedno od glavnih sredstava za otkrivanje razlika u porozitetu stena, a meri se propuštanjem gama zraka kroz bušotinu i merenjem gubitka energije usled kontakta gama zraka sa elektronima u steni.

Sonični i akustični karotaž mere brzinu prostiranja zvuka kroz stene, a predstavlja se kao razlika između vremena pristizanja talasa na dva prijemnika udaljena od transmitera. Ove vrste karotaža koriste se za stratigrafske korelacije, identifikaciju litologije, evaluaciju šejla i peska (Whittaker, 1999).

2.2.7 Seizmička ispitivanja

Metode seizmičkih ispitivanja usko su povezane sa ranije opisanim geofizičkim karotažnim merenjima. Glavna razlika u podacima seizmike i karotaža je u veličinskom području koje se posmatra i u rezoluciji podataka. Geofizički karotaž daje mogućnost izdvajanja horizontata stena debljine i do 10 centimetara, dok seizmički podaci daju podatke na kojima je najveća rezolucija izdvajanja horizonta od 10 do 100 metara. Seizmičke sekcije su odlične za posmatranje kontinuiteta horizontata i veza između debljih slojeva sedimenata, ali se ne mogu koristiti za izdvajanje tanjih slojeva i laminacija. U tom aspektu dolazi do izražaja povezanost sa geofizičkim karotažom, koji daje detalje seizmičkim podacima i povećava njihovu rezoluciju (Whittaker, 1999).

2.2.8 Principi sekvencione stratigrafije

Sekvenciona stratigrafija danas se izdvaja kao jedan od najuticajnih koncepata sedimentacione geologije, koji pokušava da objasni obrasce depozicije sedimenata u basenima, usled promene nivoa mora i tektonske subsidencije. Cilj sekvencione stratigrafije je izdvajanje delova sedimentnih sukcesija na osnovu diskordancija i njima korelativnih konkordancija, te formiranje stratigrafskih sekvenci (Vincent et al., 1999).

Osnova sekvencione stratigrafije je jednostavan model po kom sedimentne sukcesije mogu biti podeljene u sekvence, ograničene diskordantnim granicama, koje su formirane tokom jednog ciklusa promene morskog nivoa. Sekvence se dele u manje jedinice – systemske traktove, koji predstavljaju jednu etapu promene morskog nivoa, koji su sačinjeni od parasekvenci. Parasekvencija predstavlja asimetrični sedimentni ciklus, koji se deli na setove progradacionog, agradacionog ili retrogradacionog karaktera (Vincent et al., 1999).

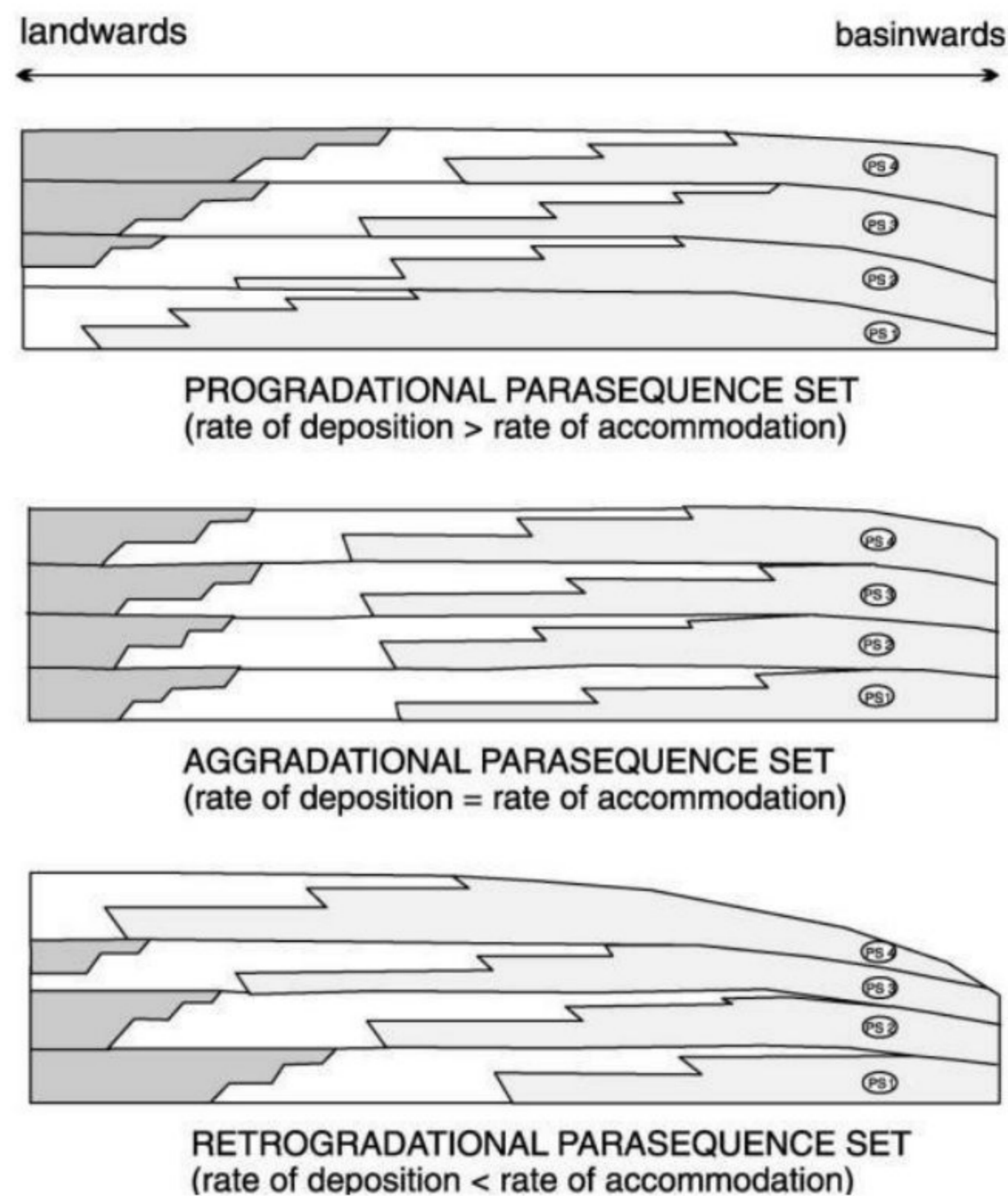
Dva glavna parametra koja direktno utiču na formiranje sekvence su akomodacija i prinos sedimenata. Odnos akomodacije i snabdevanja sedimenata može se direktno posmatrati na uređenosti setova parasekvenci o kojima je ranije bilo reči. Glavna tri trenda setova parasekvenci su agradacioni, progradacioni i retrogradacioni, koji predstavljaju tri slučaja u odnosu akomodacije i snabdevanja sedimenata (Catuneanu, 2006).

U prvom slučaju akomodacija i snabdevanje sedimenata su u ravnoteži, što znači da je brzina povećanja ili smanjenja akomodacije jednaka brzini zapunjavanja sedimentima. To dovodi do formiranja jednoličnih setova parasekvenci u stubu i granulometrija klastita se ne menja u vertikalnoj ravni. Ovakvo uređenje setova parasekvenci naziva se i agradaciona geometrija (slika 5).

Naredni slučaj je definisan većim prinosom sedimenata u odnosu na povećanje akomodacije, što obuhvata niz mogućnosti, kao što su: nepromenjena akomodacija i bilo koji nivo prinosa sedimenata, povećanje akomodacije koje je manje od povećanja prinosa sedimenata, smanjenje akomodacije i konstantan prinos sedimenata, smanjenje akomodacije koje premašuje smanjenje snabdevanja sedimenata. U sedimentnom stubu setovi parasekvenci pokazuju okrupnjavanje zrna naviše i ukazuju na napredak obalske linije u pravcu basena. Ova vrsta uređenja parasekvenci naziva se progradaciona geometrija (slika 5).

Treći slučaj definiše porast akomodacije u odnosu na snabdevanje sedimentima i obuhvata mogućnosti: nepromenjenog prinosa sedimenata ali povećanje akomodacije, povećanje akomodacije koje premašuje povećanje prinosa sedimenata, povećanje akomodacije i smanjenje prinosa sedimenata, nepromenjena akomodacija i smanjenje prinosa sedimenata

(slika 6). U vertikalnom preseku sedimentna sukcesija pokazuje smanjenje veličine zrna naviše i pomeranje obalske linije prema kopnu (Catuneanu, 2006).



Slika 5 - modeli progradacione, agradacione i retrogradacione geometrije parasekvence (modifikovano prema Holtz et al., 2002).

Sekvenca je po definiciji stratigrafska jedinica sačinjena od relativno konkordantne sukcesije genetski povezanih slojeva koji su u podini i povlati ograničeni diskordancijama ili njima korelativnim konkordancijama. Pojam diskordancije ovde se odnosi na površ na kojoj je došlo do kopnene erozije usled prekida u sedimentaciji i spuštanja nivoa vodenog stuba.

Sistemske traktovi su po definiciji trodimenzionalne jedinice sredine deponovanja, dok su granice sistemskih traktova deponicione granice agradacionog ruba, progradacionog ruba. Postoji nekoliko osnovnih vrsta sistemskih traktova: niskomorski, transgresivni i visokomorski sistemski trakt (Catuneanu, 2006).

2.2.9 Primena metoda istraživanja sa aspekta sekvencione stratigrafije

Podaci svih ranije opisan metoda prikupljeni su u cilju definisanja stratigrafskih sekvenci sedimenata Kostolačkog basena. U ovom poglavlju dat je pregled odnosa i povezanosti svih metoda sa modelom sekvencione stratigrafije, dok sam broj metoda daje preciznost kasnijoj interpretaciji.

Kao što se vidi u pregledu metoda, veličinsko područje zapisa i posmatranja podataka je različito, od mikroskopskog pristupa sedimentologije, biostratigrafije, analiza uglja, do makroskopskog posmatranja područja seizmičkih profila, geofizičkog karotaža i profila na terenu.

Prvi podaci koji se prikupljaju u bilo kom stratigrafskom istraživanju su terenski podaci, koji se često pokazuju kao najkorisniji. S toga, jedan od prvih koraka ovog istraživanja bile su terenske opservacije, konstruisanje sedimentoloških stubova i uzimanje uzoraka za analize mineralogije, granulometrije materijala i biostratigrafije. Cilj prikupljanja ove vrste podataka jeste izdvajanje facija i facijalnih asocijacija – facijalna analiza. Facijalna analiza je sedimentološka metoda kojom se izdvajaju stenske mase prema litološkim, fizičkim i biostratigrafskim karakteristikama. Uglavnom se radi na osnovu površinskih podataka sa profila i izdanaka i potpovršinskih podataka iz jezgara bušotina (Catuneanu, 2006).

Podaci koji se prikupljaju su sedimentne teksture, bioturbacije, mineralni sastav, veličina zrna, zaobljenost i sortiranost. Prikupljaju se u cilju određivanja uslova sedimentacije, energije, količine materijala, njegovog izvora i dužine transporta. Na osnovu toga moguće je odrediti depozicionu sredinu i depozicioni sistem (Tucker, 2001). Depozicioni sistem definisan je uslovima sedimentacije u nekoj sredini i predstavlja trodimenzionalno telo sedimenata. Facijalnom analizom tih sedimenata moguće je odrediti uslove depozicije i samim tim depozicioni sistem (Catuneanu, 2006).

Naredni korak je postavljanje podataka sedimentološke analize u okvire sekvencione stratigrafije. Granulometrijska ispitivanja daju uvid u formiranja progradacionih, agradacionih i retrogradacionih geometrija parasekvenci, dok određivanje facijalnih asocijacija omogućava precizno postavljanje datih sedimenata u paleogeografsku sliku, a samim tim i u koncept sistemskih traktova.

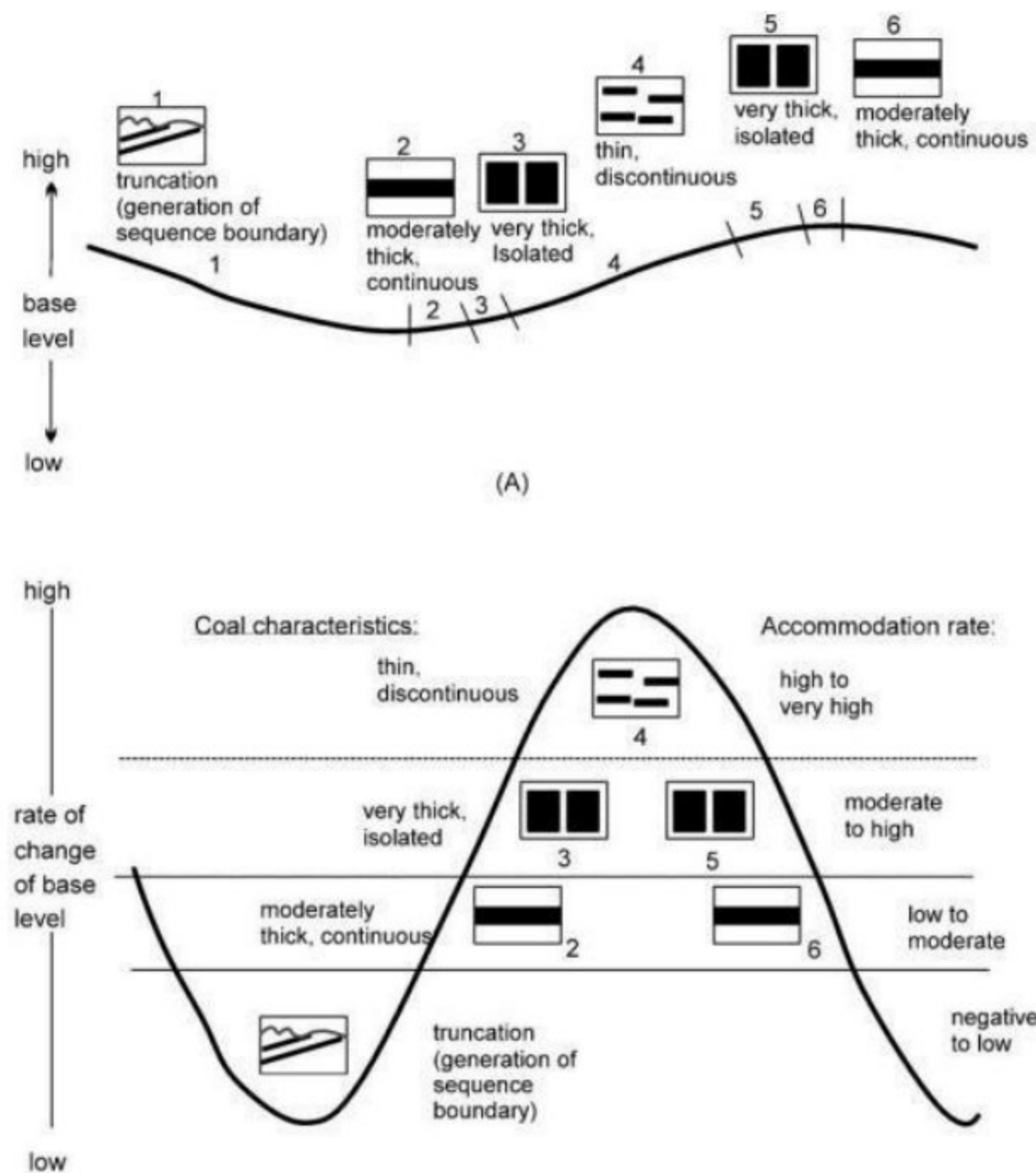
Za potrebe definisanja biostratigrafije neogenih sedimenata Kostolca, prikupljeni su uzorci stena, iz kojih su izdvojeni fosili prema proceduri koja je ranije opisana. Cilj prikupljanja fosilnog materijala iz sedimenata je određivanje paleoekoloških uslova sredine nastanka, kao i definisanje relativne starosti sedimenata. Budući da su pojedini organizmi dobri indikatori sredine u kojoj su živeli, biostratigrafija se može posmatrati kao komplementarna metoda sedimentološkim ispitivanjima, ali i kao dobar kontrolni faktor rezultata analize.

Podaci dobijeni analizama uglja su raznovrsni, te je inkorporacija ovih podataka složenija nego kod prethodnih metoda. Osim toga, posmatranje razvoja tresetišta sa stanovišta sekvencione stratigrafije, dosta je mlađe od drugih pristupa kojima su naučnici ranije pribegavali.

Tresetišta se formiraju u raznim depozicionim sistemima. Postoje dva osnovna tipa tresetišta, paralska i kontinentalna. Kontinentalna tresetišta su vezana za depozicione sisteme kontinentalnog tipa, kao što su jezerski i fluvijalni deltni sistem, a kao glavna depoziciona sredina tresetišta izdvaja se močvara. Paralska tresetišta vezana su za prelazne depozicione sisteme, delte, estuare, primorska jezera, plavinske ravnice. Formiranje tresetišta i njegova egzistencija direktno zavise od akomodacije i podizanja nivoa vodenog stuba u basenu. Akomodacija i vodeni stub moraju da budu u ravnoteži da bi močvara opstala, u suprotnom će doći ili do potapanja močvare usled podizanja nivoa vode / povećavanja akomodacije, ili će doći do oksidacije i isušenja močvare usled smanjenja vodenog stuba / smanjenja akomodacije (Wang et al., 2020).

Veza između sistemskih traktova i nastanka uglja jasno se uočava iz uticaja akomodacije i vodenog stuba na formiranje tresetišta. Tokom niskomorskog sistemskog trakta mali akomodacioni prostor dovodi do formiranja kontinuiranih tankih slojeva uglja, koji pokazuju trend isušivanja naviše. U poslednjim fazama niskomorskog trakta dolazi do povećanja akomodacije i samim tim povećane produkcije treseta. Tela treseta su velikih debljina ali nisu kontinuirana i često na krajevima isklinjavaju. Tokom transgresivnog trakta akomodacioni prostor je najveći, te se formiraju tresetišta koja u potpunosti ispunjavaju akomodaciju, ali usled uslova depozicije i povećane dubine, formiraju se tanki slojevi uglja. Pred kraj transgresivnog trakta vodeni stub se stabilizuje što dovodi do formiranja izolovanih debljih naslaga uglja, a sa porastom vodenog stuba naslage uglja postaju kontinuirane. Tokom visokomorskog sistemskog trakta dolazi do naglog smanjenja akomodacije, te se ugljevi uglavnom ne formiraju, osim u poslednjim etapama, kada dolazi do stabilizacije i postepenog rasta vodenog stuba. Bitno je napomenuti da ovaj model može da se koristi samo za paralske ugljeve (slika 6), (Holz et al., 2002).

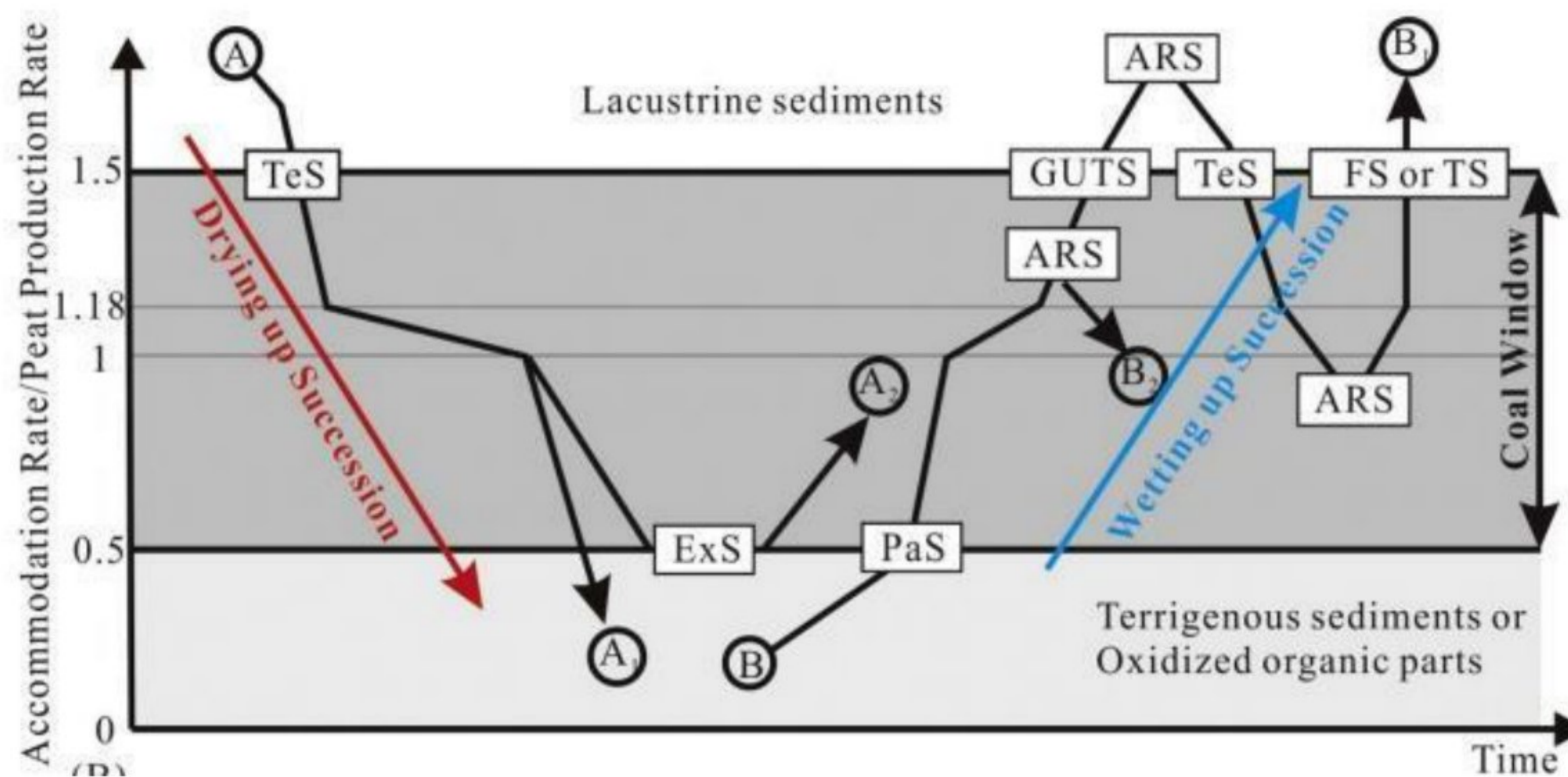
Kao što je ranije pomenuto, za određivanje granica sekvenci, parasekvenci i sistemskih traktova, koriste se određene površi. U slučaju sekvenci, granice se markiraju na mestima kontinentalne erozije ili diskordancije. Kod parasekvenci, granicama se smatraju plavne površi, a kod sistemskih traktova granice se razlikuju kod samog trakta.



Slika 6 - model predikcije debljine i geometrije slojeva uglja u zavisnosti od promene nivoa vodenog stuba (modifikovano prema Bohacs i Suter, 1997).

Prilikom primene sekvencione stratigrafije u ugljevima, naučnici su razvili sopstvenu terminologiju za karakteristične površi, procese i pojave (slika 7). Trend isušivanja ili oplićavanja definiše se kao pojava ugljeva preko lagunskih, marinskih ili jezerskih sedimenata i u njegovoj podini je kopnena površina – TeS (*terrestrialization surface*), koja ne predstavlja površ diskordancije, budući da nije došlo do prekida sedimentacije nego do promene režima. Dalji nastavak smanjenja akomodacije dovodi do završetka produkcije uglja ili klastičnih sedimenata i samim tim izaziva hiatus, te eksponira sedimente uticaju erozije. Površina sedimenata koja dolazi pod uticaj erozije naziva se površina izlaganja – ES (*exposure surface*). U trendu produbljavanja, početak akumulacije treseta preko kontinentalnih tvorevina, naziva se površ paludinifikacije – PaS (*paludification surface*). Ova površ može biti diskordantna ukoliko priliv kontinentalnih sedimenata nije konstantan. U slučaju da produkcija treseta ne može da prati povećanje akomodacije i nivoa vode, dolazi do potapanja tresetišta i formiranja površi napuštanja usled transgresije – GUTS (*give – up transgressive surface*). Ni ova površ nije diskordantna, budući da se akumulacija treseta postepeno smenjuje sa marinskim ili jezerskim sedimentima. Međutim, ukoliko je prinos sedimenata nestabilan ili dođe do naglog povećanja akomodacije tranzicija depozicionih sredina je nagla i sedimentacija se završava marinskom površinom plavljenja – FS (*flooding surface*) ili lagunskom, jezerskom ili kopnenom ne- marinskom površinom plavljenja – NFS (*non – marine flooding surface*). Jedna od takođe bitnih površi je površ promene akomodacije – ARS (*accommodation reversal surface*) i predstavlja

prelaz između trenda smanjenja akomodacije, nakon čega dolazi trend povećanja akomodacije, što ujedno predstavlja sekvencionu granicu – SB (*sequence boundary*) ukoliko postoje granice o kopnenoj eroziji, ili granicu parasekvence ukoliko ne postoje dokazi o eroziji; ili trend povećanja akomodacije praćen padom akomodacije koji je ekvivalent maksimalnoj plavnoj površi – MFS (*maximum flooding surface*) ili površinu plavljenja u slučaju parasekvence (Jarrett et al., 2011).



Slika 7 - Idealizovana kriva odnosa između akomodacije i nivoa proizvodnje treseta, sa naznačenim vremenom formiranja karakterističnih horizonata u sekvencionoj stratigrafiji ugljeva (modifikovano prema Guo et al., 2018).

Prepoznavanje ovih površi moguće je na osnovu terenskih podataka, podataka petrografske analize ugljeva i geofizičkog karotaža.

Podaci petrografske analize ugljeva mogu biti veoma korisni prilikom izdvajanja sekvenci u ugljevima, čime su se bavili mnogi autori (Diessel, 1992, 1998, Diessel et al., 2000b; Banerjee et al., 1996; Petersen et al., 1998; Holz et al., 1999). Prema ovim istraživanjima, petrografski parametri kao što su refleksija vitrinita, sadržaj vitrinita, fluorescencija, indeks očuvanosti tkiva, indeks gelifikacije pokazuju znatne varijacije u ugljenom sloju i mogu biti usko vezane za transgresivno – regresivne cikluse. Osim toga, sadržaj vodonika i sumpora može biti indikator promena nivoa vode (Holz et al., 2002).

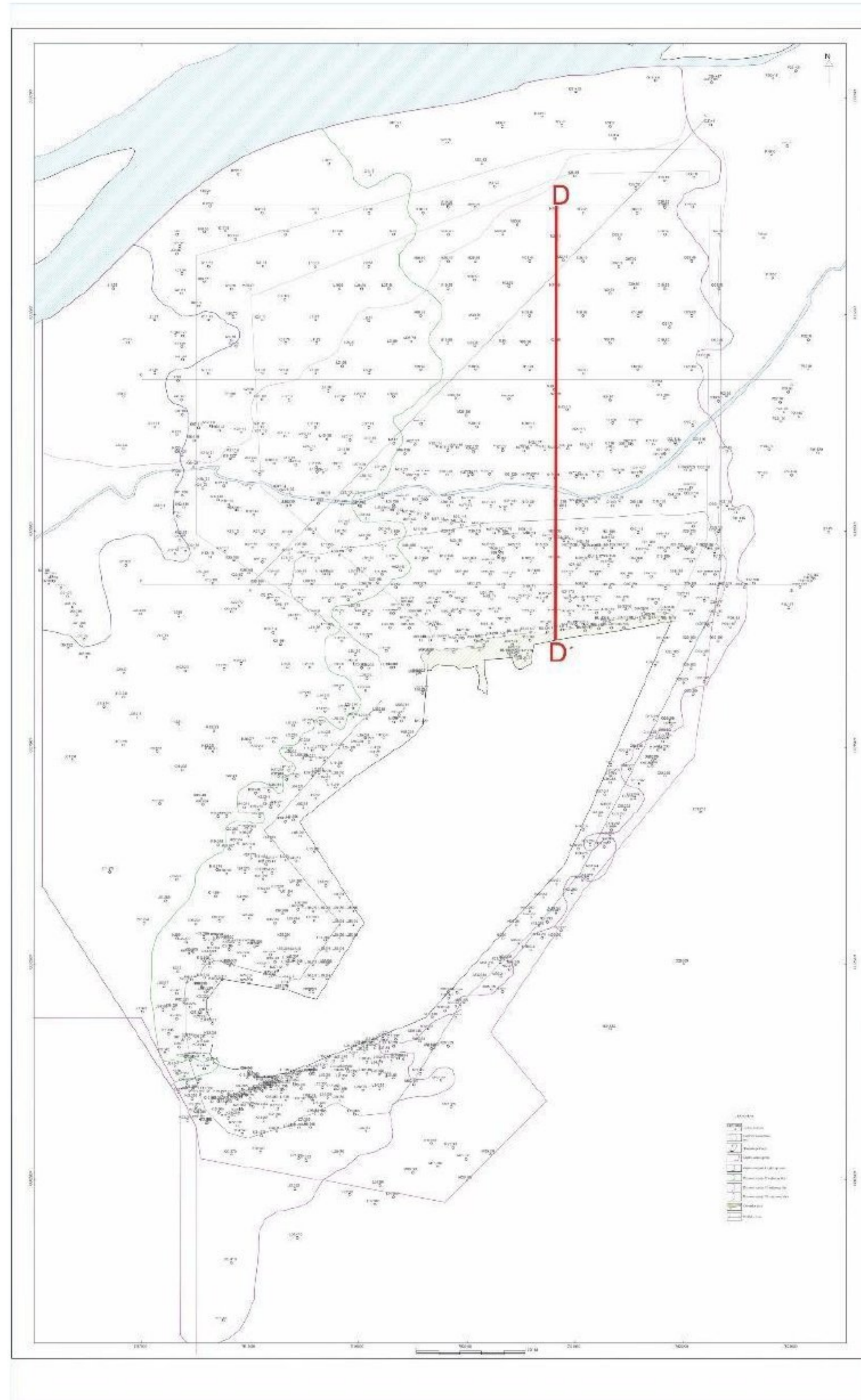
Ugalj je jako dobar marker horizont na logovima, koji su sami po sebi veoma kvalitetni podaci za interpretaciju sekvencione stratigrafije. Na logovima je često moguće izdvojiti trendove agradacione, progradacione i retrogradacione geometrije, kao i granice sekvence ili parasekvence (Catuneanu, 2006).

Seizmički podaci su jako često usko povezani sa podacima geofizičkog karotaža i veoma su bitni za intepretaciju sekvencione stratigrafije. Prilikom istraživanja ugljeva, seizmički

podaci su od podređenog značaja, budući da se ugalj uglavnom nalazi plitko ispod površine zemlje. U slučajevima kada se seizmička ispitivanja koriste, uglavnom se radi o plitkim seizmičkim merenjima. Duboka seizmička merenja mogu da pomogu intepretaciji geneze basena u kom je ugalj nastao, naročito sa stanovišta strukturne geologije i tektonike. Na seizmičkim sekcijama mogu se uočiti strukture po kojima je došlo do otvaranja basena, da se odredi njihova kinematika, te da se ubace u regionalni kontekst. Osim toga moguće je razdvojiti sedimente po fazama otvaranja i stabilizacije basena, kao i određivanje nekih facijalnih karakteristika sedimenata, ukoliko se radi o marinskim sedimentima (Catuneanu, 2006).

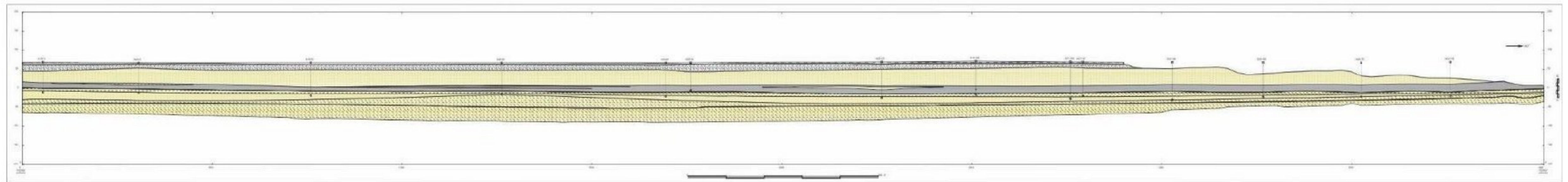
3. REZULTATI I INTEPRETACIJA

U ovom poglavlju dat je pregled rezultata istraživanja i intepretacija, za svaku od ranije pomenutih metoda. Istraživanja su vršena na tri ugljena sloja i intraugljenim sedimentima, čije pružanje je prikazano na slici 8, a superpozicioni odnos na slici 9.



Slika 8 - Situaciona karta područja istraživanja sa označenom pozicijom profila (crvena linija)

GEOLOŠKI PROFIL D-D'
1: 2000/2000

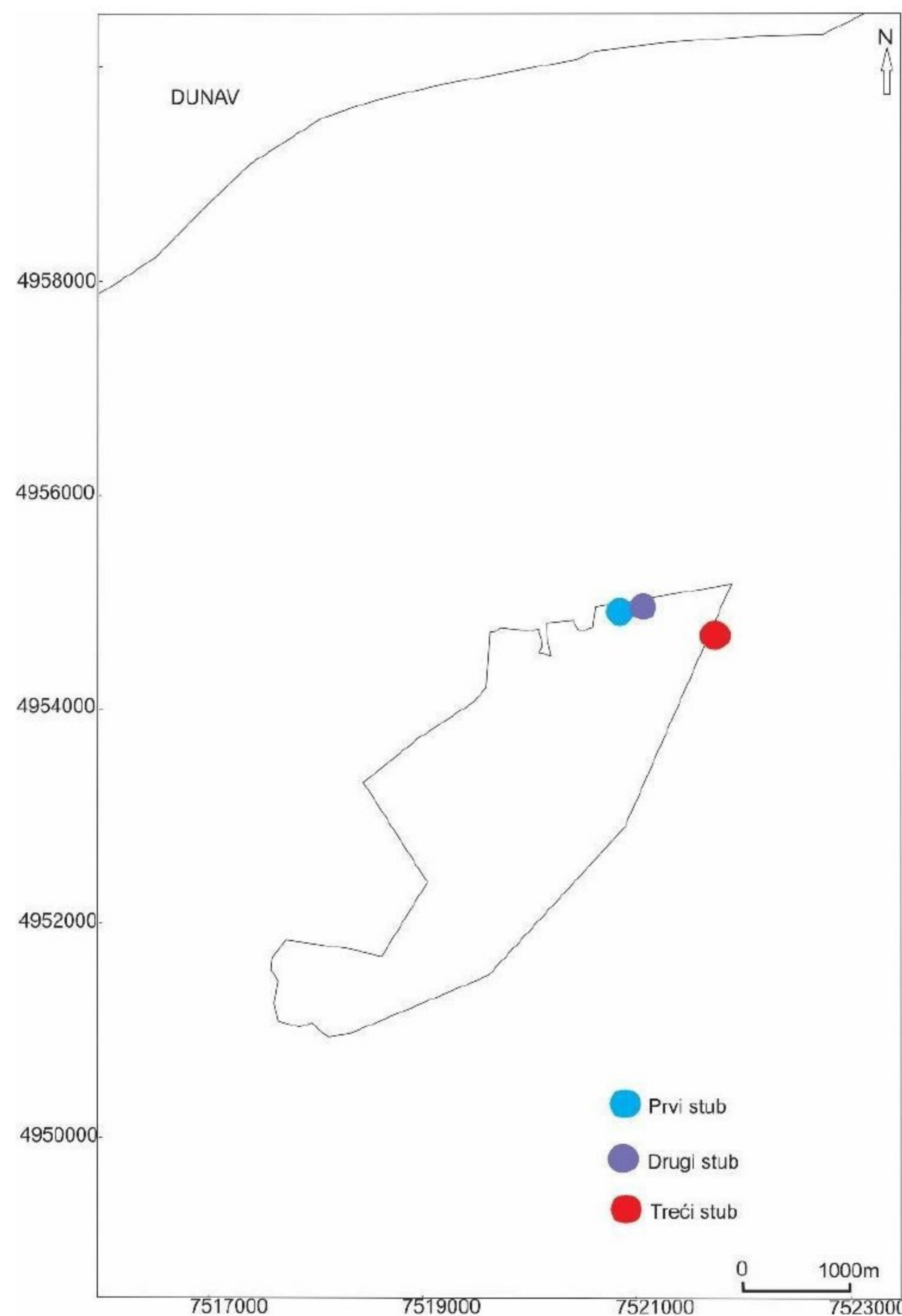


Slika 9 . Geološku profil D - D´ u razmeri 1:2000 (TE Kostolac).

3.1 Rezultati sedimentoloških analiza i intepretacija podataka

3.1.1 Sedimentološki stubovi

Na osnovu prikupljenih terenskih podataka i podataka laboratorijskih analiza konstruisana su tri sedimentološka stuba, od kojih su dva snimljena u trećem ugljenom sloju, a poslednji u sedimentima između trećeg i drugog ugljenog sloja. Pozicija profila u odnosu na kop može se videti na slici 10.



Slika 10 - Karta kopa sa pozicijama snimanja stubova i uzorkovanja.

AGE	SCALE (m)	LITHOLOGY	LIMESTONES						STRUCTURES / FOSSILS	NOTES	FACIES								
			MUD		SAND		GRAVEL												
			mud	wacke	pack	grain	rud & bound	bound											
Panono			day	silt	clay	fine	coarse	gran	pebb	cobb	boul								
Panono	3													Sivi finozrni do srednjezrni pesak, sive ili bele boje.	Sf				
Panono														Ksilitni ugalj, masivan		Ck			
Panono	2													Sitnozrni, dobro sortirani sivi pesak (3/9), sa proslojcima ksilita i ugljevite gline. Bono se pesak smenjuje sa ugljevitom glinom u soivima.	Sf	Cc			
Panono														Ksilitni ugalj (3/8), sa proslojcima peska i alevrita.		Ck			
Panono	1													Soivo ksilitnog uglja (3/5), i u podini i u povlati tanki peskoviti fosilonosni horizonti (3/6). Paralelno sa ugljevima peskovito - glinoviti sedimenti, (3/7) sive boje, dobro sortirani, sa proslojcima ksilita.	Ck	Sf			
Panono														Soivo ugljevite gline (3/4) koja i sa leve i sa desne strane isklinjava, masivna, bez sedimentnih tekstura, sa proslojcima ksilita.		Cc			
Panono														Masivni finozrni pesak sive boje (3/1), sa uoljivim liskunima. Dobro sortiran, mestimino alevritian. Bono prelazi u uljevitu glinu, na kontaktima i u samom pesku mogu tragovi klijenja. U peskovima otkriven tanak fosilni horizont u donjem delu sloja (3/3) i soiva krupnozrog slabo sortirano peska (3/2)	Sf	Cc			

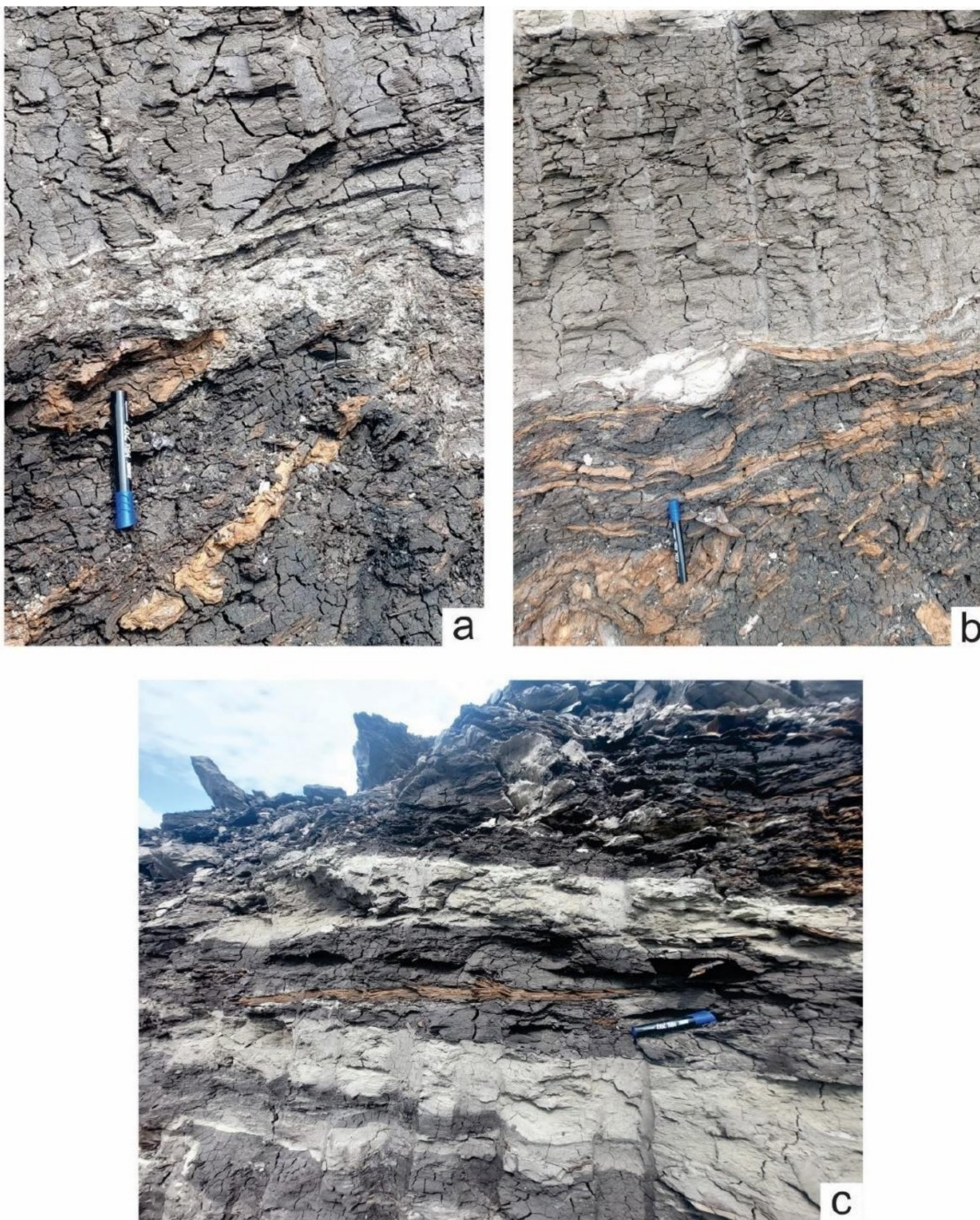
Slika 11 - sedimentološki stub gornjeg dela III ugljenog sloja (kodovi facija dati su u tabeli 1).

Prvi sedimentološki stub (slika 11), koji je snimljen na koordinatama 44°44'46''N 21°14'47''E, nalazi se gornjem delu trećeg ugljenog sloja, a gornja granica stuba je ujedno i gornja granica prostiranja ovog ugljenog sloja. Kao što se na stubu vidi, ovaj ugljeni sloj nije konstantne debljine, već se u gornjem delu sastoji od slojeva različitih debljina. Stub počinje finozrnim klastitima, peskovima i alevritima u kojima je pronađen fosilni detritus, kao i ostrakode (Sf). Iznad čistih klastita nalazi se horizont ugljevite gline (Cc), u kojoj je povećan sadržaj organske materije, koja postepeno prelazi u ugalj (Ck). Ovaj postepeni prelaz iz klastita u ugalj govori o postepenoj promeni depozicionih sredina, bez perioda u prekidu sedimentacije. Donji ugljeni sloj prikazan u stubu ne pokazuje ni lateralni kontinuitet (slika 12), budući da se u njemu javljaju sočiva ugljevite gline i peska (slike 13a i 13b), koji mogu biti i rezultat lokalnog upliva sedimenata u sistem. Ugalj je ksilitnog tipa, zastupljen je i teksturni i trakasti ksilit. Bitno je napomenuti da i u podini i u povlati

ovog ugljenog sloja postoje tanki fosilonosni horizonti. Preko uglja nalazi se tanji sloj sitnozrnog peska (Sf) sa proslojcima ugljevite gline (Cc) i ksilitnog uglja (Ck), (slika 13c). Nastanak ovog horizonta može se povezati sa povećanim prinosom materijala koji je privremeno zaustavio akumulaciju uglja i razvoj močvare, koja je nastavila da postoji, budući da u pesku postoje sočiva uglja. Nakon deponovanja peska, ponovo se uspostavlja akumulacija uglja (Ck) i formira se sloj ksilita metarske debljine. Na vrhu stuba vidi se ponovni prestanak akumulacije uglja i formiranje sloja peska (Sf), što označava završetak prostiranja trećeg sloja u vertikalnoj ravni.



Slika 12 - postepeni prelaz slojeva ksilitnog uglja u ugljevite gline i peskove.



Slika 13 - detalji prvog i drugog sedimentološkog stuba; a - postepeni prelaz ksilitnog uglja u ugljevite gline; b - prelaz strukturnog i trakastog ksilita u ugljevitu glinu sa peskovitim horizontom na direktnom kontaktu; c - tanki proslojci trakastog ksilita okruženi ugljevitom glinom i peskom.

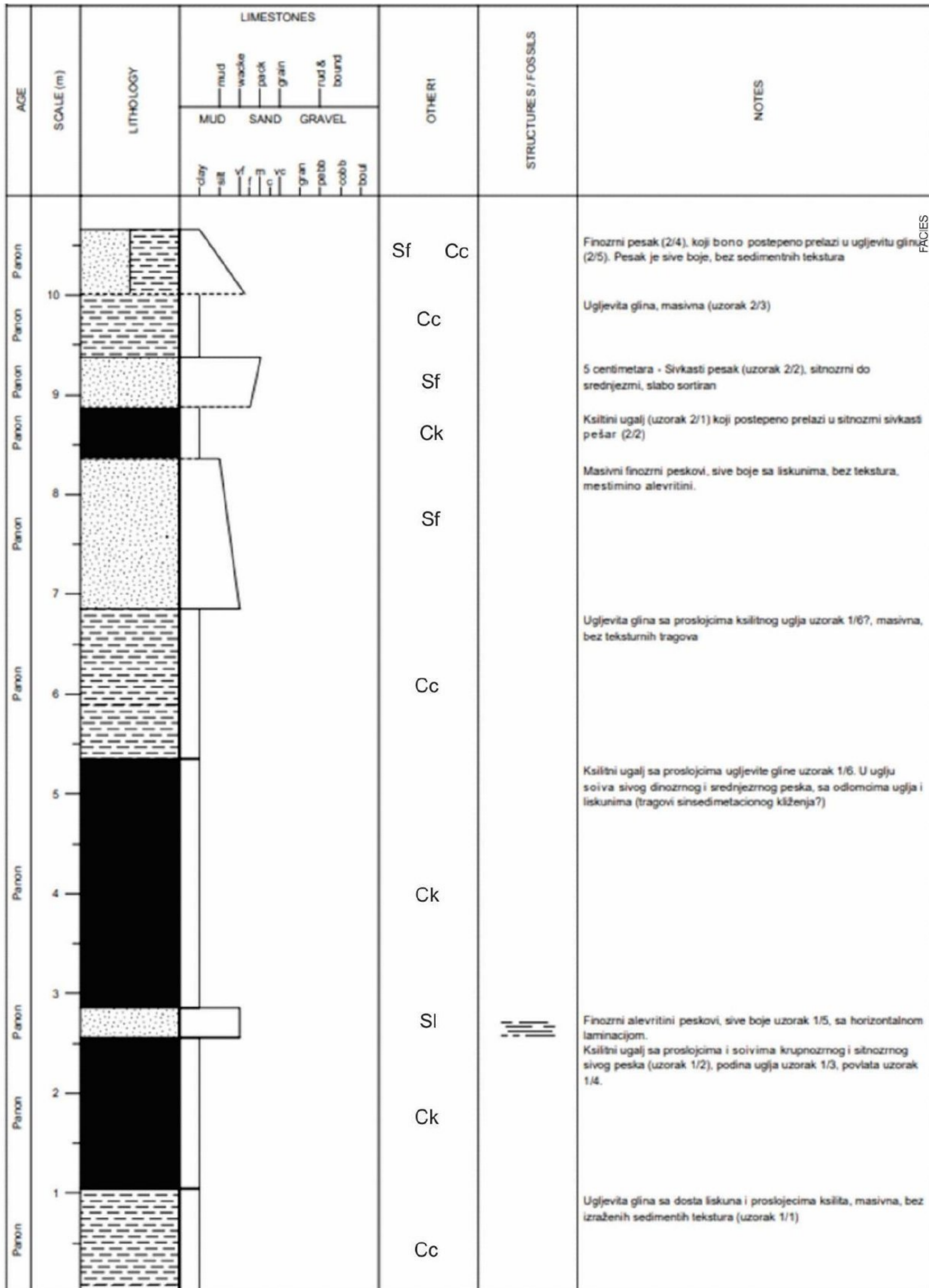
Drugi sedimentološki stub snimljen je na koordinatama $44^{\circ}44'48''N$ $21^{\circ}15'3''E$, u istom hipsometrijskom nivou kao i prethodni, sa razlikom u ukupnoj visini stuba. U donjem delu stub se ne razlikuje mnogo od prethodnog, klastiti (Cc) u podini prelaze u prvi horizont uglja (Ck), koji se završava nešto debljim peskovima (Sf) nego u prethodnom stubu. Nakon peskova se ponovo uspostavlja režim akumulacije uglja i formira se deblji ugljeni sloj (Ck).

U povlati ugljenog sloja nalaze se klastiti, koji pokazuju trend ofinjavanja naviše, u dnu krupnozrni peskovi (Sf), a preko ugljevite gline (Cc). Ugljevite gline prelaze u tanak sloj ksilitnog uglja, koji je i sa gornje strane pokriven glinom i isklinjava, prešavši u pesak (slike 14 i 15).

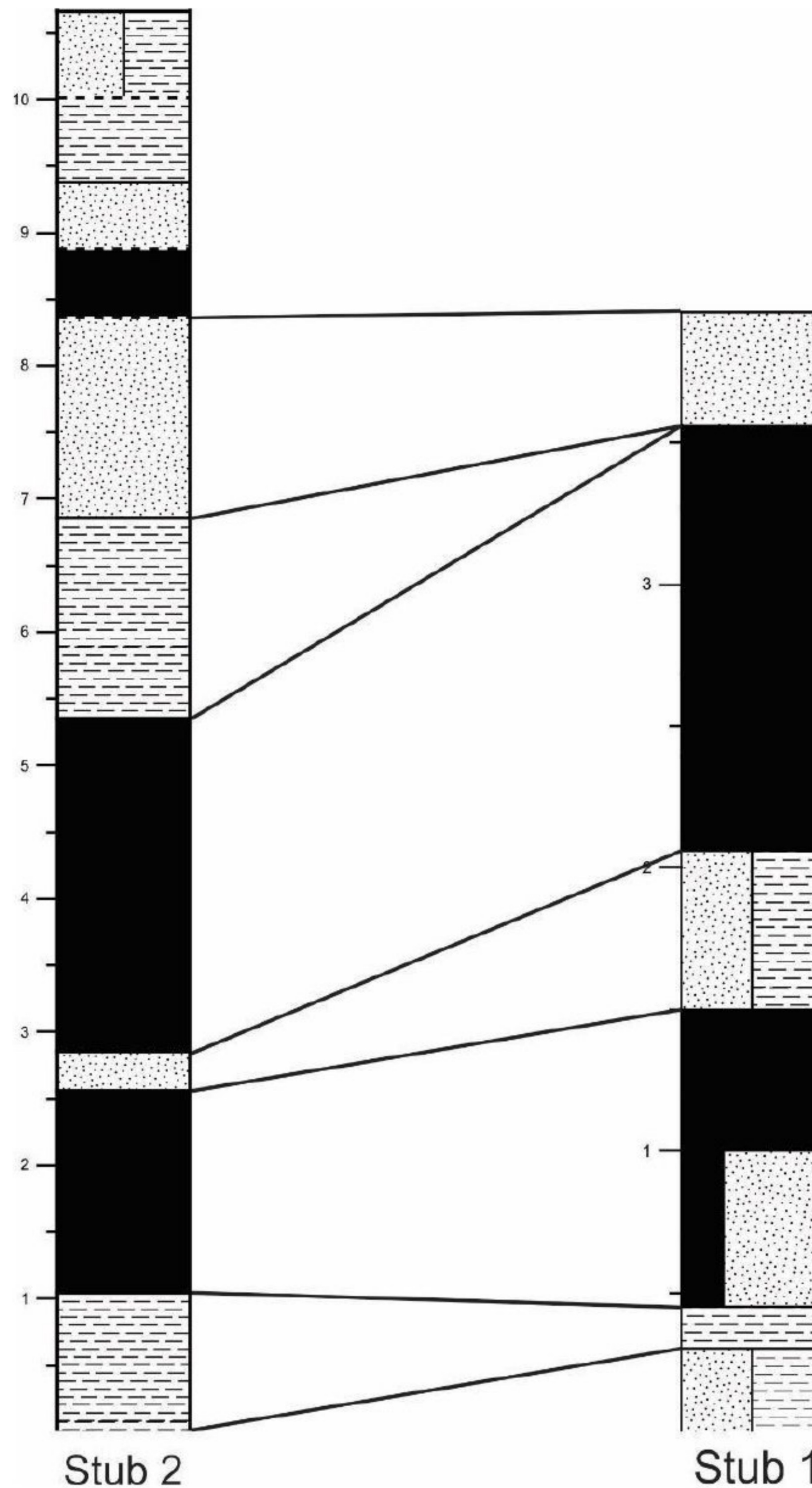


Slika 14 - Profil gornjeg dela III ugljenog sloja, na kom se jasno uočavaju brze lateralne promene litologije i slabo izražen kontinuitet debljine ugljenog sloja.

Osnovne karakteristike sedimentne sukcesije na dva stuba jesu male debljine litoloških članova, postepeni prelazi iz jedne litologije u drugu, kao i lateralna promenljivost. Profil na kom su snimani stubovi predstavlja etažu otkopavanja ugljeva, te se tokom cele dužine profila može uočiti često narušavanje kontinuiteta ugljenog sloja, veliki broj peskovitih i glinovitih sočiva. To dovodi do zaključka da treći ugljeni sloj, bar u svojim gornjim delovima nije predstavljen jednim slojem konstantne debljine, nego nizom slojeva i sočiva različitih debljina u kojima je ugalj procentualno najdominantnija litologija.



Slika 15 - Sedimentološki stub deponata gornjeg dela III ugljenog sloja.



Slika 16 - Korelacija prvog i drugog sedimentološkog stuba po litološkom kriterijumu.

Na slici 16 urađena je korelacija prva dva sedimentološka stuba, prema litološkom kriterijumu. U donjem delu stubovi su veoma slični te je veza između njih lako uočljiva, u oba stuba nalaze se klastiti u osnovi, dva ugljena sloja razdvojena horizontom peska, a preko drugog ugljenog sloja, klastiti u povlati. Drugi stub u gornjem delu ima još jedan ugljeni sloj, koji na prvom stubu nedostaje. Nedostatak ovog horizonta može se objasniti činjenicom da je prvi stub niži od drugog i da su sedimenti povlate otkopani prilikom eksploatacije.

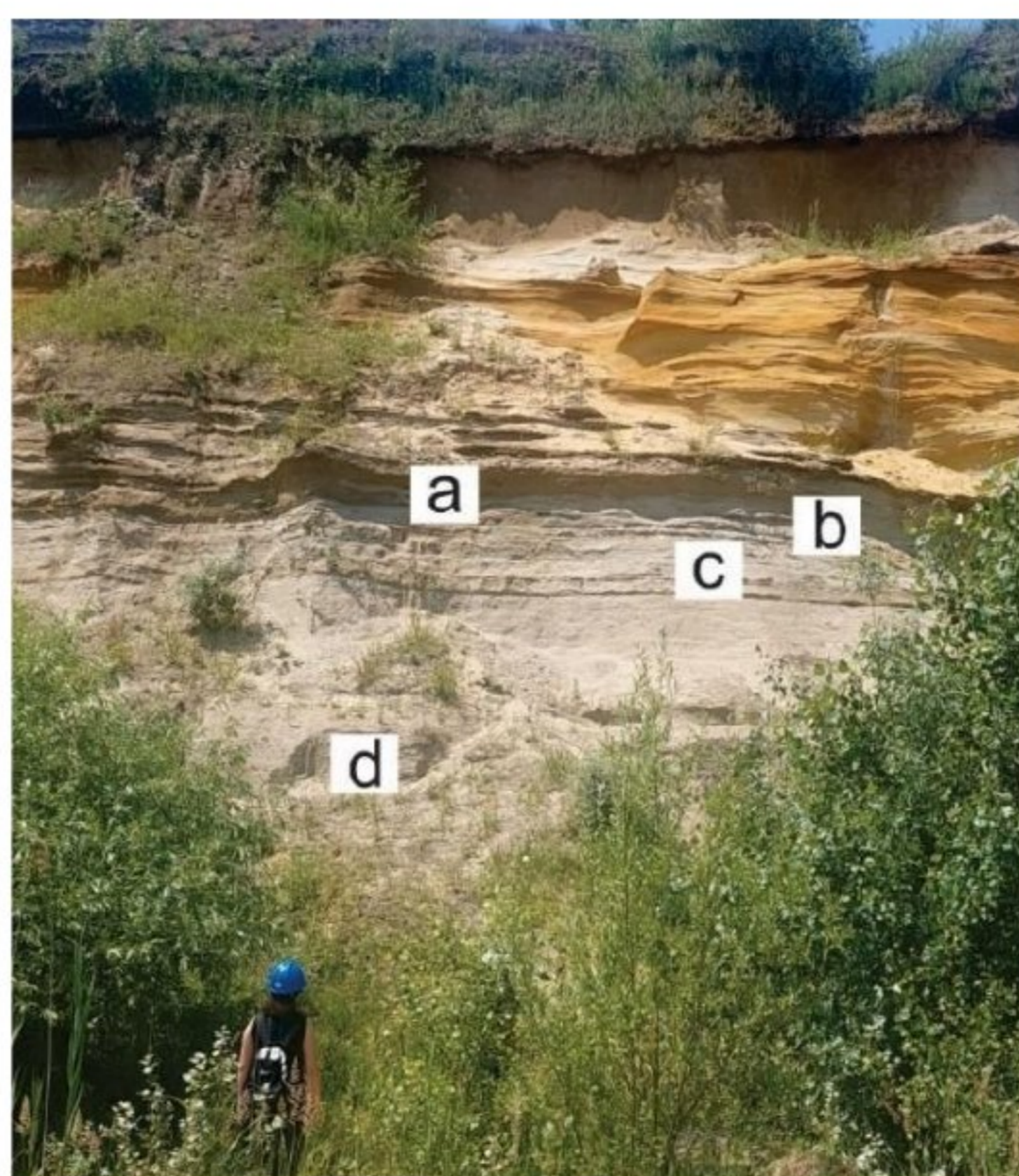
AGE	SCALE (m)	LITHOLOGY	LIMESTONES			STRUCTURES / FOSSILS	NOTES	FACIES
			MUD	SAND	GRAVEL			
Panón	7							
Panón								Sc
Panón								Sly
Panón	6							Slc
Panón								Sf
Panón	5							Sl
Panón	4							
Panón	3							Sff
Panón	2							
Panón	1							Sl
Panón								Sff

Slika 17 - Donji deo sedimentološkog stuba sukcesije između II i III ugljenog sloja.

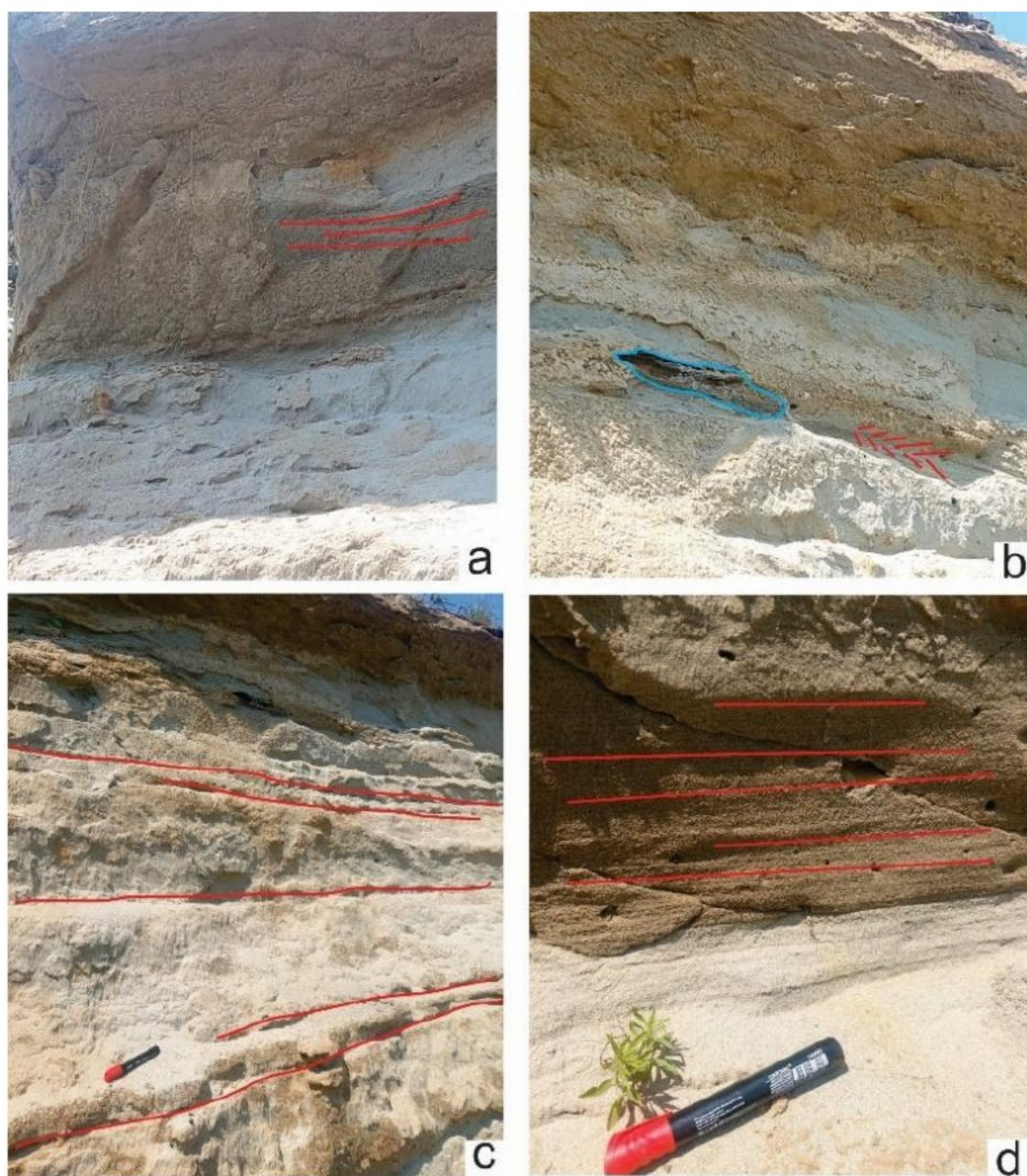
AGE	SCALE (m)	LITHOLOGY	LIMESTONES			STRUCTURES / FOSSILS	NOTES	FACIES
			MUD	SAND	GRAVEL			
			clay silt sh m c	mud wacke pack grain	nud & bound gran pebb cobbl boul			
PANON	12					<p>Žuti peskovi, srednjezrni do finožrni, sa horizontalnom laminacijom i konvolucijom. U peskovima se uoavaju soiva uglja i ostaci korenovog sistema biljaka (uzorak 4/16)</p> <p>Sitnozrni, masivni pesak sive boje, dobro sortiran (uzorak 4/14)</p>	Sr	
Panon	11					<p>Horizontalno laminirani sivkasto - žukasti peskovi, sa proslojcima kosolaminiranih peskova. Materijal je srednjezrn do finožrn. Mestimino se javljaju horizonti gvoževite kore (4/13).</p>	Sf	
Panon	10					<p>Koso i horizontalno laminirani peskovi, srednjezrni do krupnozrni, sa prisustvom gvoževite kore, kao i konvolucije.</p>	Sl	
Panon	9					<p>Horizontalno laminirani žukasti peskovi, sa proslojcima krupnozrnih peskova i gvoževitih horizonata. Osim horizontalne laminacije uoava se i konvolucija. Srednjezrni do krupnozrni žuti peskovi, sa pojavom kose laminacije i debljih gvoževitih horizonata, koji su krupnozrniji od ostatka serije.</p>	Sc	
Panon	8					<p>Žukasti peskovi, finožrni, dobro sortirani, sa izraženom horizontalnom laminacijom. U peskovima uoavaju se tanki slojevi gvoževitih naslaga, otpornih na eroziju.</p>	Sly	
Panon	7						Sly	

Slika 18 - gornji deo sedimentološkog stuba sukcesije između II i III ugljenog sloja.

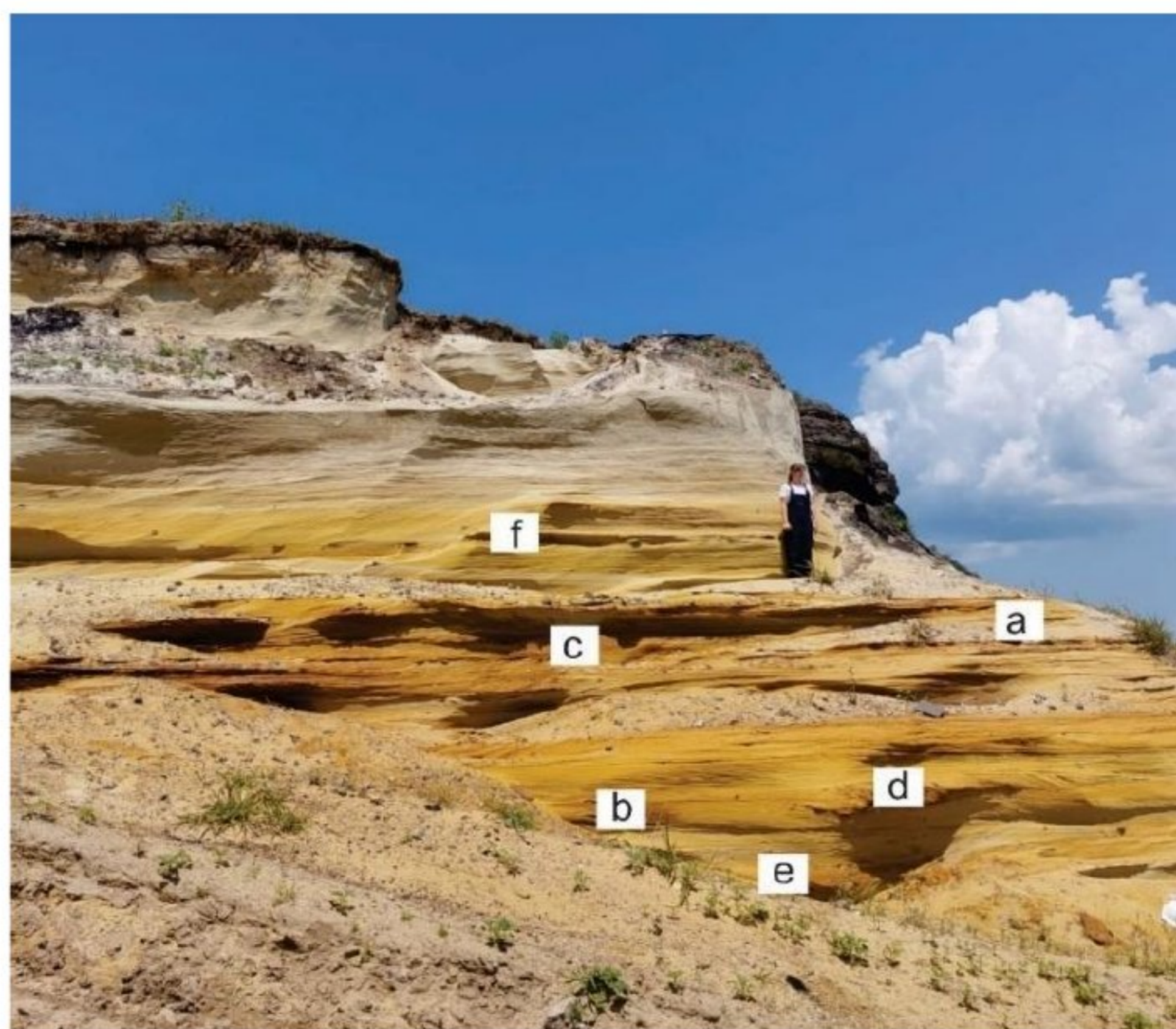
Treći sedimentološki stub snimljen je na koordinatama 44°44'26''N 21°14'5''E i superpoziciono se nalazi između prvog i drugog ugljenog sloja. Ceo stub izgrađen je od peskova, različitih sedimentoloških karakteristika (slike 17 i 18). Preko ugljeva leže metarske naslage masivnih peskova sa makrofosilima (Sff), puževima i školjkama, kao i mikrofosilima, ostakodama, i među kojih se nalaze tanje serije horizontalno laminiranih peskova (Sl), (slike 17, 18 i 19 i 20a i 20c). Ovakve sedimentacione osobine ukazuju na relativno brzu depoziciju u mirnoj sredini. Iznad masivnih peskova nalaze se krupnozrniji peskovi sa kašikastom, kosom laminacijom i laminacijom riblje kosti (Slc), (slike 1 i 20b), što ukazuje na depoziciju u dinamičnoj sredini. U peskovima se uočavaju odlomci uglja okruženi krupnozrnim peskom (slike 19 i 20b), što može biti indikator transporta materijala bujičnim tokovima. Nakon toga, dolazi do ponovne stabilizacije uslova depozicije, što se ogleda u metarskim naslagama peska sa horizontalnom laminacijom (Sl), (slike 19 i 20d). Gornji deo stuba izgrađen je u potpunosti od žutih peskova (slike 18 i 21), koji su u dnu horizontalno laminirani (Sly) (slike 22e), a preko njih je serija horizontalno laminiranih i koso laminiranih peskova (Sc) u smeni (slike 22b i 22f). Karakter ove serije ukazuje na brze promene u depozicionim uslovima, od mirne do dinamične sredine i obrnuto. U žutim peskovima su primećeni horizonti gvožđevitih naslaga u vidu tankih kora ili debljih krupnozrnih konglomeratičnih peskova (slike 22b, 22d, 22c,). Preko žutih peskova nalaze se horizontalno laminirani sivi peskovi i masivi sivi peskovi metarskih dimenzija (Sf), slični peskovima sa dna stuba. Na vrhu stuba nalaze se horizontalno laminirani peskovi, sa konvolucijom i tragovima korenja biljaka (Sr) što njihovu depoziciju sredinu pozicionira nedaleko od kopna. Peskovi sa korenjem prelaze u drugi ugljeni sloj, koji nije opserviran.



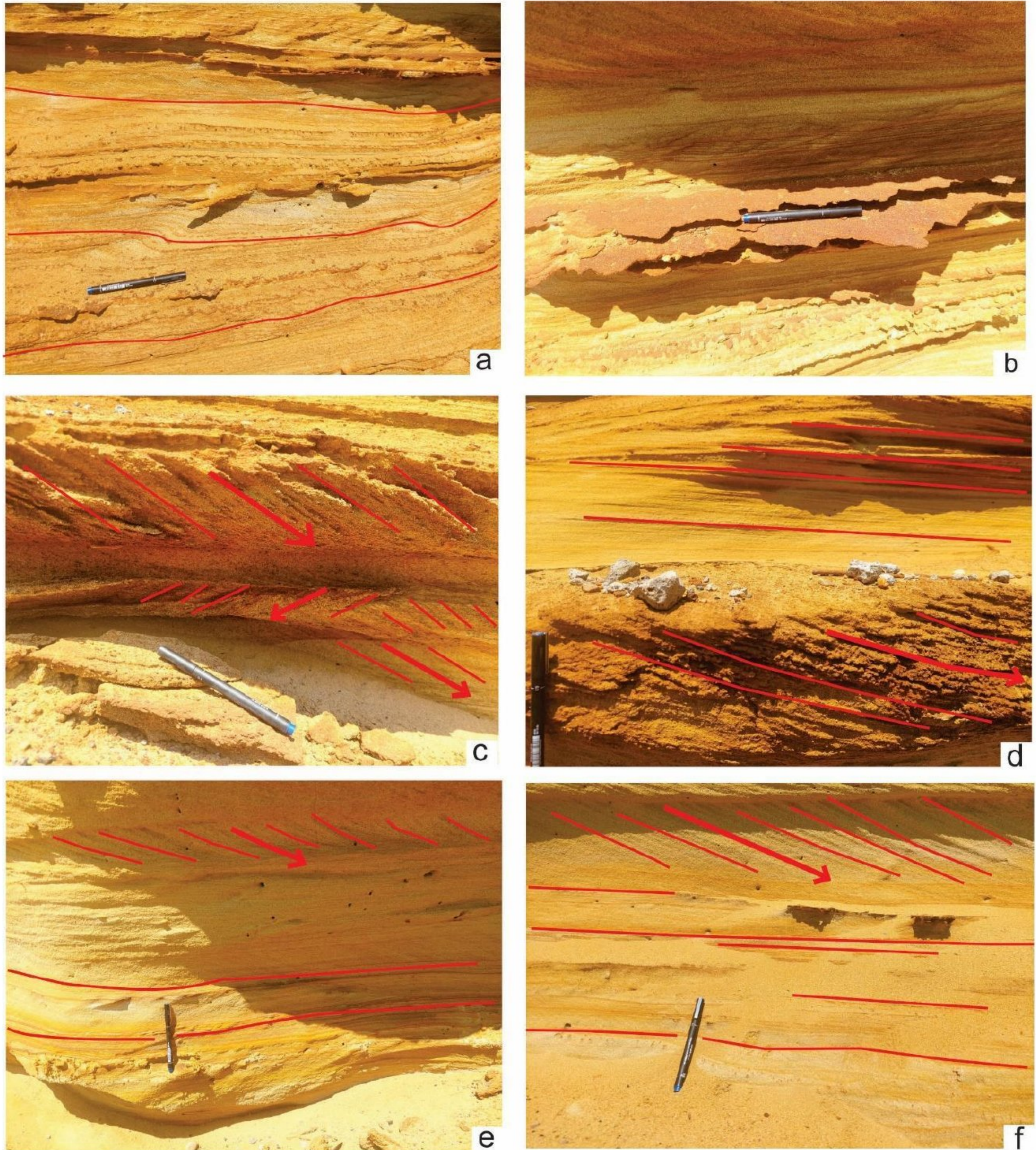
Slika 19 - Profil donjeg dela trećeg sedimentološkog stuba sa označenim pozicijama tekstura prikazanih na slici 20.



Slika 20 - detalji donjeg dela sedimentološkog stuba; a - paralelna laminacija u srednjozrnim peskovima; b - proslojak uglja okružen krupnozrnim peskom i laminacija riblja kost; c - krupna slojevitost u sitnozrnim peskovima; d - horizontalna laminacija u finozrnim peskovima.



Slika 21 - Gornji deo trećeg sedimentološkog stuba sa označenim pozicijama detalja prikazanih na slici 22.



Slika 22 - detalji gornjeg dela sedimentološkog stuba (pravac transporta materijala označen je crvenim strelicama); a - horizontalna laminacija u srednjezrnim peskovima; b - gvožđevite lamine u peskovima; c – kosa slojevitost u krupnozrnim peskovima; d – kosa slojevitost u krupnozrnim peskovima (niže) i horizontalna laminacija u finozrnim peskovima (iznad); e – horizontalna laminacija u donjem delu peskova, kosa laminacija u gornjem delu; f – horizontalna laminacija iznad, horizontalna laminacija ispod.

Na osnovu sedimentnih tekstura, podataka o granulometriji i mineralnom sastavu materijala, karakteristikama fosile faune, određeni su uslovi depozicije sedimenata, brzina i energija depozicije, dubina vodenog stuba i salinitet. Prema svim tim karakteristikama, izdvojeni članovi na stubovima ujedinjeni su u facije, a facije u facijalne asocijacije i depozicione sredine (tabele 1 i 2). Sedimenti su deponovani u prelaznim i kontinentalnim sistemima, gde su uslovi varirali od močvarnih, mirnih plitkovodnih do dinamičnih plitkovodnih uslova. Facije u prvom ugljenom sloju pokazuju depoziciju treseta u močvari, koja je povremeno narušena prinosom fino-zrnih sedimenata, te je energija depozicije veoma niska. U horizontu intraugljenih sedimenata energija sistema raste i deponuju se klastični sedimenti, sa slatkovodnom faunom i nizom sedimentnih tekstura koje su karakteristične za depoziciju u dinamičnoj sredini.

Karakteristike sedimentne sukcesije u celosti, ukazuju na deltni sistem, preciznije delte pod uticajem reka, budući da je uticaj prinosa materijala rečnim tokovima uočljiv na nekoliko mesta u stubu. U donjem delu sukcesije, u kom se nalazi treći ugljeni sloj i facije vezane za njega, sedimenti pokazuju karakteristike deltne ravnice, tačnije gornje deltne ravnice ili plavne ravnice. Vodeni stub je nizak, razvijen je sistem depozicije u močvari, sa niskom energijom vode i razvijenom vegetacijom. Gornji deo sukcesije pokazuje klastični karakter sa čestim promenama energije sistema i odgovara donjem delu deltne ravnice, koja se nalazi u neposrednom kontaktu sa energijom vode iz basena. Faze sa povećanom energijom depozicije mogu se povezati sa naglim prilivima materijala usled bujičnih tokova ili sa dominantnim uticajem energije vode iz basena u odnosu na energiju vodotoka koji transportuje materijal. Klastiti su terigenog porekla, na šta ukazuje visok sadržaj limonita, a izvor materijala je značajno udaljen, budući da zaobljenost i sortiranost ukazuju da je transport materijala dug.

Tabela 1 - Prikaz facija sa opisima i interpretacijom depozicione sredine.

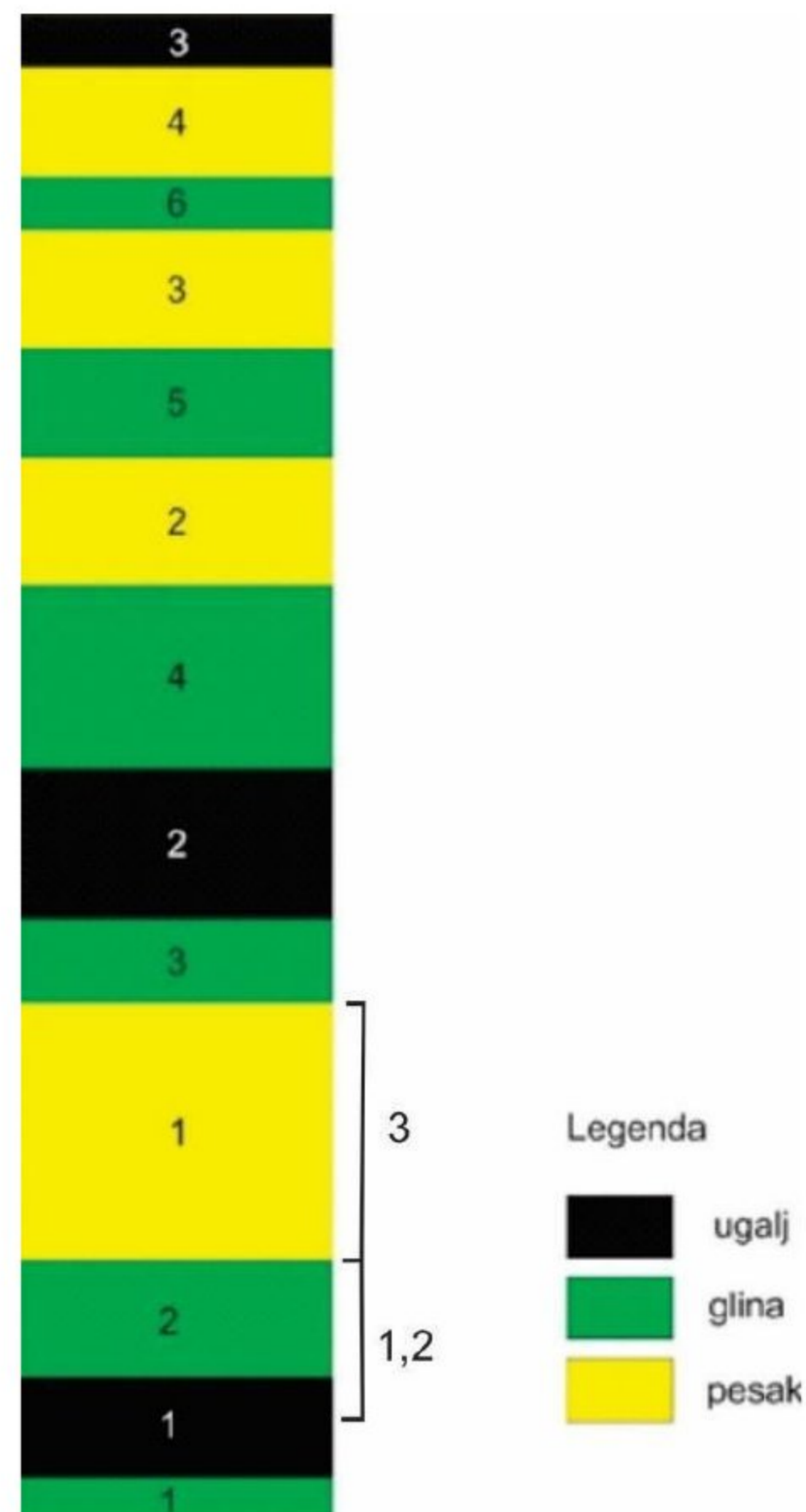
Facija	Kod	Opis	Intepretacija
Ksilitni ugljevi	Ck	Masivni ksilitni ugalj, strukturni i trakasti ksilit, sa dopleritom i mumificiranim drvetom.	Depozicija u močvarnim uslovima, visok stepen produkcije treseta, nizak nivo vodenog stuba, niska energija depozicije.
Ugljevita glina	Cc	Slojevita ili sočivasta tela ugljevitih masivnih, centimetarskih do metarskih dimenzija. Glina je izgrađena od barskog i ksilitnog uglja, doplerita, liskuna i kvarca. Uvek predstavlja prelaz između uglja i klastita.	Prisustvo finoznog materijala ukazuje na nisku energiju depozicije, a sortiranost i zaobljenost minerala na dug transport materijala. Visok nivo organske materije sa klastitima ukazuje zamenu akumulacije treseta akumulacijom klastita usled povećanog prinosa sedimenata.
Masivni finozni peskovi	Sf	Sivi finozni peskovi, decimetarskih do metarskih dimenzija, izgrađeni od kvarca, liskuna, odlomaka uglja, tragova fosilnog detritusa i ostrakodama. Zrna kvarca su najzastupljenija, dobro sortirana, dobro zaobljena.	Sortiranost i mineralni sastav materijala ukazuje na dug transport sedimenata, dok nepostojanje struktura govori o brznoj depoziciji u mirnim uslovima. Prisustvo ostrakoda definiše slatkovodnu sredinu.
Masivni peskovi sa makrofaunom	Sff	Masivni finozni sivi peskovi, sa slatkovodnom makrofaunom puževa i školjaka i mikrofaunom ostrakoda. Pesak je izgrađen od kvarca, liskuna i limonita, zrna kvarca su dobro zaobljena.	Depozicija u slatkovodnoj sredini, na šta ukazuje prisustvo makro i mikrofaune, brza sedimentacija ogleđa se u metarskim naslagama peska bez struktura, dok se dug transport materijala ogleđa u zaobljenosti i sortiranosti zrna.
Horizontalno laminirani peskovi	Sl	Srednjezmi, sivi peskovi, horizontalno laminirani, decimetarskih debljina, izgrađeni od dobro zaobljenih zrna kvarca, liskuna, odlomaka uglja i limonita. Materijal je dobro sortirani, bez fosilnih ostataka.	Horizontalna laminacija sedimenata ukazuje na nisku energiju depozicije i sporu sedimentaciju, prisustvo odlomaka uglja govori o prinosu organske materije u sistem, dok prisustvo limonita govori o prinosu terigene materije.
Horizontalno laminirani žuti peskovi	Sly	Srednjezmi, žuti peskovi, horizontalno laminirani, sa gvožđevitim laminama i proslojcima gvožđevitih šljunkovitih sedimenata. Materijal je dobro sortirani, dobro zaobljen, izgrađen od kvarca, limonita i liskuna.	Dominantna komponenta materijala je limonit, što ukazuje na prinos sedimenata sa kopna, dok sortiranost i zaobljenost kvarca ukazuje na dug transport materijala. Horizontalna laminacija je indikator mirne sredine depozicije, a horizonti krupnozrnog materijala na povremeni upliv sedimenata usled bujičnih tokova.
Koso laminirani žuti peskovi	Sc	Srednjezmi do krupnozmi žuti peskovi, koso laminirani, sa prisustvom konvolucije, šljunkovitim gvožđevitim slojevima i gvožđevitom korom. Materijal je dobro sortirani, dobro zaobljen, izgrađen od kvarca, limonita i liskuna.	Depozicija u dinamičnoj sredini, na šta ukazuje kosa laminacija kao i slojevi šljunkovitog materijala. Karakteristike materijala ukazuju na dug transport i terigeno poreklo, koje se ogleđa u prisustvu velike količine limonita.
Peskovi sa korenjem	Sr	Horizontalno laminirani žuti peskovi, srednjezmi, dobro sortirani, dobro zaobljeni, sa proslojcima uglja i tragovima konvolucije. U njima se jasno uočavaju ostaci korenovog sistema biljaka. Preko njih se nalazi ugalj.	Depozicija u priobalskom području sa razvijenom vegetacijom, koja postepen prelazi u ugalj. Sedimenti imaju visok procenat gvožđa, što ukazuje na terigeno poreklo, dok horizontalna laminacija i konvolucija ukazuju na mirnu sredinu sa podvodnim klizanjima.
Peskovi sa ugljevima	Slc	Sivi, srenjezmi peskovi sa kosom laminacijom, laminacijom riblje kosti, sočivima uglja okruženim krupnozrnim materijalom.	Depozicija u sredini visoke energije sa naglim prinosom krupnozrnog materijala i organske materije, formiranje kose laminacije i laminacije riblje kosti govori o mogućoj magloj depoziciji materijala usled bujičnog toga visoke energije.

Tabela 2 - Sedimentne facije i facijalne asocijacije definisane na osnovu tabele 1.

Facijalna asocijacija	Depoziciona sredina
Ck, Cc, Sf	Močvara
Sly, Sc, Sr, Slc	Gornji deo deltne ravnice
Sf, Sff, Sl	Donji deo deltne ravnice

3.1.2 Karte debljina frakcija

Na osnovu podataka o kartiranim bušotinama iz baze firme „Georad“ konstruisane su karte debljina sedimenata, prema različitoj granulometriji – karte debljina peska, glina i uglja. Budući da se sve frakcije nalaze u nekoliko horizonata postoji više karata za svaku frakciju, numerisanih prema superpozicionom odnosu, od najstarijeg ka najmlađem (slika 24).



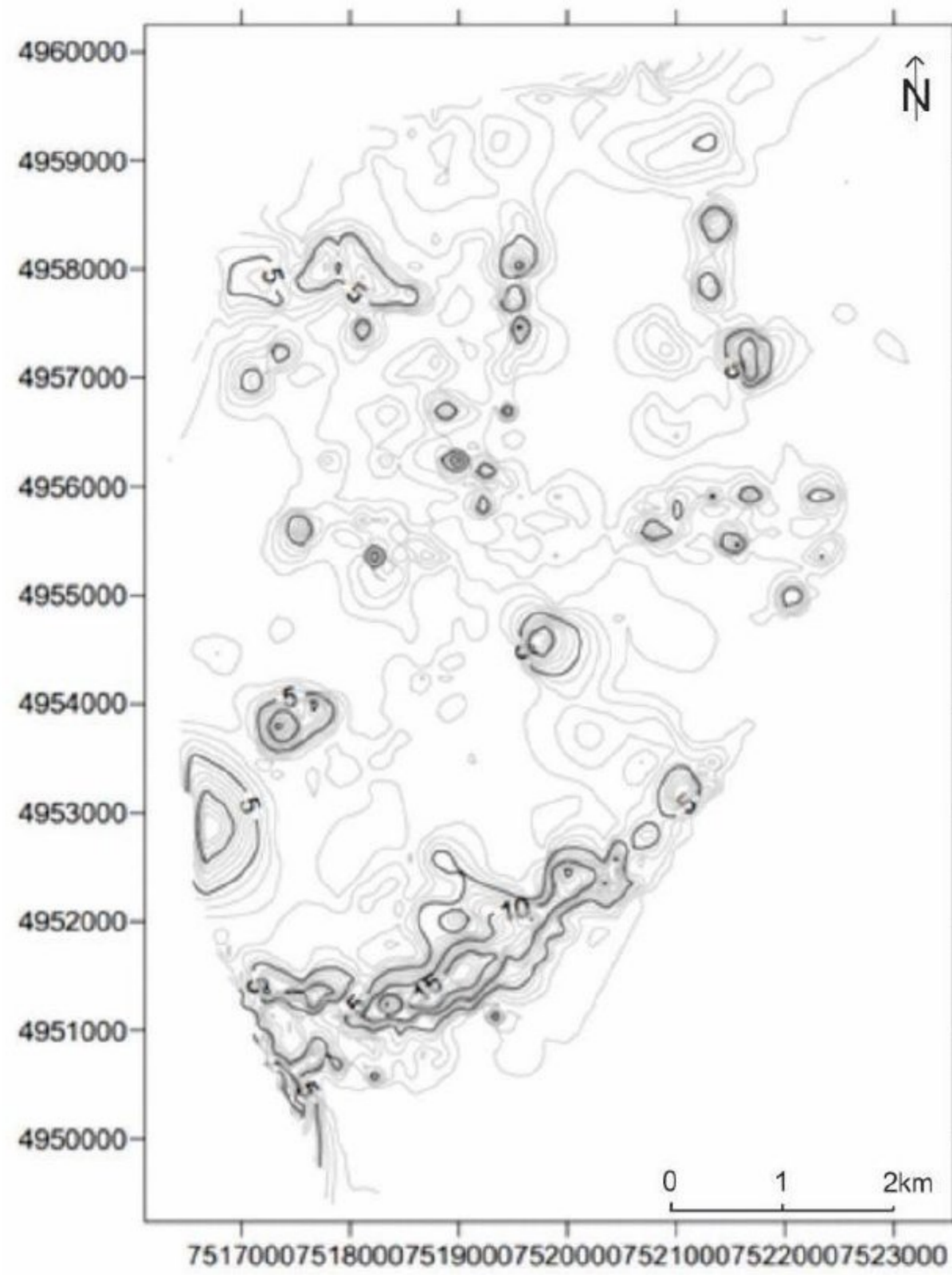
Slika 24 - Pregledni stub odnosa horizonata za koje su izrađene karte debljina sa ucrtanim pozicijama snimanih stubova (stub predstavlja šematski prikaz).

Karte debljina ugljeva

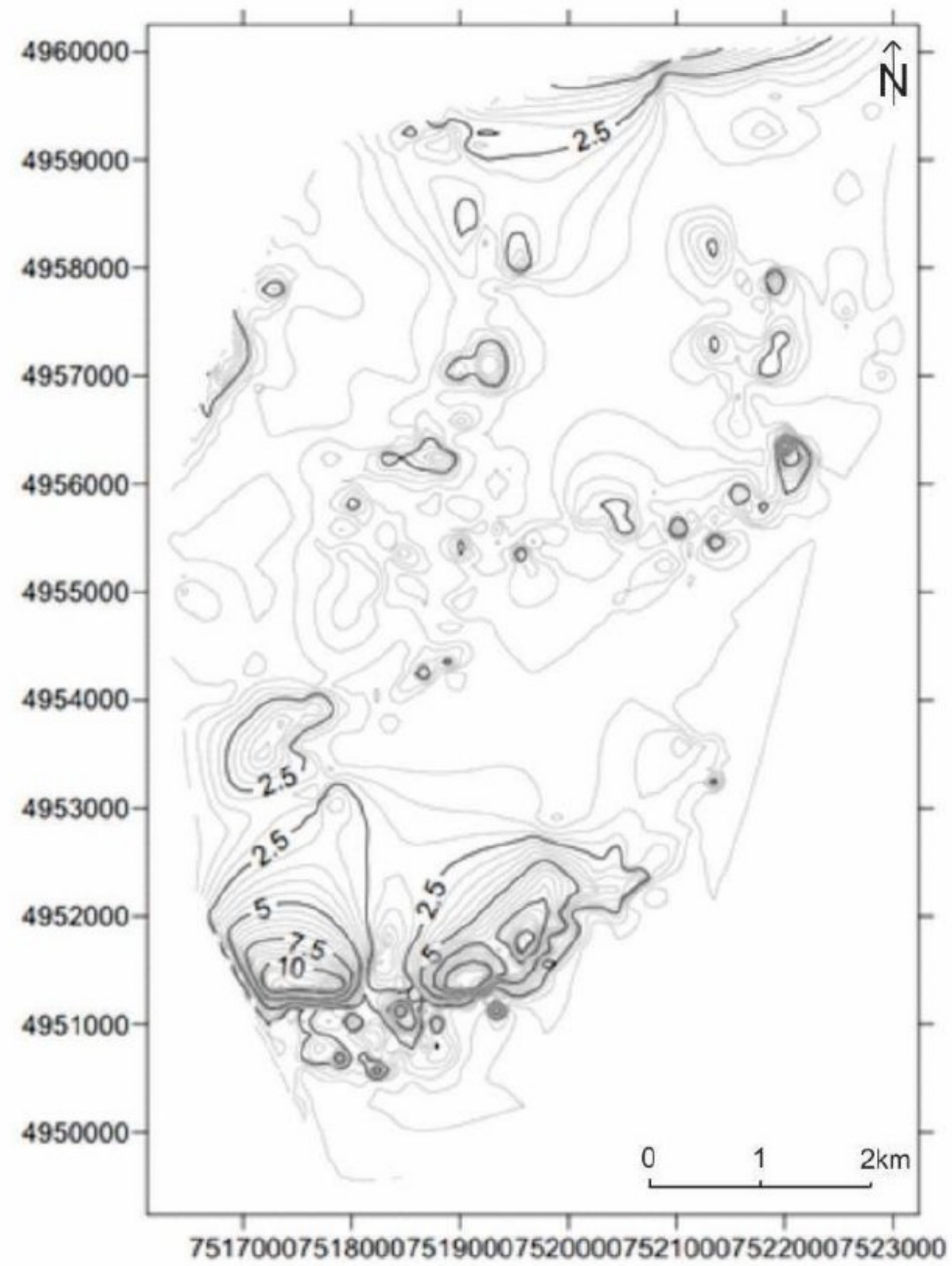
Karta debljine prvog ugljenog sloja pokazuje najveće debljine u južnim delovima kopa, oko 10 metara, kao i povećane debljine u severnom delu – 5 metara. Na ostalim delovima, debljina ovog sloja je znatno manja (slika 25).

Drugi ugljeni sloj takođe pokazuje najveće debljine u južnom i jugozapadnom delu u iznosu od 15 metara, nešto manje u severnom delu – 5 metara, i mestimično u centralnom delu karte. Pokazuje sličan trend debljine kao i drugi ugljeni sloj (slika 26).

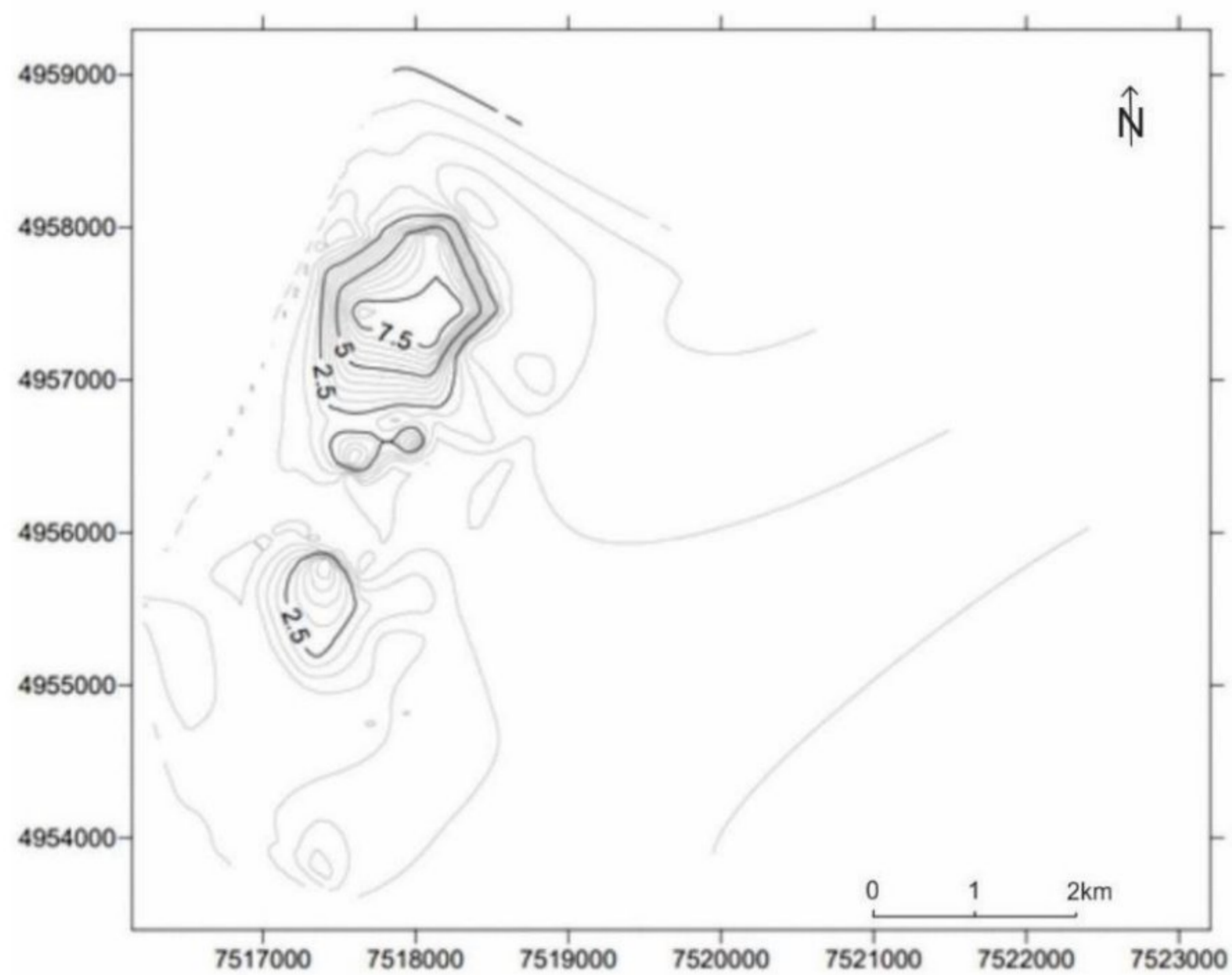
Treći sloj zastupljen je samo u severnom delu karte, debljine od 7 do 2,5 metara (slika 27).



Slika 25 - Karta debljine I ugljenog sloja.



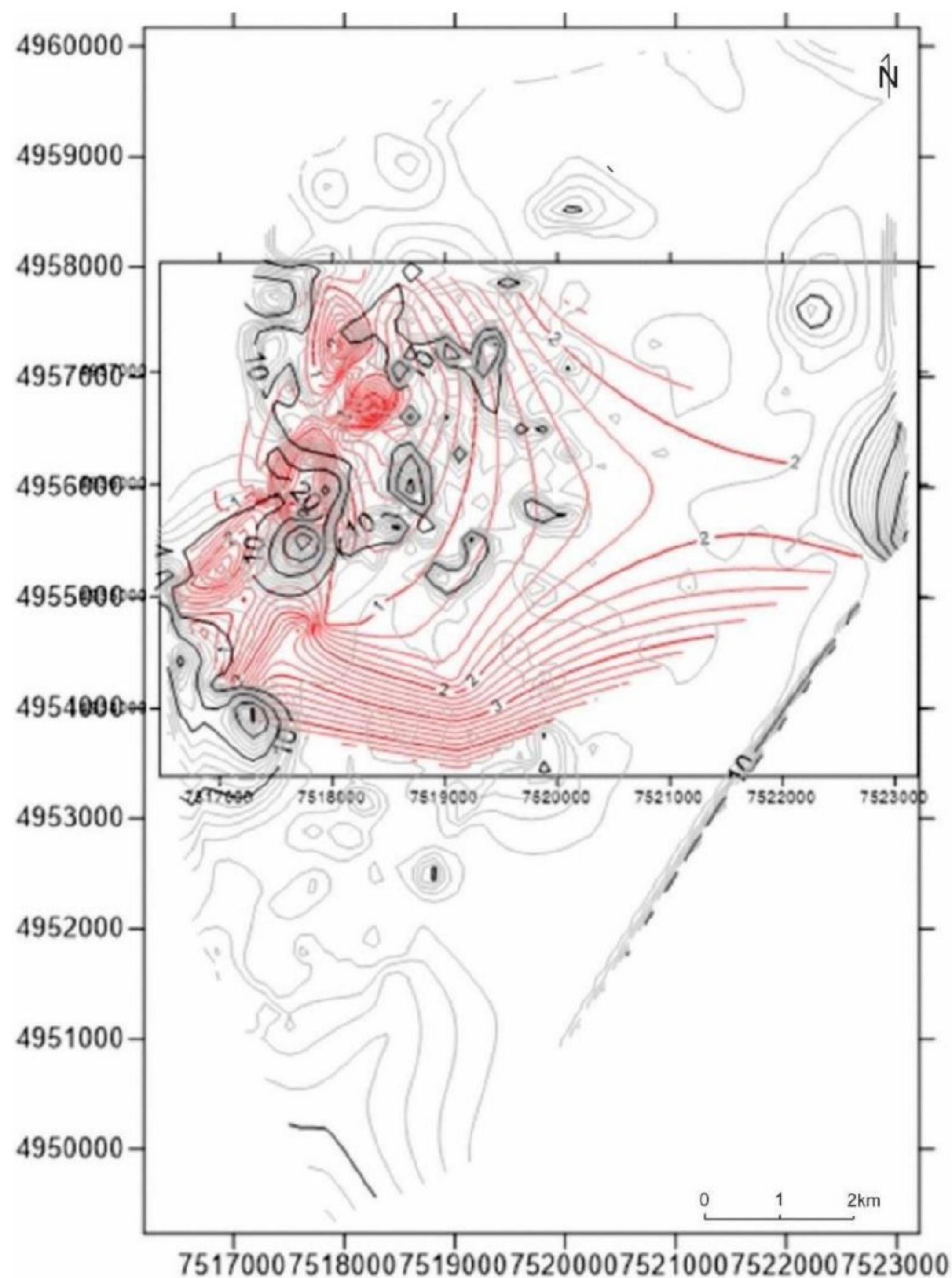
Slika 26 - Karta debljine II ugljenog sloja.



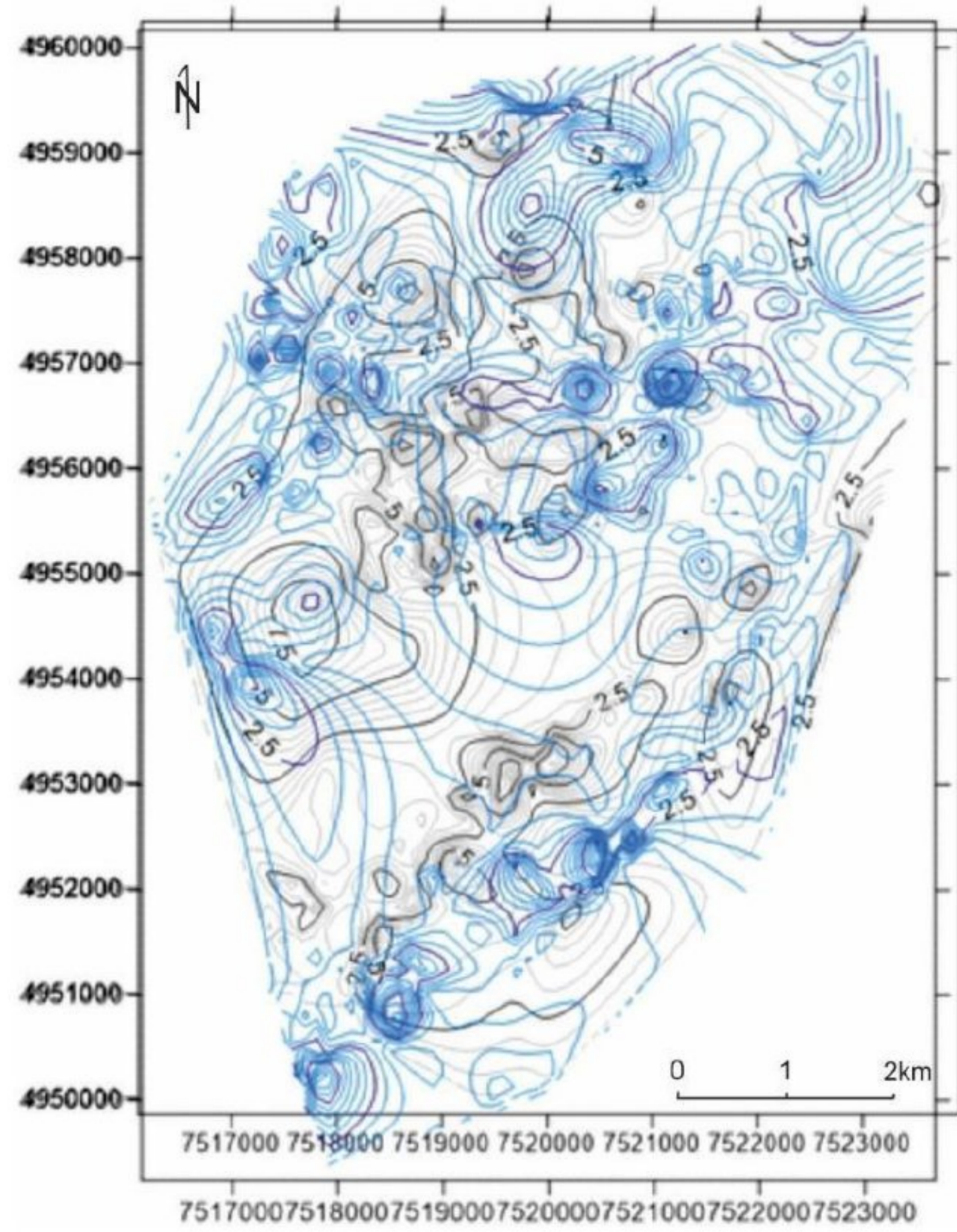
Slika 27 - Karta debljine III ugljenog sloja.

Karte debljina glina

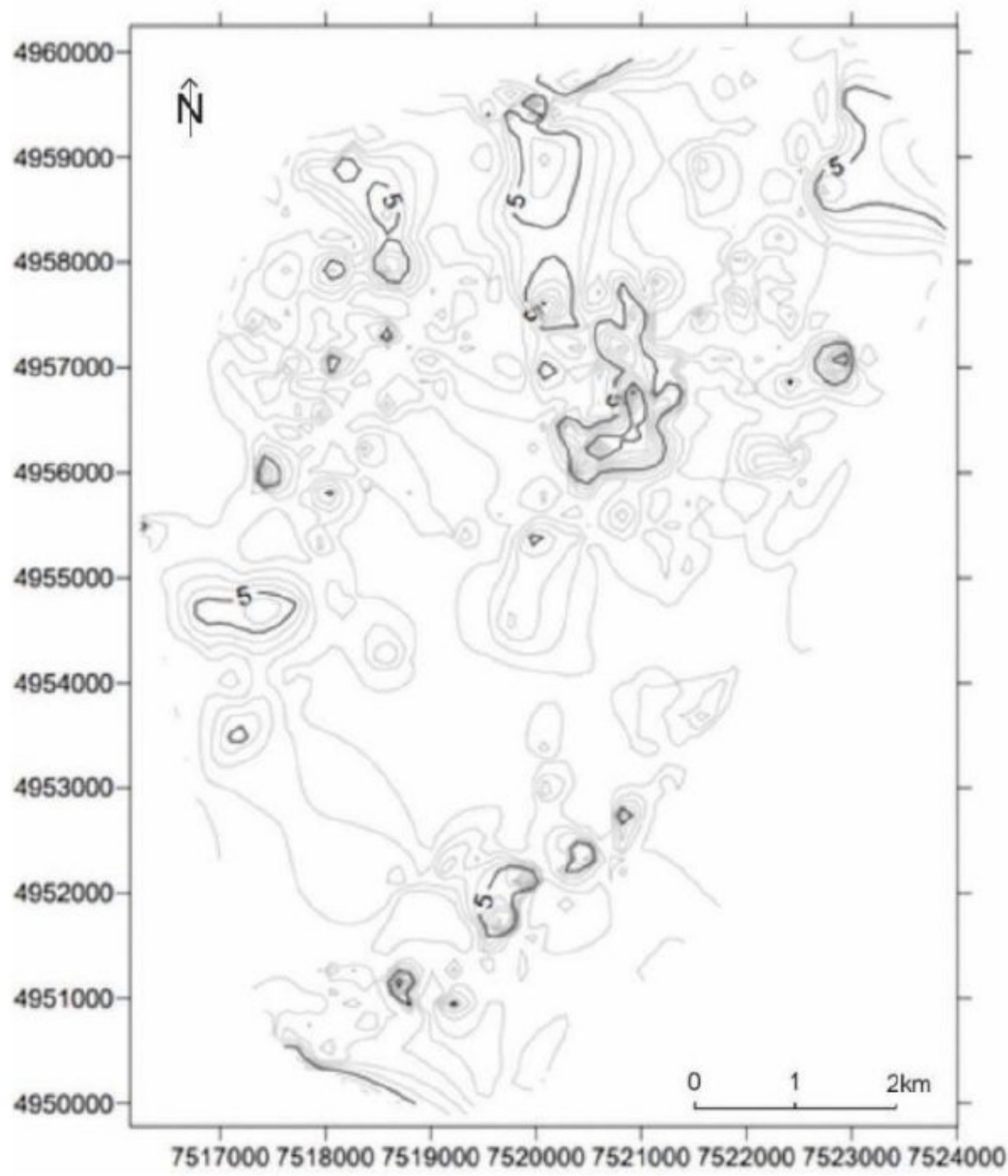
Prilikom izdvajanja podataka kartiranja jezgara na frakcije, izdvojeno je šest horizonata glina (slika 24). Svi horizonti pokazuju slično pružanje i debljine, ali se može pratiti širenje horizonata glina kroz vreme. U stratigrafski starijim horizontima glina se prostire u zapadnom delu karte, te se širi ka centralnom delu u mlađim slojevima, što se vidi na preklopu karte debljina prvog i drugog nivoa glina (slika 28). Na karti preklopa debljina trećeg i četvrtog horizonta vidimo kako se debljina prostiranja glina pomera u pravcu severozapada i jugoistoka, a vremenom severozapadni deo horizonta postaje dominantne debljine (slika 29). Najmlađi horizonti glina su ravnomerno raspoređeni po celoj površini kopa (slike 30 i 31).



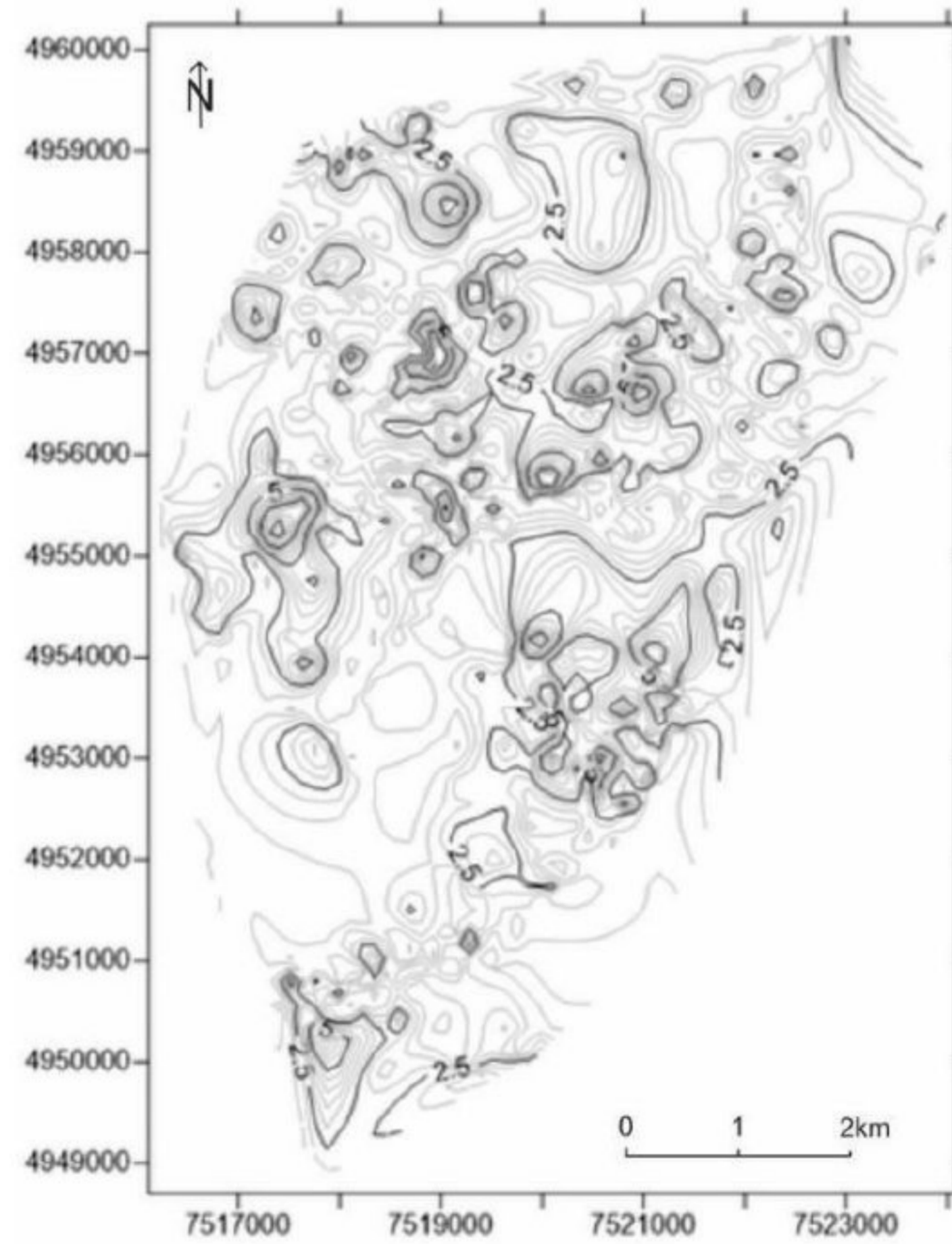
Slika 28 - Preklop karata debljina prvog (crno) i drugog (crveno) glinovitog horizonta.



Slika 29 - Preklop karata debljina trećeg (crno) i četvrtog (plavo) horizonta gline.



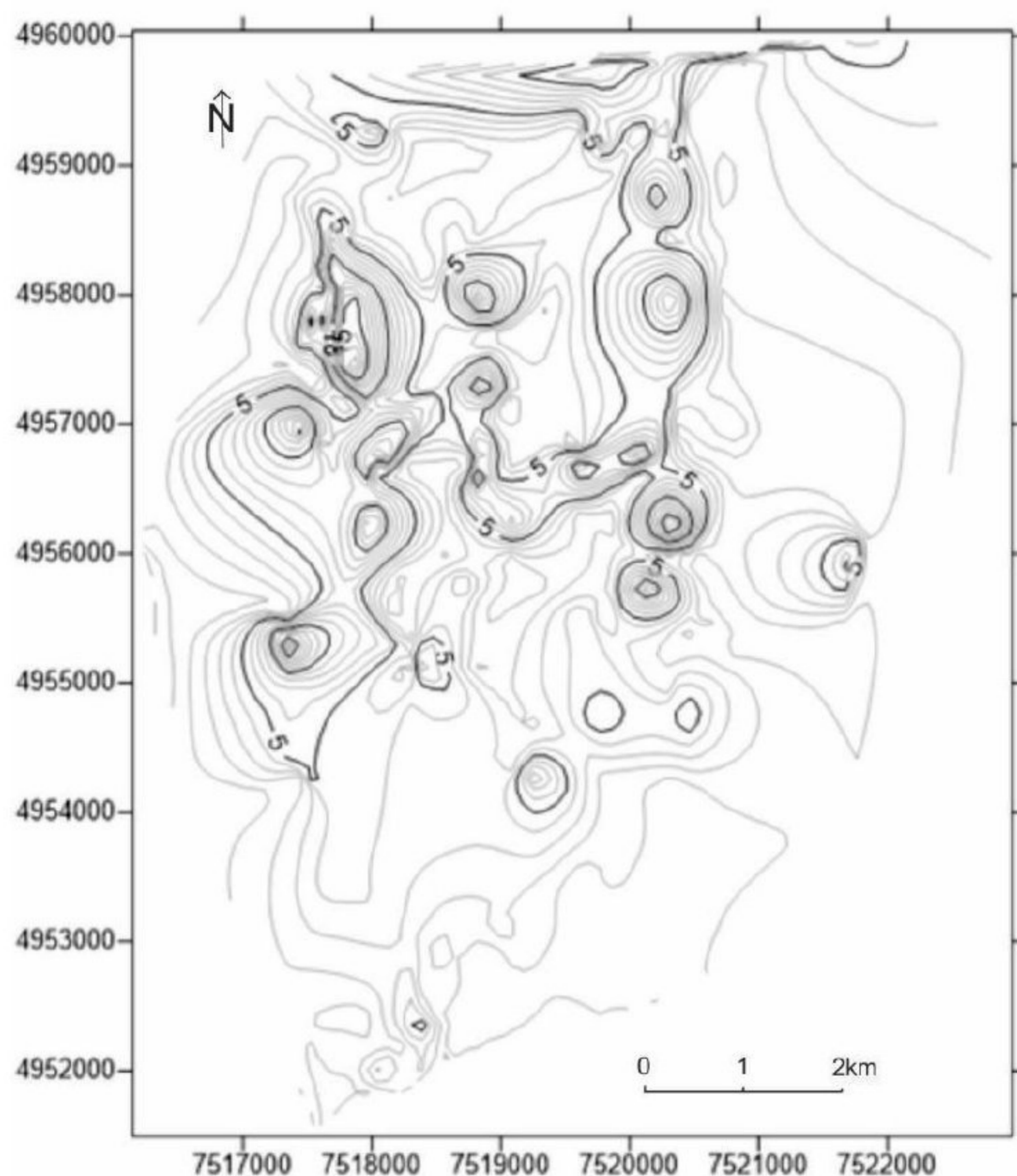
Slika 30 - Karta debljine petog horizonta gline.



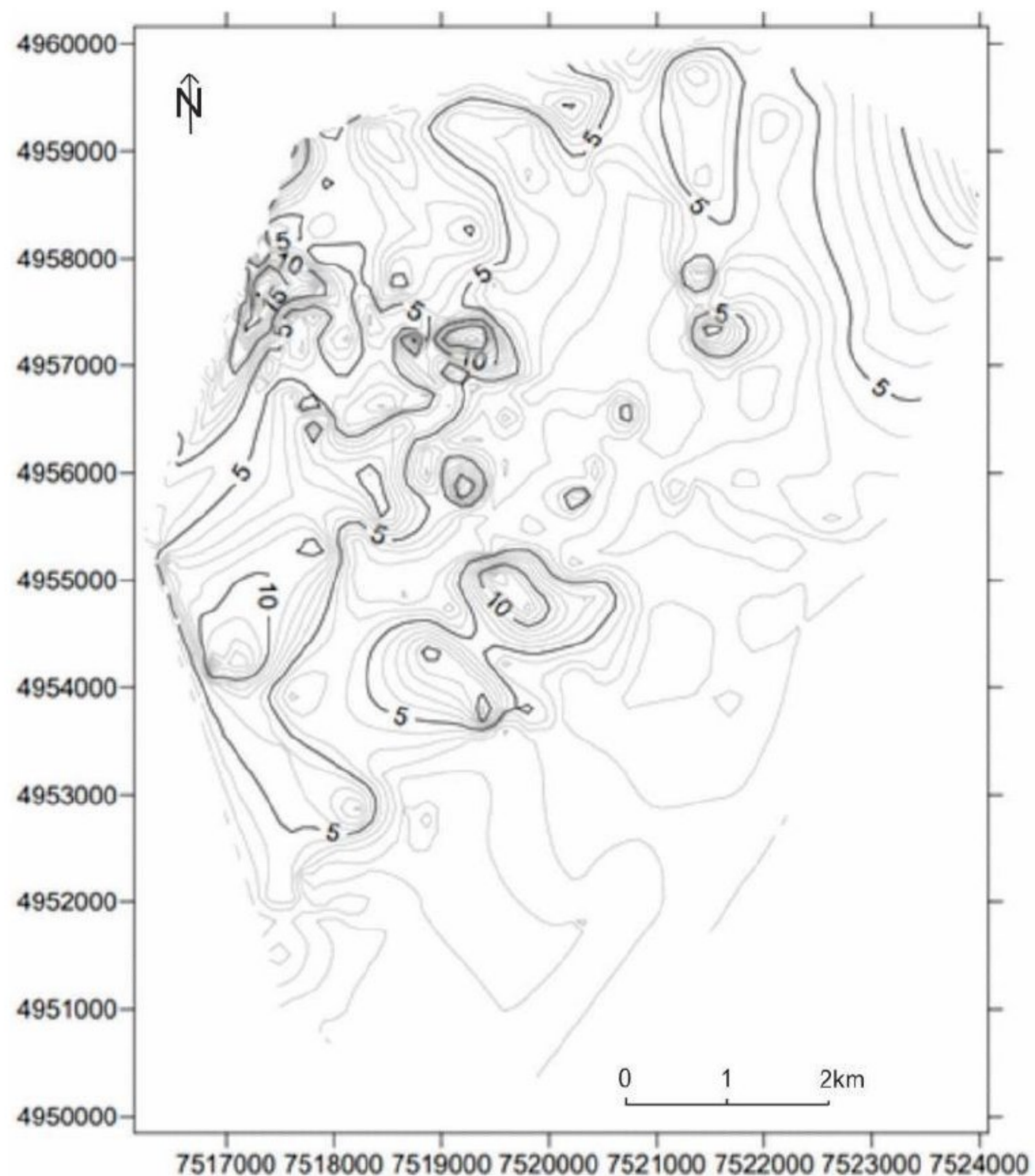
Slika 31 - Karta debljine šestog horizonta gline.

Karte debljina peska

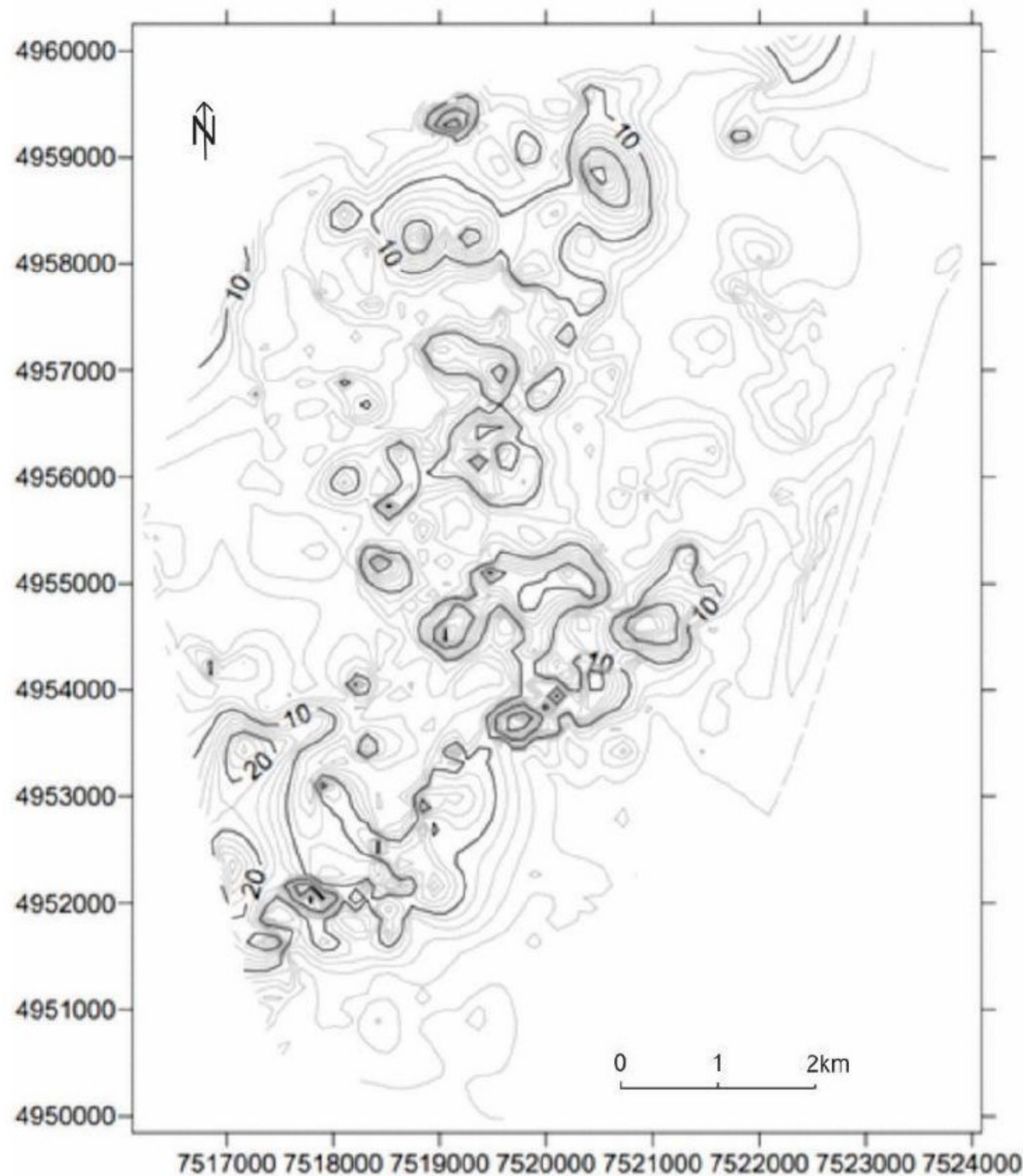
Prema podacima kartiranih bušotina konstruisane su karte četiri značajna horizonta peska, čiji položaj je prikazan na slici 24. Sva četiri horizonta imaju najveće debljine na zapadnom i severozapadnom delu, dok sa južne i istočne strane, peskovi uopšte nisu zastupljeni. Na kartama se može pratiti velika debljina peskova na zapadu u najstarijim slojevima, koja iznosi do 15 metara (slike 32 i 33), a zatim sedimenti postaju sve deblji ka severu. Vremenom se izdvajaju dva velika peščana tela – na severu i jugozapadu, u trećem horizontu (slika 34), dok se pesak u najmlađem horizontu nalazi u vidu jednog tela značajne debljine (do 20 metara), na severozapadu kopa (slika 35).



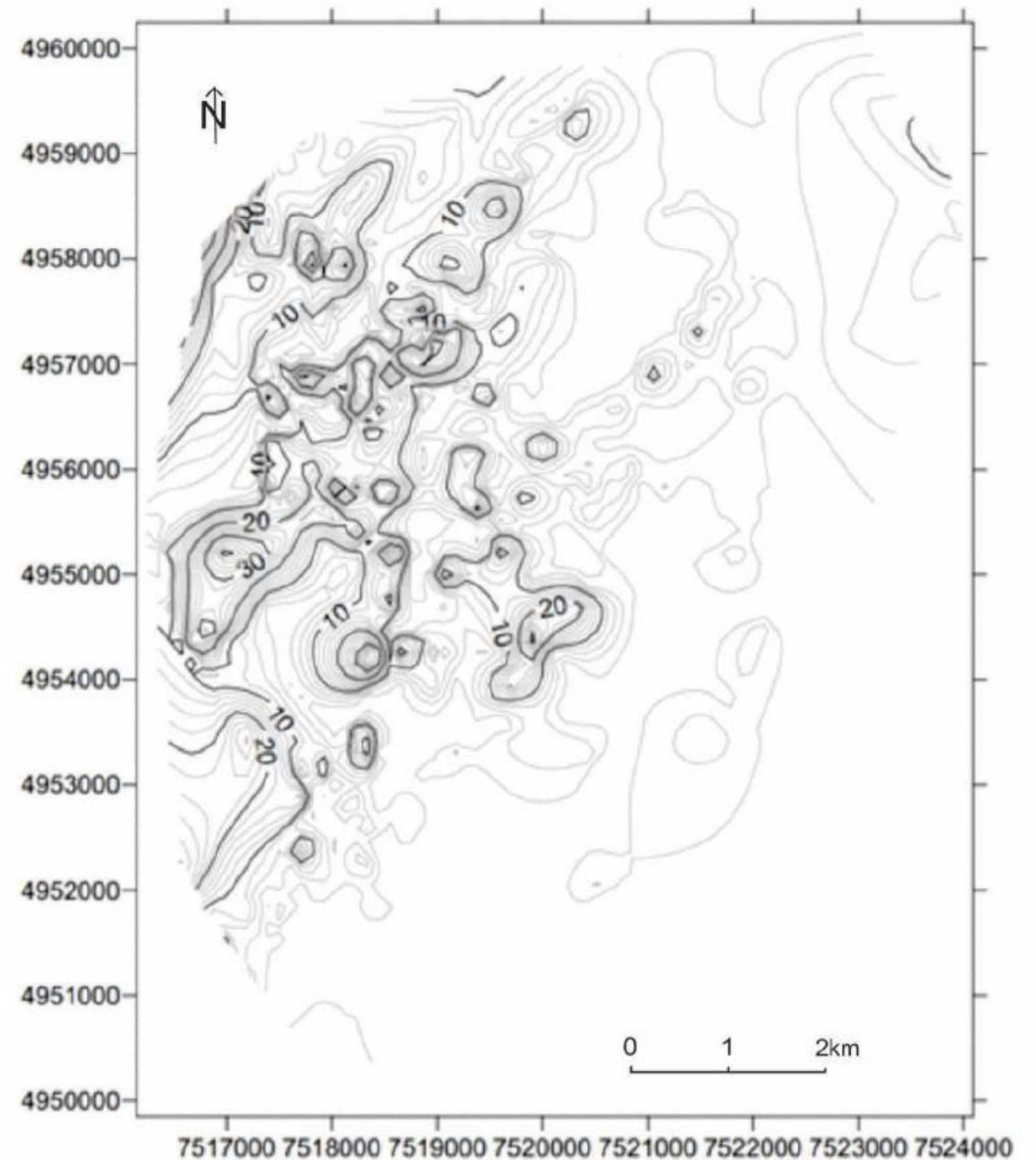
Slika 32 - Karta debljine prvog peščanog horizonta.



Slika 33 - Karta debljine drugog peščanog horizonta.



Slika 34 - Karta debljine trećeg peščanog horizonta.

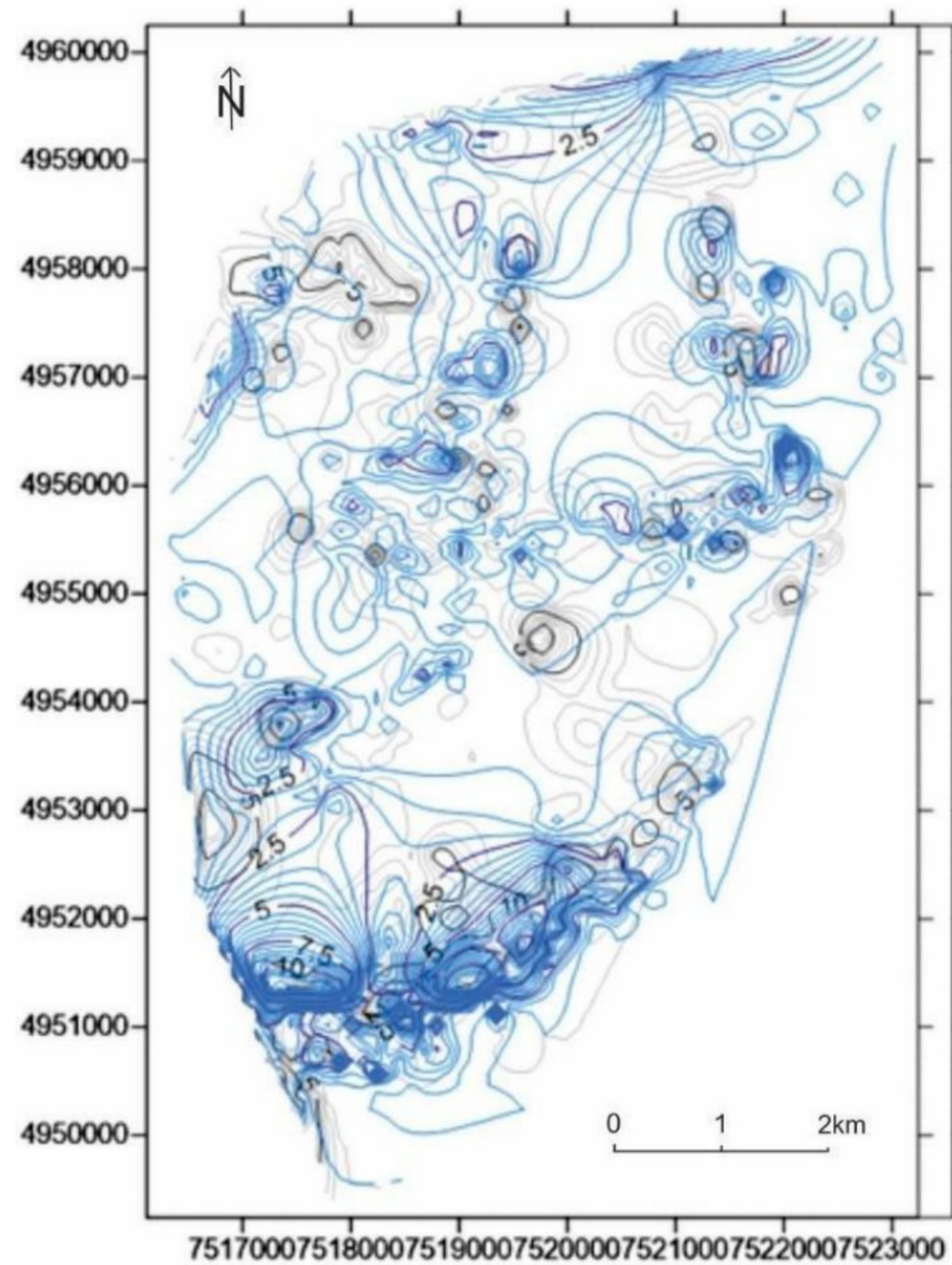


Slika 35 - Karta debljine četvrtog peščanog horizonta.

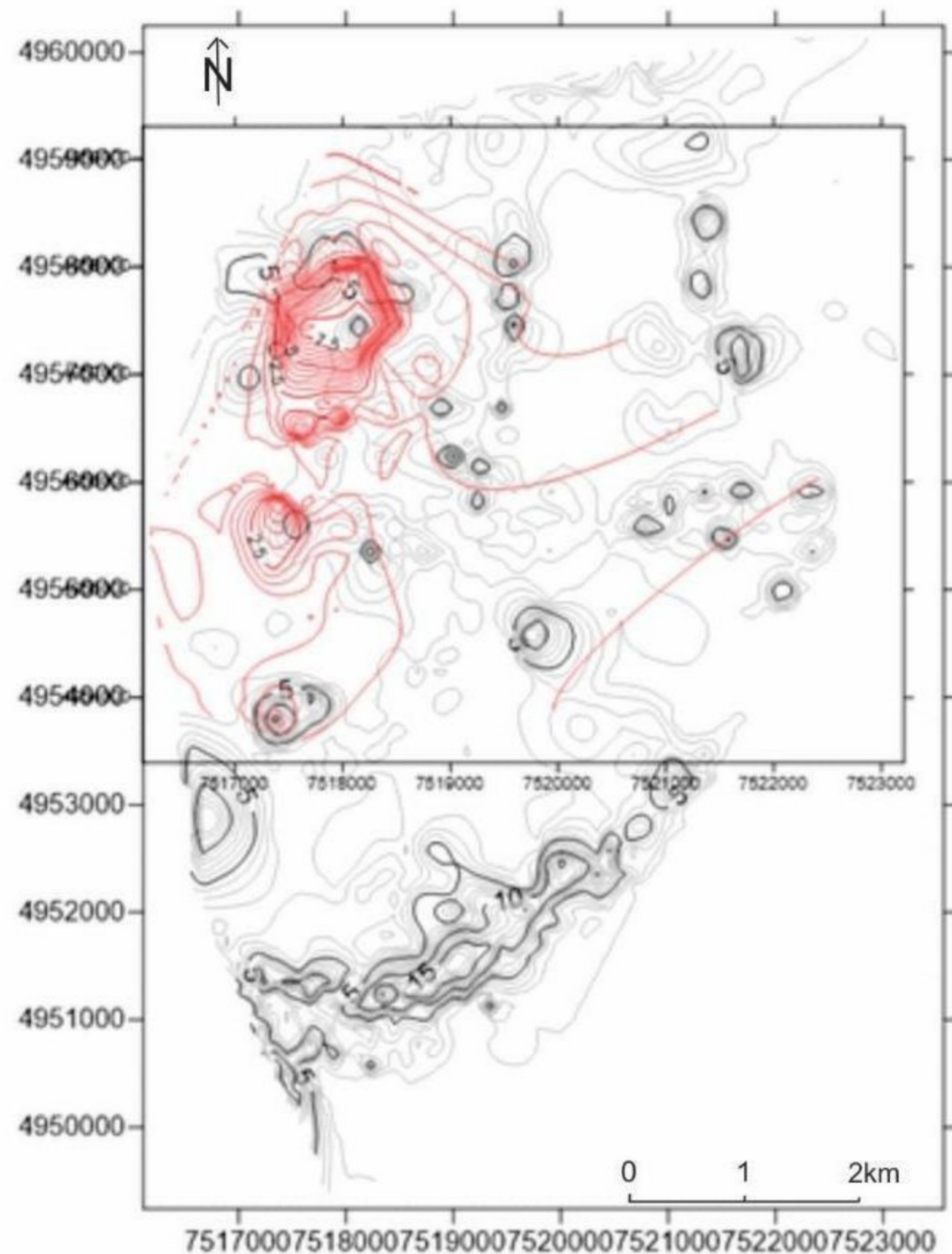
Karta debljina peskova ukazuje na pravac distribucije pešćanih kanala, geometriju pešćanog tela delte, pravac transporta i poziciju izvora materijala, dok karte debljina glina ukazuju na prostore niske energije depozicije u uslovima plavne ravnice ili sublitoralne oblasti. Izolinije debljine ugljeva ukazuju na geometriju močvarne sredine (Shao et al., 2020).

Na svim kartama može se uočiti povećanje debljine sedimentata u zapadnom i severozapadnom delu basena, od starijih ka mlađim horizontima, na osnovu čega može se izvesti zaključak o zapunjavanju sedimentima iz pravca jugoistoka ili istoka. Močvarna sredina je u prvom ciklusu akumulacije uglja bila zastupljena samo u severnom delu basena, dok se u druga dva ciklusa močvarna sredina proširila u celom basenu, sa veoma razućenim reljefom. Najveće akumulacije u oba ciklusa su bile u južnom delu, nešto manje akumulacije na severozapadu, dok u centralnom delu nisu formirane deblje naslage uglja (slike 36 i 37). Područja niske energije depozicije, markirana glinovitim sedimentima, pokazuju sličan trend pružanja, kao ugljeni slojevi. Na južnim delovima basena, glinoviti horizonti su najdeblji u svakom ciklusu, ali se u svakom ovom ciklusu sedimentacije tela

gline šire ka severu i severozapadu, a u najmlađem ciklusu su ravnomerno raspoređeni preko cele karte i označavaju kraj depozicije uglja. Peskoviti sedimenti takođe pokazuju sličan trend, jasno se izdvaja progradacija peskova ka severu i severozapadu. Osim toga u prvim horizontima uočavaju se peščana tela kanalskog tipa, koju kasnije zamenjena telima konusnog oblika u mlađim horizontima.



Slika 36 - Preklop karte debljine drugog (plavo) i prvog (crno) ugljenog sloja.



Slika 37 - Preklop karata debljine drugog (crno) i trećeg (crveno) ugljenog sloja.

Granulometrijske karte pokazuju jasne trendove širenja uglja i gline sa zapada ka istoku i jugoistoku, do prekida akumulacije treseta, koja je potpuno zamenjena klastičnom sedimentacijom. Karte debljine peskova pokazuju trend progradacije peskova ka severu i severozapadu, a u najmlađem horizontu peskovito telo prelazi u potpunosti na severozapad. Na osnovu ovoga prinos sedimenata može da se pozicionira iz pravca juga, juogistoka, a izvor materijala su Karpatske planine.

3.2 Rezultati i interpretacija podataka biostratigrafske analize

Na osnovu paleontoloških podataka iz baza „Georada“ i analize prikupljenih uzoraka sa terena određen je stratigrafski opseg starosti sedimenata, kao i procena uslova sedimentacije.

Podaci o determinisanoj fosilnoj fauni iz jezgara bušotina predstavljani su u tabeli 3 i ukazuju na depoziciju u plitkoj slatkovodnoj sredini. Najzastupljenije su ostrakode, puževi i školjke. Kao dobri indeks fosili izdvajaju se školjke *Prosodacnomya carbonifera* i *Prosodacnomya elongata* koja je ekvivalent *Prosodacnomya dainelli*. *Prosodacnomya carbonifera* ukazuje na starost od 7,5 do 8 miliona godina (Radivojević et al., 2022) i zastupljena je u bušotinama na južnom, jugoistočnom i severnom delu kopa. *Prosodacnomya elongata* ukazuje na nešto mlađe sedimente od 7,2 miliona godina (Radivojević et al., 2022), a nalazi se u bušotinama u zapadnom delu kopa, u plićim delovima sukcesije (slika 38). Ovaj trend može da se poveže sa granulometrijskim kartama, gde se mlađi peskovi nalaze zapadno od starijih horizonata peska, usled progradacije ka severozapadu.

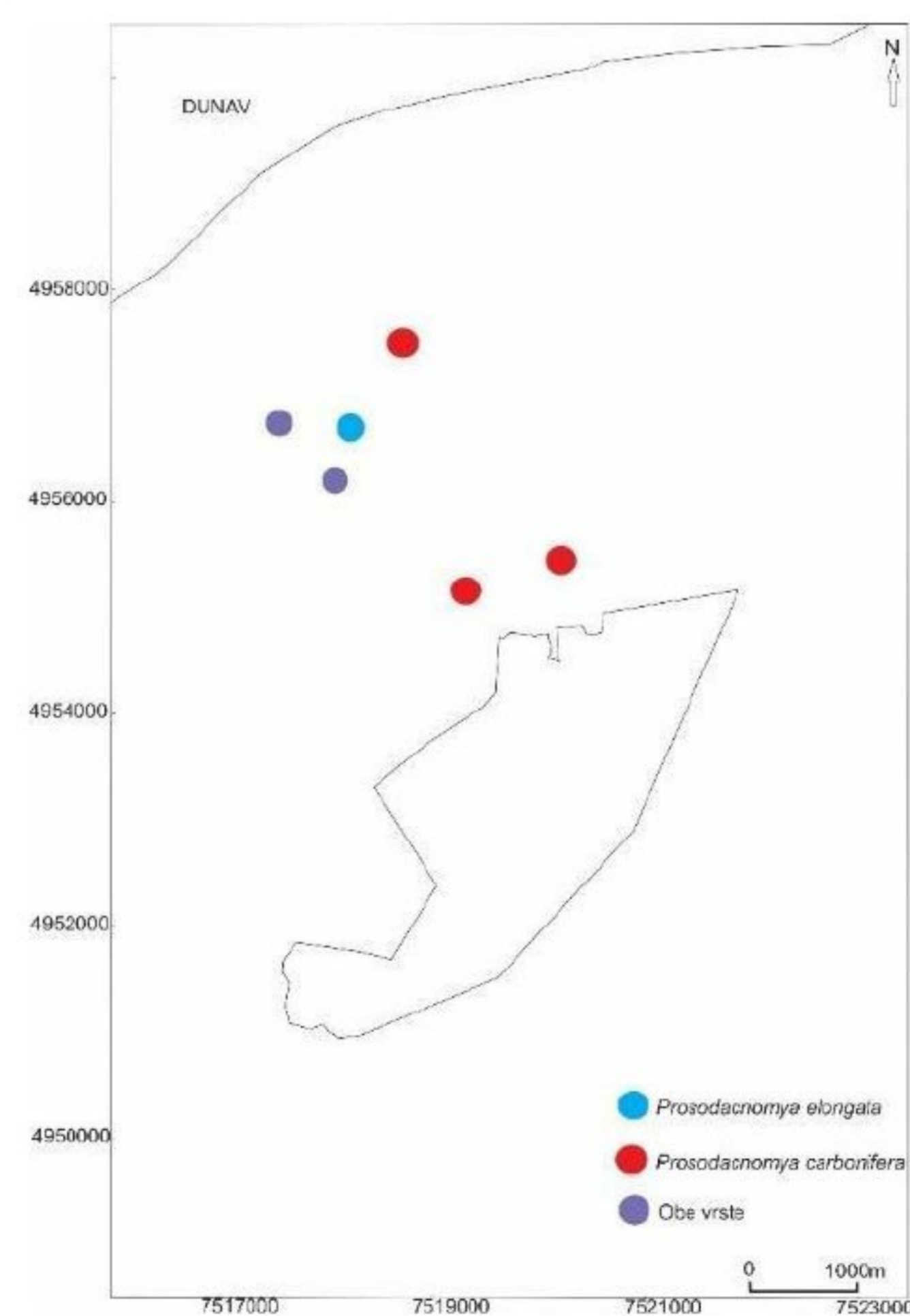
Iz materijala prikupljenog terenskim opservacijama, izdvojeni su fosili ostrakoda, školjaka i puževa. Fauna ostrakoda pronađena je u intraugljenim peskovima, kao u dnu peskovite serije trećeg profila. Ostrakode su determinisane kao *Cyprideis triangulata*, na osnovu ranijih istraživanja (Rundić et al., 2011). U toj seriji pronađena je i makrofauna školjaka i puževa. Determinisane su školjke *Prosodacnomya carbonifera*, *Limnocardium edlaueri* (slike 39c i 39d) i puževi *Melanopsis decollata* (slike 39a, 39e i 39f), koji ukazuju na slatkovodnu, do brakičnu sredinu, starosti između 7,5 i 8 miliona godina. U sedimentnom materijalu pronađene su i mlade i odrasle jedinke *Prosodacnaomya carbonifera*, *Melanopsis decollata* i *Cyprideis triangulata* (slika 39b), što ukazuje da su sve tri vrste autohtone u peskovima (slika 39).

Na osnovu pronalazaka indeks fosila u jezgrima bušotina, starost panonskih sedimenata Drmljanske depresije procenjena je između 7,5 i 8 miliona godina u južnom delu sukcesije (usled prisustva *Prosodacnomya carbonifera*), i 7,2 miliona godina u severnom delu sukcesije (usled prisustva *Prosodacnomya carbonifera*). Na osnovu ovih podataka o većoj starosti sedimenata na jugu u odnosu na sedimente na severu, može se tvrditi progradacija u pravcu severa i severozapada.

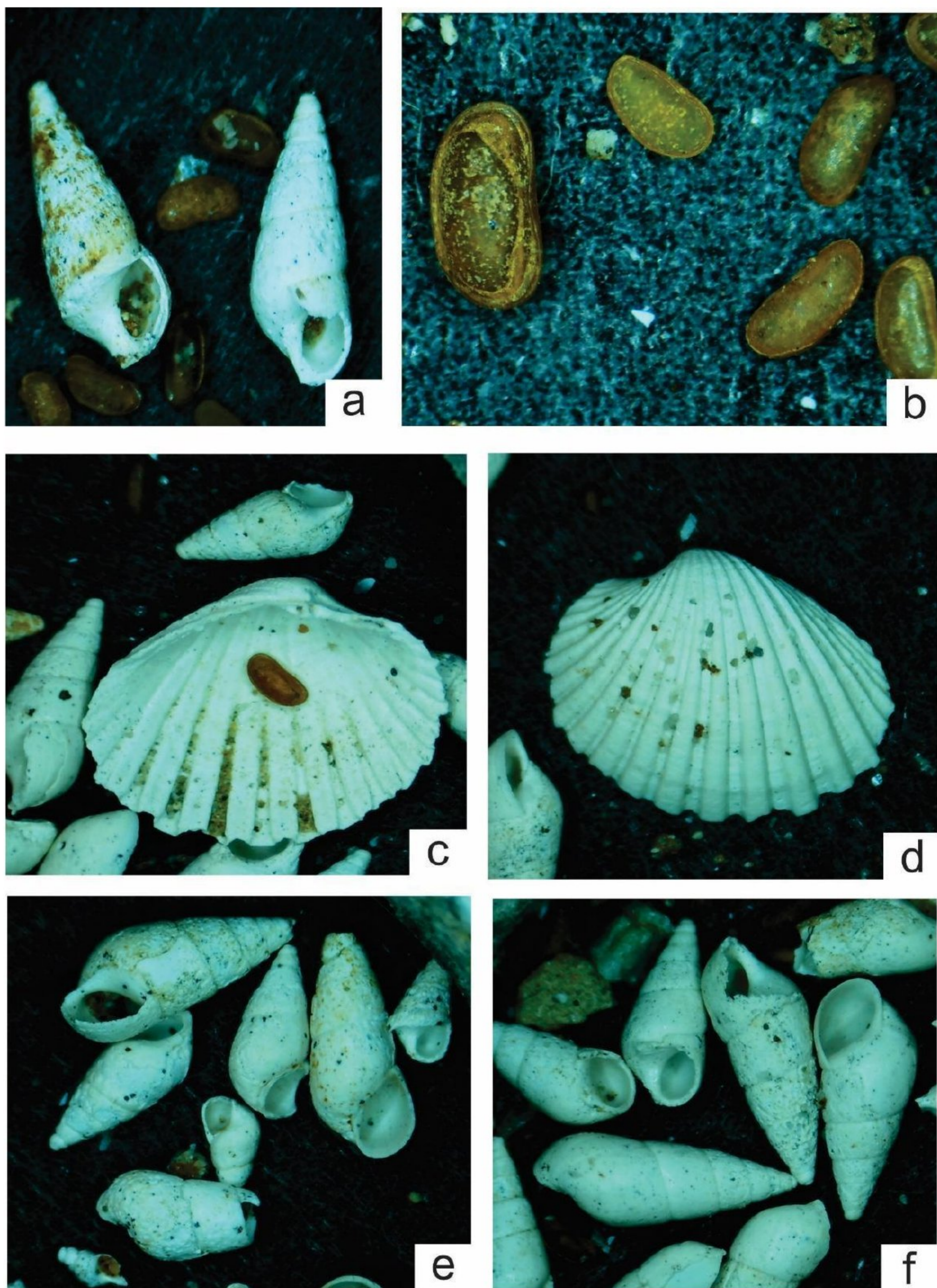
Tabela 3 - Podaci o paleontološkim istraživanjima iz bušotina, sa opisom determinisane faune.

Broj bušotine	Dubina od	Dubina do	Paleontološka asocijacija
J31:71	97.15	97.30	Identifikovani su mekušci: <i>Congerina sp.</i> , <i>Congerina triangularis</i> Partsch, <i>Melanopsis ex gr. decolata</i> Stoliczka, <i>Dreissena sp.</i> (cf. <i>D. serbica</i> Brusina), <i>Limnocardium cf. haueri</i> M.Hoernes, <i>Limnocardium sp.</i> , <i>Caladacna sp.</i> , <i>Valvata sp.</i> , <i>Micromelania sp.</i> , <i>Planorbis sp.</i> . Determinisane su brojne i raznovrsne ostrakode gde dominiraju krupniji oblici amplociprisa, ciprideisa i kandone. Određene su sledeće vrste: <i>Ciprideis cf. torosa</i> Krstić, <i>C. ex gr. seminulum</i> (Reuss), <i>C. cf. triangulata</i> Krstić, <i>Bakunelladoesoartcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>Amplocypris cf. pavlovici</i> Krstić, <i>Amplocypris sp.</i> , <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Loxoconcha cf. petosa</i> (Livent), <i>Cypria mocojescui</i> Hanganu, <i>Leptocythere sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i> , <i>Thaminocypris sp.</i> . Kod ostrakoda prisutne su i juvenilne forme što ide u prilog tvrdnji da se radi o autohtonoj vrsti.
K11:111	103.00	103.50	Mikropaleontološkom analizom, određene su vrste mekušaca: <i>Elongatus Stevanović</i> , <i>Viviparus cf. viminat.</i> Brusina, <i>Melanopsis decolata</i> Stoliczka, <i>Lythoglyphus rumanus</i> Sabba, <i>Gyraulus cf. radmanesti</i> Fuchs, <i>Gyraulus sp.</i> , <i>Zagrabica sp.</i> , <i>Hydrobia sp.</i> , <i>Dreissenomya papiracea</i> Stevanović, <i>Dreissena cf. simplex</i> Barbot deMarni, <i>Dreissena sp.</i> (cf. <i>D. serbica</i> Brusina), <i>Prosodacna cf. elongata</i> Stevanović, <i>Prosodacna cf. carbonifera</i> Stevanović, <i>Limnocardium cf. haueri</i> M.Hoernes, <i>Limnocardium cf. apertum</i> Muenster, L.sp., <i>Unio sp.</i> . Od ostrakoda, dominiraju krupniji oblici amplociprisa i ciprideisa i česte su trapezaste kandone. Određene su vrste: <i>Cypridies. cf. triangulata</i> Krstić, <i>Bakunella dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. pavlovici</i> Krstić, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Xestoleberis sp.</i> . Nađen je i jedan primerak ribljih otolita, zatim retke riblje koščiće.
K21:121	56.80	75.00	Smeđi do sivi alevriti i tamnosive do zelene, masne gline u proslojcima. Prisutan karbonatni detritus od ljuštura i retke, očuvane forme školjaka, biljni i ugljeni detritus, sporadično riblje kosti i dosta kvarca u finijim frakcijama. Od makrofosila prisutne su kaspibrakične forme školjakaša <i>Limnocardium riegl</i> M.Hoernes, L.cf. <i>haueri</i> M.Hoernes, L. ex gr. <i>diprosopum</i> Fuchs, <i>Dreissena sp.</i> , <i>Plagodacna sp.</i> . Među retkim ostrakodama, determinisani su <i>Amplocypris sp.</i> (A.cf. <i>bacevicae</i> Krstić), <i>Cypridies. cf. triangulata</i> Krstić, i jedna individua drevne, aseksualne vrste <i>Darwinula stevensoni</i> (Brady et Robertson.)
K31:31	90.50	90.65	Smeđi, zelenkasti do sivi alevrit sa dosta kvarca i liskuna i sa puno ostataka makrofaune mekušaca prvenstveno limnokardidnih školjki i dreisena ali i puno planispiralnih puževa tipa planorbisa te tornjastih formi kao što su melanopsisi i prosostenije. U svim frakcijama, prisutna relativno brojna mikrofauna ostrakoda. Od makrofaune identifikovani su sledeći oblici: <i>Limnocardium ex gr. riegl</i> M.Hoernes, <i>Limnocardium cf. haueri</i> M.Hoernes, <i>Melanopsis cf. decolata</i> Stoliczka, <i>Dreissena sp.</i> (ex gr. <i>D. auricularis</i> Fuchs), <i>Micromelania sp.</i> , <i>Prososthenia sp.</i> , <i>Melanopsis sp.</i> , <i>Valvata sp.</i> . Mikropaleontološkom analizom, u ispranim frakcijama, određene su vrste ostrakoda: <i>Cyprideis sp.</i> (cf. <i>C. torosa</i>), <i>C. cf. triangulata</i> Krstić, <i>Bakunella dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>A. cf. bacevicae</i> Krstić, <i>Amplocypris cf. pavlovici</i> Krstić, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Loxoconcha schweyeri</i> Suzin, L. cf. <i>petosa</i> (Livent), <i>Cypria mocojescui</i> Hanganu, <i>Hemicytheria sp.</i> , <i>Leptocythere sp.</i> , <i>Zalanyiella sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i>
L01:170	71.80	72.00	Mikropaleontološkom analizom, u ispranim frakcijama, određene su sledeće vrste ostrakoda: Od ostrakoda, dominiraju krupniji oblici amplociprisa i ciprideisa i česte su trapezaste kandone. Određene su sledeće vrste: <i>Ciprideis sp.</i> (cf. <i>C. torosa</i>) skoro monospecifična zajednica, retko <i>Ciprideis (C. ex gr. seminulum)</i> (Reuss), <i>C. cf. triangulata</i> Krstić, zatim <i>Bakunella dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Loxoconcha schweyeri</i> Suzin, L.cf. <i>petosa</i> (Livent), <i>Cypria mocojescui</i> Hanganu, <i>Tyrhenocythere sp.</i> ili <i>Hemicytheria?</i> sp., <i>Leptocythere sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i> , <i>Zalanyiella sp.</i> , <i>Xestoleberis sp.</i>
L06:175	27.50	27.70	U ispitivanom uzorku sive laporovite gline nađena je fosilna fauna: <i>Prosodacna carbonifera</i> , <i>Dreissena minima</i> , <i>Dreissena serbica</i> , na osnovu čega se zaključuje da sediment pripada gornjem panonu.
L11:80	32.95	33.05	Sivo-zelenkasti alevriti i alevritske gline sa puno ostataka makrofaune mekušaca prvenstveno limnokardidnih školjki i dreisena ali i pravih slatkovodnih oblika kao što su viviparide, unionide i mikromelanie. Identifikovani su mekušci: <i>Valenciennius cf. reussi</i> Neumayr, <i>Dreissena sp.</i> (cf. <i>D. serbica</i> Brusina), <i>Prosodacna sp.</i> (cf. <i>Prosodacna carbonifera</i> Stevanović, <i>Limnocardium sp.</i> , ? <i>Dreissenomya sp.</i> , <i>Anodontasp.</i> , <i>Micromelania sp.</i> , <i>Viviparus sp.</i> . Ostrakodska asocijacija je znatno manje raznovrsna i manje brojna u odnosu na prethodne probe. Determinisane su sledeće vrste: <i>Cyprideis cf. triangulata</i> Krstić, <i>Bakunella dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>Amplocypris cf. bacevicae</i> Krstić, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Loxoconcha schweyeri</i> Suzin, <i>Cypria mocojescui</i> Hanganu, <i>Leptocythere sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i> , <i>Zalanyiella sp.</i> , <i>Thaminocypris sp.</i>
L11:80	73.80	73.90	Smeđi, zelenkasti do sivi alevriti sa dosta kvarca i liskuna i sa puno ostataka makrofaune mekušaca (limnokardidnih školjki, dreisena, planispiralnih i vretenastih puževa tipa planorbisa i melanopsisa). U svim frakcijama nađena je mikrofauna ostrakoda. Mikropaleontološkom analizom, određena je sledeća asocijacija ostrakoda: <i>C. cf. triangulata</i> Krstić, <i>Cypridies sp.</i> , <i>Bakunella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>Amplocypris sp.</i> (A.cf. <i>bacevicae</i> Krstić), <i>Amplocypris cf. pavlovici</i> Krstić, <i>Cypria mocojescui</i> Hanganu, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Thaminocypris sp.</i> , <i>Lineocypris sp.</i> , ? <i>Pontoniella sp.</i>
L31:71	90.00	90.40	Tamno-sivi alevriti sa retkim i fragmentisanim odlomcima slatkovodne faune unionida. Nije moguće odrediti bližu determinaciju od roda. Prisutni su <i>Hyriopsis sp.</i> , <i>Unio sp.</i> , i sitni fragmenti dreisenida. Od gastropoda, u krupnijim frakcijama (1-3), često se pojavljuju sitne i uglavnom oštećene forme <i>Planorbis sp.</i> , <i>Valvata sp.</i> , <i>Hydrobia sp.</i> i <i>Lythoglyphus sp.</i> . Od ostrakoda, dominiraju krupniji oblici amplociprisa i ciprideisa a nađene su kako izdužene tako i trapezaste forme kandona, te retke loksokone i limnocitere. Određene su sledeće vrste: <i>Bakunella dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Amplocypris sp.</i> , <i>Loxoconcha sp.</i> , <i>Cypridies sp.</i> , <i>Limnocvthere sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i> . Značajno je pomenuti da su u asocijaciji prisutne kako odrasle tako i juvenilne jedinke, što ukazuje na autohtonu sredinu. Prisustvo tamnih i skoro crnih ljuštura ostrakoda (npr. <i>Bakunella</i>) ukazuje na redukcione faktore sredine. Uzorak je prepun kvarca, pogotovo u sitnijim frakcijama.
L35:175	61.50	62.00	Tamno-sivi do zeleni liskunoviti alevriti sa brojnoum faunom mekušaca i ostrakoda. Mekušci dominantni u krupnijim frakcijama, a kasnije više odlomci i ostrakode (nema izrazito slatkovodnih formi). Identifikovani su mekušci: <i>Melanopsis decolata</i> Stoliczka, <i>Zagrabica?</i> sp., <i>Dreissena sp.</i> (cf. <i>D. serbica</i> Brusina), <i>Prosodacna sp.</i> (cf. <i>Prosodacna carbonifera</i> Stevanović, <i>Limnocardium cf. haueri</i> M.Hoernes, <i>Limnocardium sp.</i> , <i>Caladacna sp.</i> , <i>Valvata sp.</i> , <i>Micromelania sp.</i> , <i>Hydrobia?</i> sp. Determinisane su brojne i raznovrsne ostrakode gde dominiraju krupniji oblici amplociprisa, ciprideisa i kandone. Određene su sledeće vrste: <i>Cyprideis sp.</i> (cf. <i>C. torosa</i>) - skoro monospecifična zajednica, retko <i>Cyprideis (C. ex gr. seminulum)</i> (Reuss), <i>C. cf. triangulata</i> Krstić, zatim <i>Bakunella sp. dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella sp.</i> , <i>Amplocypris cf. nonreticulata</i> Krstić, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Loxoconcha schweyeri</i> Suzin, L.cf. <i>petosa</i> (Livent), <i>Cypria mocojescui</i> Hanganu, <i>Tyrhenocythere?</i> sp. ili <i>Hemicytheria?</i> sp., <i>Leptocythere sp.</i> , <i>Pontoniella sp.</i> , <i>Zalanyiella sp.</i> , <i>Thaminocypris sp.</i> . Kod ostrakoda prisutne i juvenilne forme što ide u prilog tvrdnji da se radi o autohtonoj zajednici.

M:22	56.20	56.30	Zelenkasti do sivi alevrit sa dosta odlomaka krupnih mekušaca, uglastog kavarca i liskuna. U krupnijim frakcijama (1,2) prisutan karbonatni detritus od ljuštura planorbisa, giralusa, melanopsisa, dreisenida i limnokardida. Identifikacija vrsta je otežana jer su uglavnom prisutni fragmenti. Među mekušcima, određeni su: <i>Melanopsis</i> ex gr. <i>decolata</i> Stoliczka, <i>Melanopsis</i> sp., <i>Zagrabica?</i> sp., <i>Dreissena</i> sp. (ex gr. <i>D. auricularis</i> Fuchs), <i>Dreissena</i> sp. (cf. <i>D. serbica</i> Brusina), <i>Limnocardium</i> cf. M. Hoernes, <i>Limnocardium</i> sp., <i>Valvata</i> sp., <i>Micromelania</i> sp., <i>Planorbis</i> sp. Mikropaleontološkom analizom, određena je brojna i relativno raznovrsna asocijacija ostrakoda, gde dominiraju krupniji oblici amplociprisa i ciprideisa i česte su trapezoidne kandone. Utvrđena je i karakteristična zonska vrsta <i>Bakunella</i> Zalanyi. Određene su sledeće vrste: <i>C.</i> cf. <i>triangulata</i> Krstić, <i>Cypridies</i> sp., <i>Bakunella dorsoarcuata</i> Zalanyi, <i>Bakunella</i> sp., <i>Amplocypris</i> cf. <i>nonreticulata</i> Krstić, <i>Amplocypris</i> sp. (<i>A.</i> cf. <i>bacevicae</i> Krsitić), <i>Amplocypris</i> cf. <i>pavlovici</i> Krstić, <i>Cypria tocorjescui</i> Hanganu, <i>Camptocypris balcanica</i> Zalanyi, <i>Camptocypris flectimarginata</i> Sokac, <i>Loxoconcha schweyeri</i> Suzin, <i>Thaminocypris</i> sp., <i>Lineocypris</i> sp.
M20:150	7.00	8.00	Smedji do tamno-sivi kvarcni peskovi, delom srednjezrni i šljunkoviti. Šljunkoviti fragmenti slabo zaobljeni, uglavnom uglasti i izgradjeni od kvarca, metamorfnih odlomaka i karbonata. Unutar sedimenata, retka fauna slatkodvodnih mekušaca, školjaka i sitnih gastropoda. Od mekušaca, prisutni su najviše predstavnici sitnih gastropoda i retke školjke i grupe unionida (<i>Lithoglyphus</i> cf. <i>naticoides</i> Ferusac, <i>L.</i> ex gr. <i>vascus</i> Ziegler, <i>Succinea</i> sp., <i>Valvata</i> sp., <i>Unio pictorum</i> Lamarck)
O:101	64.50	64.70	Tamno mrka do mrka glina sa dosta fragmenata uglja i liskunima. Prisutan karbonatni detritus od ljuštura i retke, očuvane forme školjaka, biljni i ugljeni detritus. Od makrofosila prisutne su forme školjakaša <i>Limnocardium riegeli</i> M. Hoernes, <i>L.</i> cf. <i>Haueri</i> M. Hoernes, <i>L.</i> ex gr. <i>diprosopum</i> Fuchs, <i>Dreissena</i> sp., <i>Plagiodacna</i> sp. Među retkim ostrakodama, determinisani su <i>Amplocypris</i> sp. (<i>A.</i> cf. <i>bacevicae</i> Krstić), <i>Cypridies</i> cf. <i>triangulata</i> Krstić.
O19:170	63.50	79.20	Pregledom uzorka utvrđeno je prisustvo slabih ostataka fosilne faune, predstavljenim ostacima gastropoda <i>Viviparus</i> cf. <i>Viminaticus</i> na osnovu kog se može reći da proučeni sediment pripada oslađenoj faciji gornjeg panona.
K16:126	92.00	92.20	Sivi do sivozelenkasti sitnozrn, glinoviti pesak <i>Dreissena auricularis</i> Fuchs, <i>Dreissenomya</i> sp., <i>Paradacna retowskii osoinae</i> Stevanović, starosti gornjeg panona.
K26:126	101.10	101.30	Sivi sitnozrni glinoviti pesak; <i>Melanopsis decollata</i> Stollitzka (puž); <i>Paradacna</i> cf. <i>retowskii osoinae</i> Stevanović, <i>Dreissenomya</i> sp. (bivalvae-školjke)
K31:119	50.80	51.00	Sive do sivozelenkaste laporovite gline, <i>Prosodacna elongata</i> Stevanović, <i>Prosodacna serbica</i> Brusina, <i>Dreissena</i> cf. <i>serbica</i> Brusina
K31:131	46.00	46.10	Tamnosive gline sa fragmentima fosilne flore monokotiledonih biljaka i fosilnom makrofaunom <i>Paradacna retowskii osoiana</i> Stevanović, <i>Prosodacna carbonifera</i> Stevanović, <i>Prosodacna</i> cf. <i>elongata</i> Stevanović, <i>Dreissena serbica</i> Brusina, <i>Dreissenomya</i> sp.
L01:131	83.20	83.40	Sivi do sivozelenkasti sitnozrn, zaglinjen pesak; <i>Dreissena</i> cf. <i>auricularis</i> Fuchs, <i>Congeria</i> sp.
L01:131	92.00	92.20	Sivi sitnozrn, malo zaglinjen pesak; <i>Congeria</i> cf. <i>zagrabiensis</i> Brusina
L16:126	84.50	84.60	Sivi liskunovit pesak, malo glinoviti; <i>Melanopsis decolata</i> Stollitzka (jako brojna), <i>Gyraulus</i> sp., <i>Dreissena serbica</i> Stevanović, <i>Dreissenomya</i> cf. <i>aperta</i> Deshayes, <i>Paradacna retowskii osoianse</i> Stevanović, <i>Limnocardium</i> cf. <i>rothi</i> Hallavat
M16:126	62.20	62.40	Sivi do sivozelenkasti malo glinoviti pesak sa mnoštvom ostataka ljuštura fosila; <i>Limnocardium</i> cf. <i>riegeli</i> M. Hoernes, <i>Paradacna retowskii osoianse</i> Stevanović, <i>Melanopsis decolata</i> Stollitzka (jako česta)



Slika 38 - Karta sa pozicijama indeks fosila nađenih u bušotinama.



Slika 39 – prikaz pronađene i determinisane faune; a – odrasle jedinke *Melanopsis decollata*, mlade i odrasle jedinke ostrakoda *Cyprideis triangulata*, c i d – *Limnocardium edlaueri*, e i f – odrasle i mlade jedinke *Melanopsis decollata*.

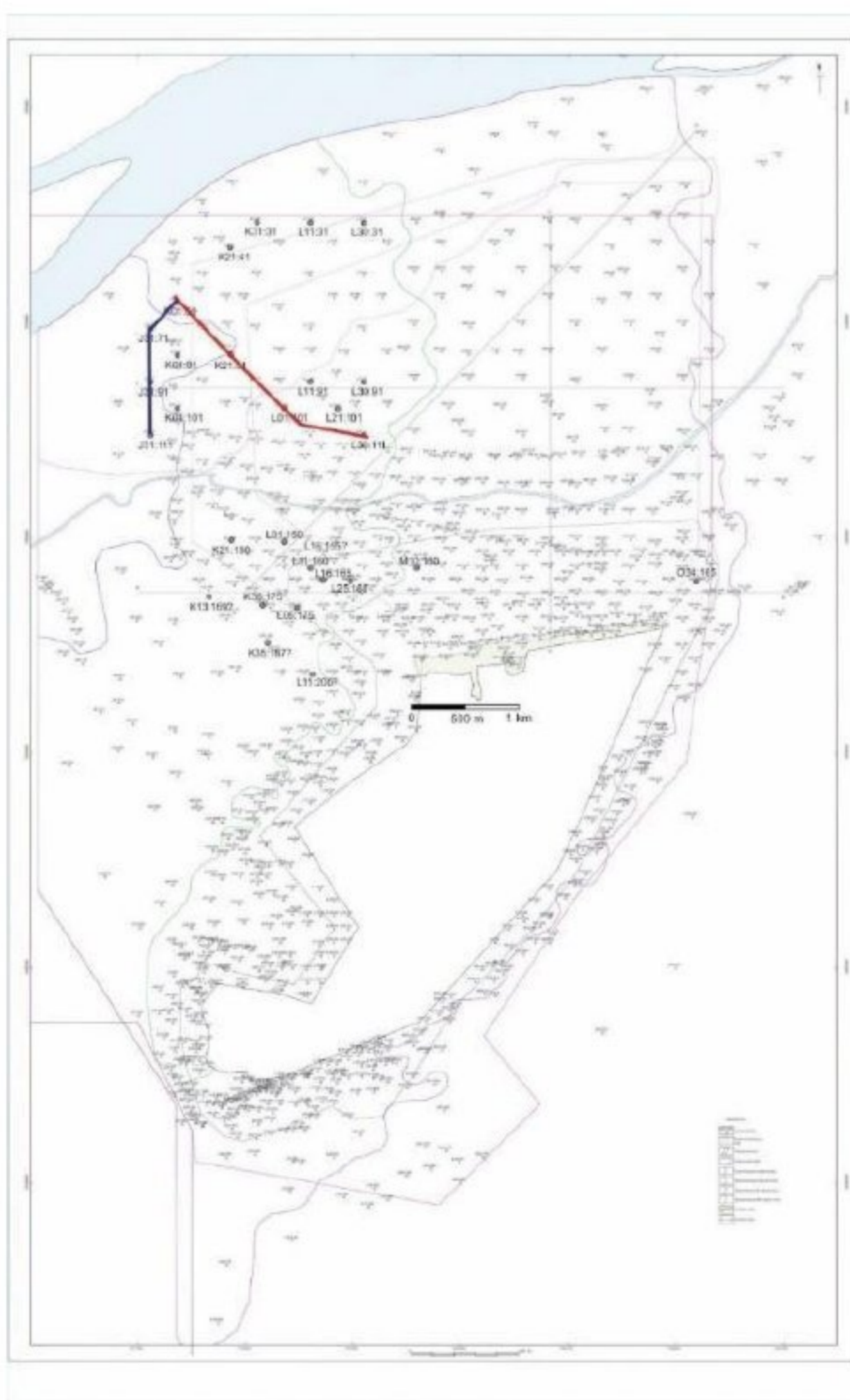
3.3 Rezultati geofizičkog karotaža i interpretacija podataka

Za potrebe istraživanja korišćeni su podaci o geofizičkom karotažu (GFK za sedam bušotina (tabela 4), koje su korelisane u dva profila, sa presečnicom u bušotini K 01:62 (slika 40). Korišćeni su podaci sopstvenog potencijala i gama karotaža, kao i već postojeća litološka interpretacija, ali su dati argumenti za korekcije definisanih litologija i trendova.

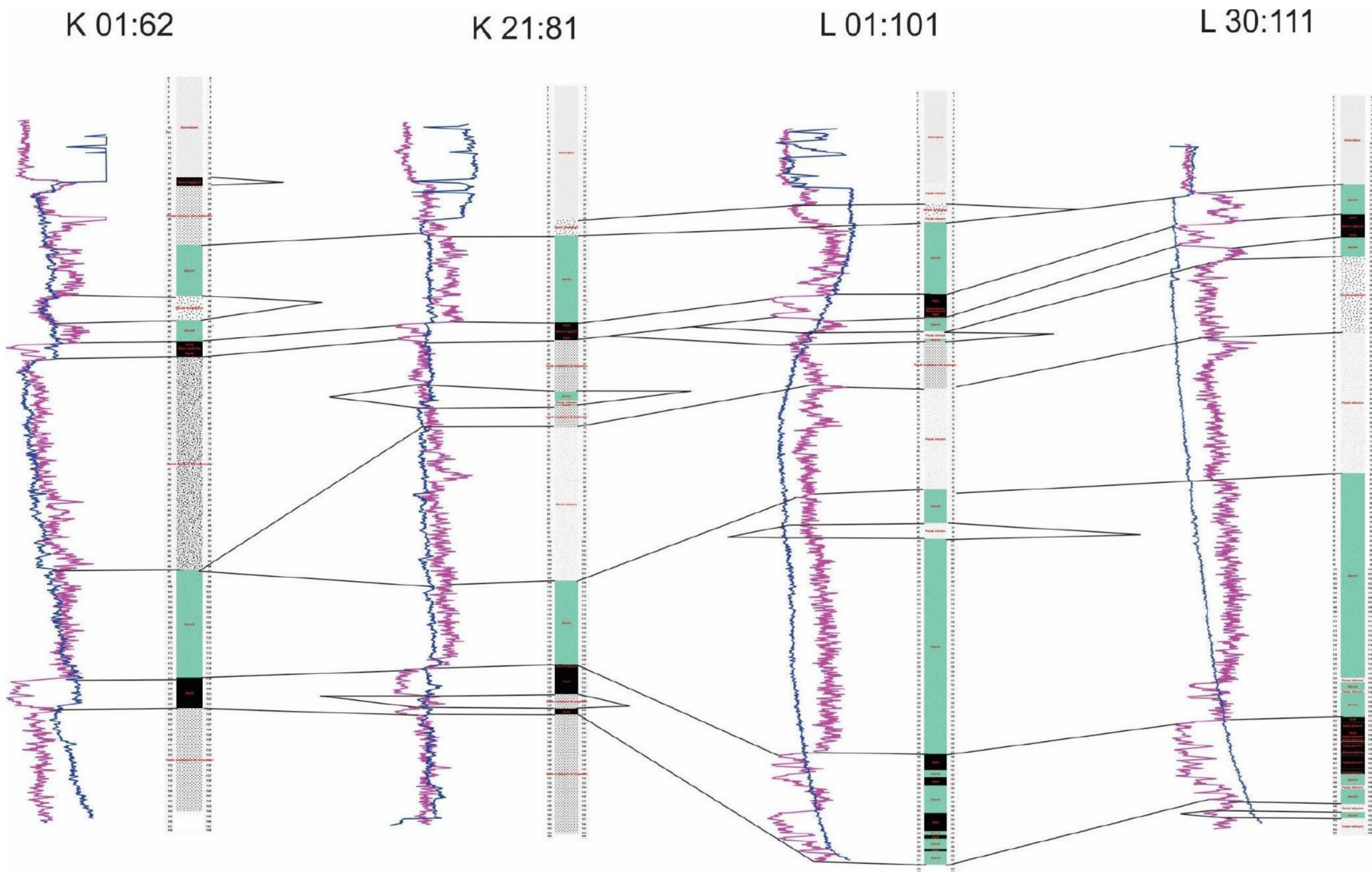
Tabela 4 - Koordinate bušotina korišćenih za korelaciju geofizičkog karotaža.

Oznaka bušotine	X	Y
K 01:62	7517363.53	4958197.82
K 21:81	7517865.3	4957705.28
L 01:101	7518356.59	4957209.86
L 30:111	7519098.75	4956957.77
J 31:71	7517118.58	4957951.29
J 31:111	7517118.92	4956962.4

Prvi profil bušotina prikazan je na slici 41, gde su korelisane bušotine K 01:62, K 21:81, L 01:101, L 30:111; koji se pruža od severozapada ka jugoistoku.



Slika 40 - Situaciona karta kopa Drmno, sa položajem bušotina i markiranim trasama profila (crvena linija markira prvi profil, plava linija drugi profil).



Slika 41 – Prikaz korelacije geofizičkog karotaža bušotina prvog profila, prema litološkom kriterijumu (plava linija predstavlja merenja sopstvenog potencijala, a roze linija merenja gama karotaža).

Na karotažima bušotina, kao i intepretacijama uočava se oplicavanje facija ka severnim delovima. Na južnim bušotinama L 30:111, L 01:10 može se primetiti veći udeo finozne frakcije, deblji horizonti alevritičnih i glinovitih sedimenata, kao i ugljeva, dok ka severu u bušotinama se uočavaju značajni horizonti srednjeznih i krupnozrnih peskova.

Kao reporni horizont za korelacije koristili su se ugljeni horizonti, budući da su odzivi gama karotaža uglja znatno manji nego peskova i alevrita. Prvi ugljeni sloj uočava se u svim bušotinama, uglavnom preko krupnozrnih peskova, što ukazuje na prelazak iz plitkovodne sedimentacije u močvarni depozicioni sistem, sa formiranjem tresetišta. U južnim delovima ugljeni sloj nije kontinuiran, prekida se proslojcima alevritičnih sedimenata, što može biti rezultirano povremenim uplivima veće količine terigenog materijala u tresetište ali i dubinom na kojoj se ovaj deo sukcesije nalazi u odnosu na severni. Pod tim se podrazumeva da je visina vodenog stuba potencijalno bila previše visoka, te je došlo do povremenog potapanja tresetišta.

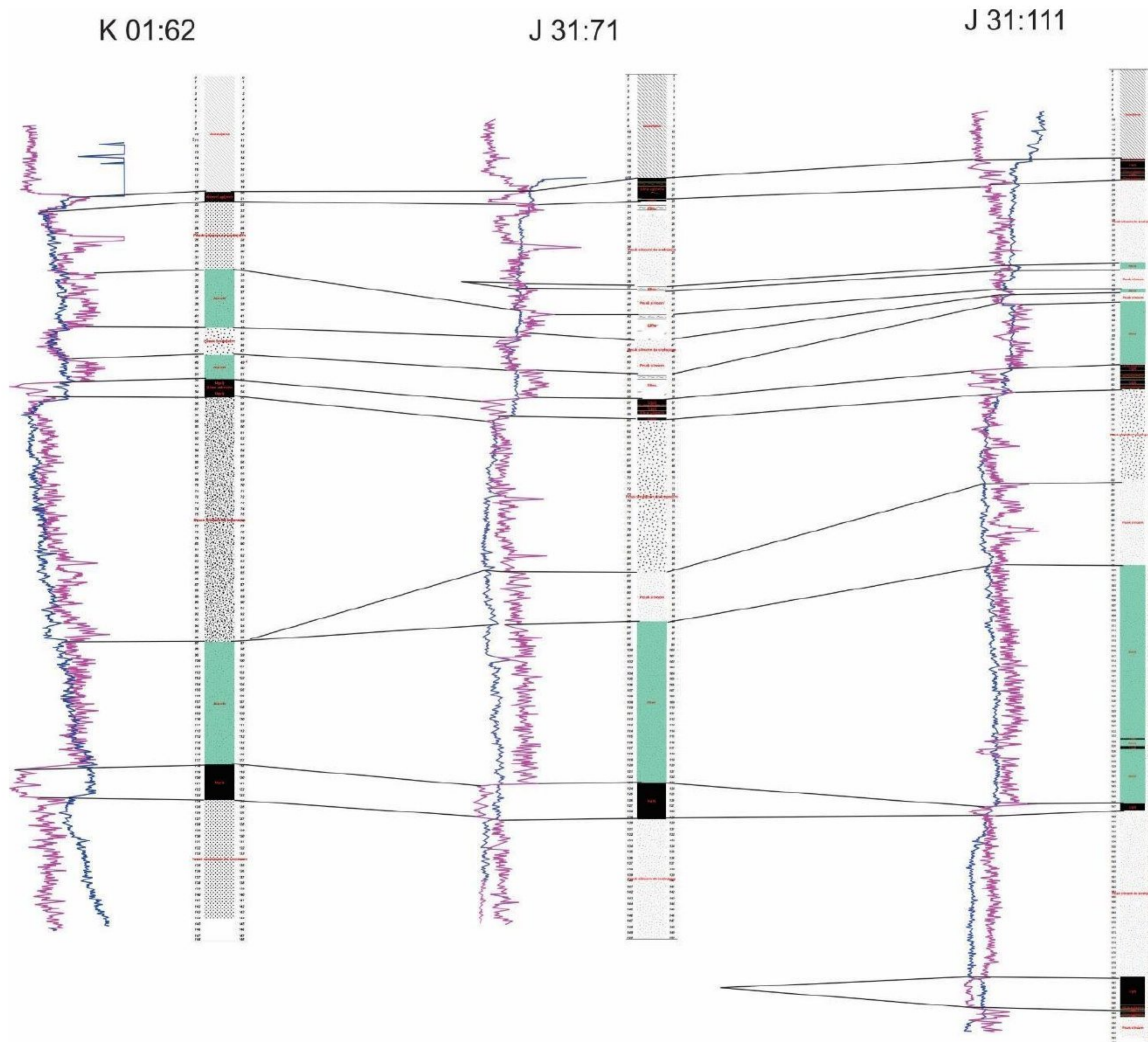
Nakon ugljenog horizonta nalazi se sloj alevrita i glina koji je najdeblji u južnim delovima basena, a njegova debljina se smanjuje prema severu. Prisustvo alevrita ukazuje na sedimentaciju u sistemu niske energije depozicije i prinosa materijala, što se može objasniti definitivnim potapanjem močvare u prvom ciklusu i zamene močvarne sedimentacije kaspi - brakičnom. Međutim, kao moguće objašnjenje javlja se i povećan prinos sedimenata koji prekrivaju močvaru. Alevriti postepeno prelaze u sitnozrne i srednjezne peskove na jugu, a na severu u krupnozrne peskove, gde se jasno uočava trend oplicavanja facija ka severu.

Novi trend oplicavanja nastavlja se ponovnim formiranjem tresetišta i formiranjem drugog ugljenog sloja, kontinuirane debljine u svim bušotinama. Na severu se uočava direktan prelaz iz krupnozrnih sedimenata ka uglju, dok je na jugu prelaz postepen iz krupnozrnih sedimenata u alevrite i na kraju ugljeve. Formiranje drugog ugljenog sloja završava se novim ciklusom prekrivanja tresetišta finoznim sedimentima, slično kao u prošlom ciklusu, a zatim i prelaskom alevrita u krupnozrnije sedimente. Najsevernija bušotina pokazuje i postojanje trećeg ugljenog horizonta, okruženog krupnozrnim sedimentima, koji ka jugu isklinjava.

Generalno posmatrano, trendovi promene odziva gama karotaža, pokazuju jasnu pravilnost povećanja zrna naviše, u svim bušotinama, dok se kao anomalije uočavaju ugljeni horizonti, remeteći trend. Može se primetiti i da litološke intepretacije u alevritima ne pokazuju visok nivo detaljnosti, te da su pojedini horizonti okarakterisani kao čisto alevritični, iako imaju velike oscilacije u odzivu gama karotaža. Sa tog aspekta, može se diskutovati o postojanju peskovite frakcije u alevritskim horizontima, koja je veoma malih debljina ali na karotažnim podacima i dalje uočljiva. Slična situacija je i kod peskovitih horizonata, koji pokazuju varijacije game i može se pretpostaviti da sadrže alevritične i glinovite primese. Osim toga, na bušotinama mogu se jasno uočiti pikovi game u

peskovitim sedimentima koji su potpuno zanemareni, a mogu predstavljati prelaz od trenda niske energije ka trendu visoke energije depozicije.

Drugi profil korelisanih bušotina se nalazi u severozapadnom delu basena i ima relativan pravac sever – jug. Korelisane su tri bušotine, koje su blisko pozicionirane, međutim postojeća interpretacija se veoma razlikovala, što se može primetiti na slici 42.



Slika 42 – Prikaz korelacije geofizičkog karotaža bušotina drugog profila, prema litološkom kriterijumu (plava linija predstavlja merenja sopstvenog potencijala, a roze linija merenja gama karotaža).

Prilikom korelacije ovih bušotina, takođe su korišćeni ugljeni slojevi kao reporni horizonti. Za razliku od prethodnog profila, na najjužnijoj bušotini, uočava se ugljeni sloj ispod trećeg, kog na ostalim bušotinama nema, potencijalno i zbog manje dubine bušenja. Ostale bušotine počinju peskovitim sedimentima, koji su i u ovom profilu sitnozrniji na južnom

delu, a na severnom krupnozrniji. Direktno preko peskova nalazi se ugljeni horizont, koji gubi kontinuitet i debljinu, te ka južnim bušotinama isklinjava. Dominantna litologija na tim dubinama, u južnom delu, jesu alevriti i gline, što govori o manjoj energiji sedimentacije u tom delu, dok u severnom je aktivna depozicija u močvarnim sistemima. Ova pravilnost daje mogućnost povezivanja trenda oplicavanja ka severu koji je uočen na prethodnom profilu, sa ovim profilom.

Ugljevi postepeno prelaze u alevrite, sa proslojcima uglja, što ukazuje na potapanje močvare i produbljavanje facija naviše. Produbljavanje facija koje se ogleda u postojanju alevrita, evoluiru u ponovni ciklus oplicavanja, te prelazak iz alevrita u sitnozrne i krupnozrne peskove. Upravo ovakav materijal nalazi se naviše u bušotinama, severno se radi o krupnozrnijim peskovima, a južno o sitnozrnijim. Oplicavanje se završava uspostavljanjem produkcije treseta i formiranjem novih naslaga uglja, koje su slične debljine u svim bušotinama. Nakon prekrivanja tresetišta sedimentima, ponovo dolazi do uspostavljanja nešto dubokovodnije depozicije, formiranja horizonata glina, alevrita i sitnih peskova. Postojanje nekoliko različitih granulometrijskih vrsta sedimenata u ovom rasponu, ukazuje na promene dinamike sredine i brze promene režima prinosa materijala sa kopna. Naviše dolazi do uspostavljanja ravnoteže u depoziciji i okrupnjavanja zrna naviše, te oplicavanja do formiranja novog ugljenog sloja.

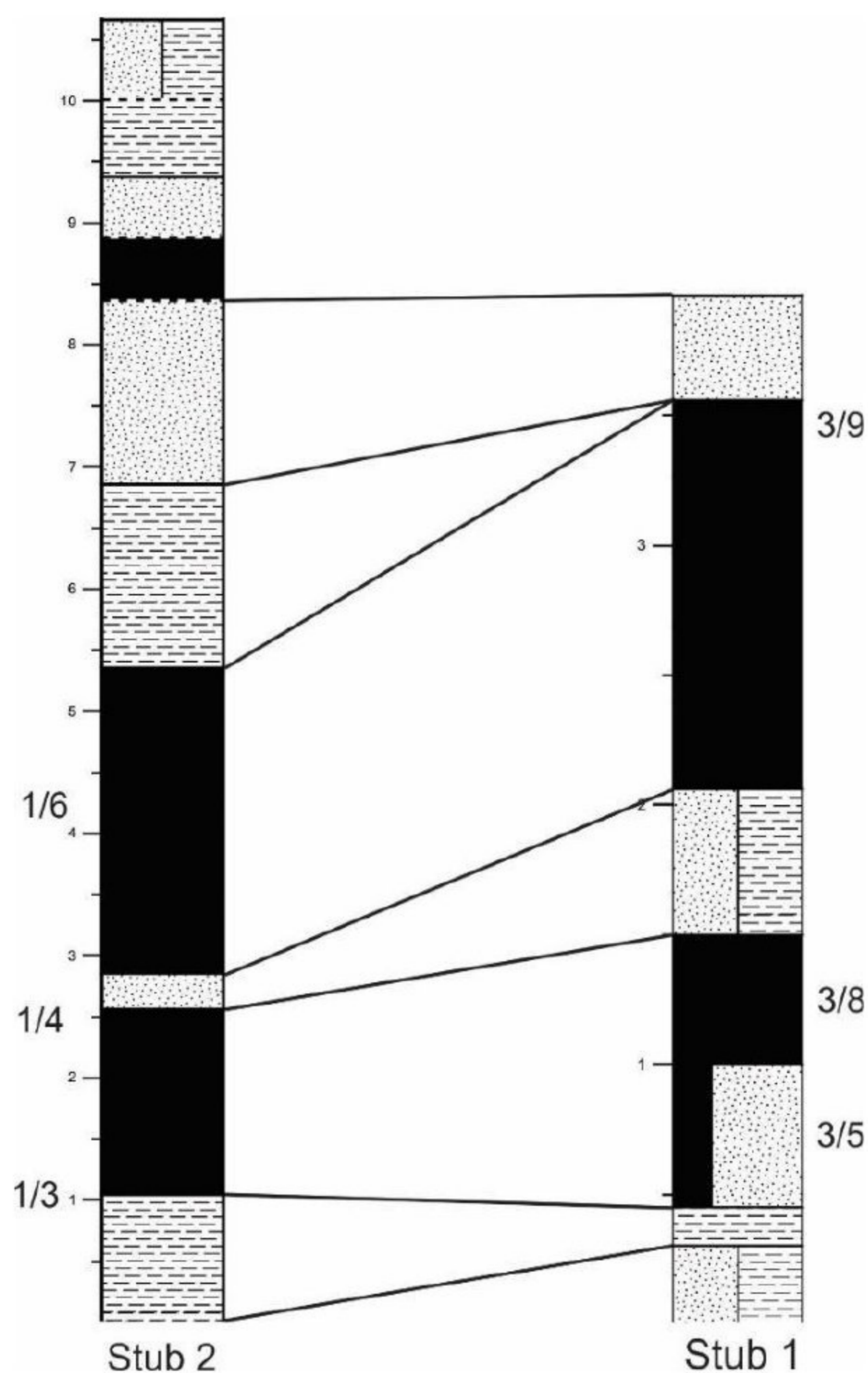
U ovim bušotinama, za razliku od bušotina sa prethodnog profila, uočava se treći ugljeni sloj, kontinuiranog pružanja i debljine. Ovaj ugljeni sloj je poslednji i završava se peskovima.

I na ovom profilu generalni trend odziva geofizičkog karotaža pokazuje povećanje zrna naviše, što mestimično remeti pojavljivanje ugljenih horizonata. Takođe, i na ovom profilu se jasno uočava oplicavanje facija ka severu, gde severnije postoje sve mlađi i sve plitkovodniji sedimenti.

Razlika u detaljnosti intepretacije na ovom profilu je veoma uočljiva, gde se na prvoj i trećoj bušotini pojedini odzivi karakterišu kao alevriti, dok se isti ti odzivi na drugoj bušotini izdvajaju kao sitnozrni peskovi i gline. Radi uzimanja u obzir različitog nivoa preciznosti, prilikom korelacije bušotina, ovi odzivi su poistovećeni. Zanimarivanje oscilacija u odzivu karotaža uočava se i na ovom profilu, gde su neki očigledno fino-zrni horizonti u potpunosti neinterpretirani.

3.4 Rezultati petrografskih istraživanja uglja i intepretacija podataka

Izvršena su mikropetrografska ispitivanja šest uzoraka uglja uzetih na dva profila trećeg sloja, ranije pominjana u rezultatima sedimentoloških analiza. Pozicije uzetih uzoraka označene su na sedimentološkim stubovima u poglavlju rezultata sedimentološke analize, takođe su date na slici korelacije stubova (slika 43) i u tabeli 5.



Slika 33 - Pozicije uzoraka uglja na korelativnom prikazu stubova 1 i 2.

Tabela 5 - Pozicije uzetih uzoraka uglja za maceralnu analizu.

Oznaka uzorka	Broj stuba	Ugljeni sloj	X	Y
1/3	2	III	44°44'46''N	21°14'47''E
1/4	2	III	44°44'46''N	21°14'47''E
1/6	2	III	44°44'46''N	21°14'47''E
3/5	1	III	44°44'48''N	21°15'3''E
3/8	1	III	44°44'48''N	21°15'3''E
3/9	1	III	44°44'48''N	21°15'3''E

Rezultati maceralne analize prikazani su u tabeli 6.

Uzorak 1/3 se može okarakterisati kao ksilitno – detritični ugalj, sa visokim sadržajem od 83,6% huminita, nižim sadržajem liptinita (10,7%) i veoma niskim sadržajem inertinita (0,2%). Mineralna materija je veoma slabo zastupljena – 5,5%. Najzastupljeniji maceral je ulminit (32,9%), nakon njega densinit (26,9%) i korpohuminit (11,7%). Iz grupe liptinitskih macerala najzastupljeniji je liptodetrinit sa 6,8%, dok su ostali macerali ove grupe mnogo manje zastupljeni. Inertiniti su najslabije zastupljeni i javljaju se u vidu funginita. Mineralna materija je najčešće glinovita, ali se uočava i prisustvo minerala pirita, kao i karbonata.

Uzorak 1/4 prema svojim petrografskim karakteristikama može se okarakterisati kao ksilitni ugalj sa veoma visokim sadržajem macerala huminitske grupe (95,6%), od kojih su najzastupljeniji tekstinit (43,3%) i ulminit (28,4%), a zatim densinit (18,0%) i korpohuminit (3,7%). Atrinit i gelinit su zastupljeni u znatno manjim koncentracijama. Liptiniti su zastupljeni svega 3,0% i to u vidu liptodetrinita (1,4%) i suberinita (1,0%), nešto manje sporinita i rezinita. Inertinita i u ovom uzorku ima najmanje sa procentualnim sadržajem od 0,2% u vidu funginita. Mineralna materija je zastupljena manje nego u prethodnom uzorku – 1,2%, u vidu gline (0,4%) i pirita (0,6%), zatim karbonata (0,2%).

Uzorak 1/6 ima slične karakteristike kao prethodni i može se definisati kao ksilitno detritični ugalj, sa 96,3% huminita, 0,8% liptinita i 0,2% inertinita. Najzastupljeniji minerali huminitske grupe su tekstinit (49,8%) i ulminit (43,2%), a nešto manje korpohuminit. Od macerala liptinitske grupe zastupljeni su rezinit sa 0,6% i liptodetrinit 0,2%, dok se od inertinita javlja samo inertodetrinit sa 0,2%. Mineralna materija čini 2,7% ukupnog sadržaja, uglavnom se radi o neodređenim mineralima – 1,3%, a nešto manje o piritu, karbonatima i drugim mineralima.

Uzorak 3/5 je sličan uzorku 1/3 i predstavlja ksilitno – detritični ugalj. Sadrži 86,8% huminita, od kojih su najzastupljeniji tekstinit (33,5%) i densinit (14,1%), zatim ulminit (13,7%) i atrinit (13,5%), nešto manje korpohuminit i gelinit. Liptiniti su zastupljeni u iznosu od 12,0%, najviše suberinit (5,4%) i liptodetrinit (5,2%), zatim rezinit i sporinit. Inertiniti su zastupljeni u procentu od 0,8% u vidu sporniti i inertodetrinita po 0,4%. Mineralne materije su zastupljene u vidu glina i neodređenih minerala u iznosu od 0,2%.

Uzorak 3/8 karakteriše se kao ksilitni ugalj budući da je sadržaj huminita 88,7% od kojih su najzastupljeniji tekstiniti sa 45,3% i ulminiti 35,4%, zatim atrinit 4,8% i gelohuminit 2,2%, densinit i detrohuminat. Liptiniti su prisutni u procentu od 6,5%, sa najvećim procentualnim sadržajem suberinita 4,6%, zatim bituminata 0,9%, liptodetrinita 0,6%,

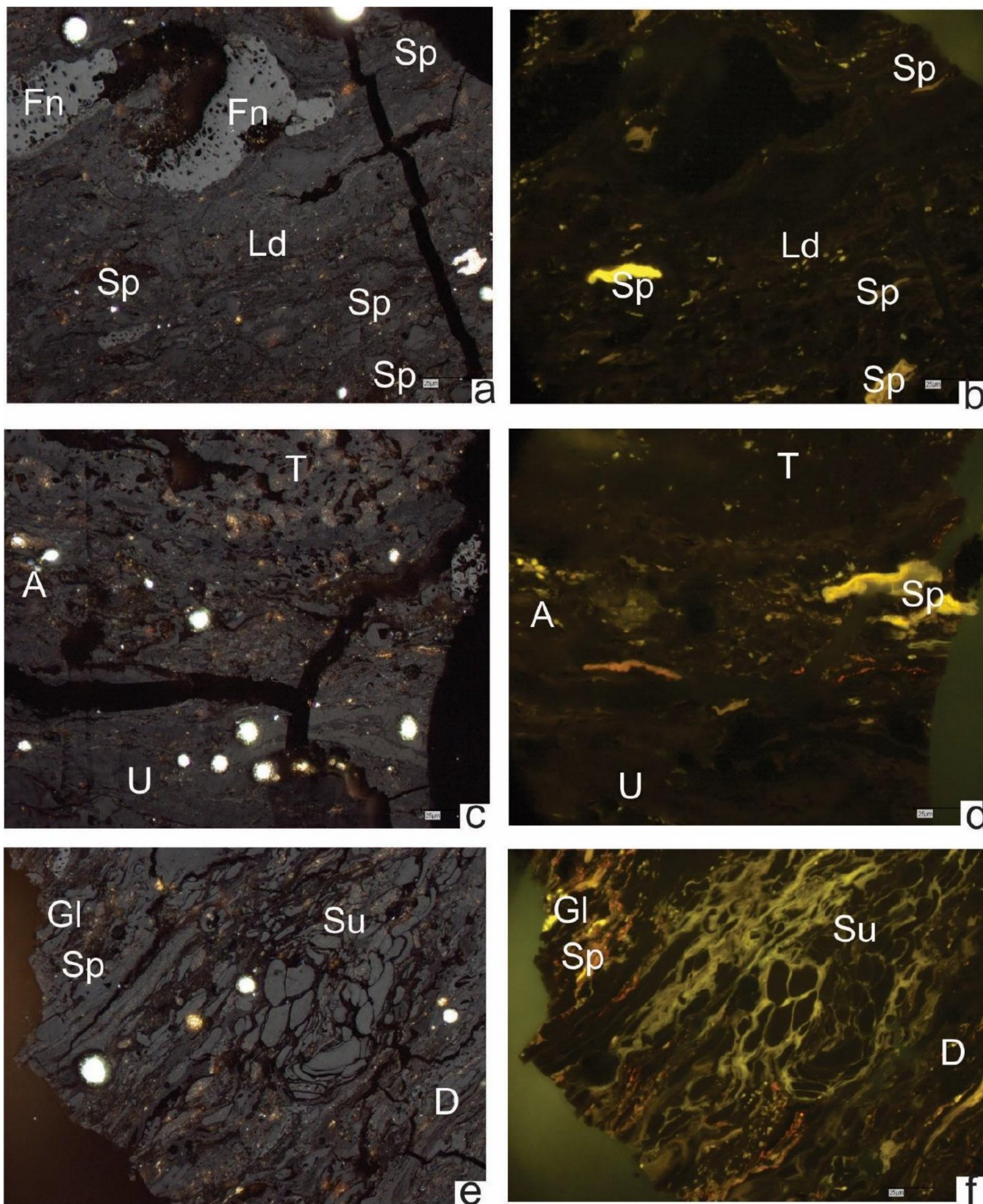
rezinita i sporinita po 0,2%. Inertodetriniti su zastupljeni u vidu od 0,2% inertodetrinita. Mineralne materije su prisutne u iznosu 4,6%, a najzastupljeniji mineralno – bituminozni kompleks (2,3%), pirit, glina, neodređeni minerali i karbonati.

Uzorak 3/9 se po svojim petrografskim karakteristikama značajno razlikuje od ostalih uzoraka i predstavlja zemljasti ugalj. Sadrži 51,6% huminita, od kojih su najzastupljeniji tekstinit (23,6%) i ulminit (20,8%), zatim atrinit (4,4%), densinit, detrohuminat i korpohuminat. Liptiniti su zastupljeni 6,3%, najzastupljeniji je liptodetrinit – 3,2%, zatim rezinit – 1,3%, nešto manje sporinit, suberinit, bituminat. Najmanje su zastupljeni inertiniti sa 0,5%, semifuzinit (0,2%) i inertodetrinit (0,3%). Mineralna materija je veoma zastupljena u ovom uzorku sa 41,6%, najčešće u vidu nedoređene mineralne materije (17,9%) i mineralno – bituminoznom kompleksa (10,9%), a nešto ređe u vidu kvarca, karbonata, gline i pirita.

Izgled karakterističnih macerala u uzorcima prikazan je na slikama 44 a – f, 45 a – f, 46 a – f.

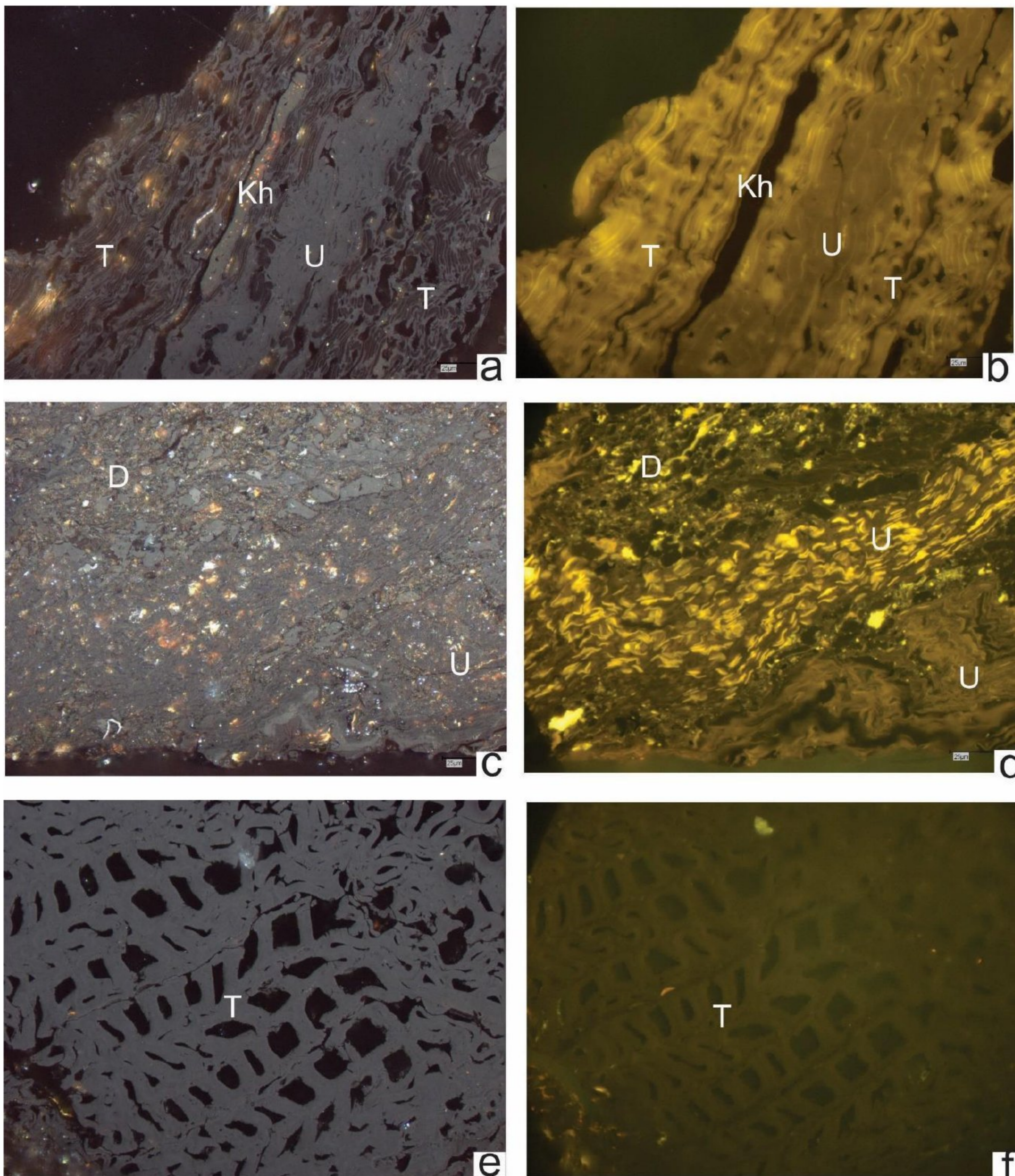
Tabela 6 - rezultati maceralne analize uzoraka ugljeva .

Macerali i minerali	Drmno 1/3	Drmno 1/4	Drmno 1/6	Drmno 3/5	Drmno 3/8	Drmno 3/9
Tekstinit	7.9	43.3	49.8	33.5	45.3	23.6
Ulminit	32.9	28.4	43.2	13.7	35.4	20.8
Telohuminiti	40.8	71.7	93.0	47.2	80.7	44.4
Atrinit	4.0	2.0	-	13.5	4.8	4.4
Densinit	26.9	18.0	-	14.1	1.0	1.1
Detrohuminiti	26.9	18.0	-	14.1	1.0	1.1
Koprohuminit	11.7	3.7	3.3	11.8	2.2	1.7
Gelinit	0.2	0.2	-	0.2	-	-
Gelohuminiti	11.9	3.9	3.3	12.0	2.2	1.7
HUMINIT	83.6	95.6	96.3	86.8	88.7	51.6
Sporinit	0.9	0.4	-	0.4	0.2	0.6
Kutinit	-	-	-	-	-	-
Rezinit	0.2	0.2	0.6	1.0	0.2	1.3
Suberinit	2.6	1.0	-	5.4	4.6	0.6
Alginit	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	6.8	1.4	0.2	5.2	0.6	3.2
Hlorofilinit	-	-	-	-	-	-
Bituminit	0.2	-	-	-	0.9	0.6
Eksudatinit	-	-	-	-	-	-
LIPTINITI	10.7	3.0	0.8	12.0	6.5	6.3
Fuzinit	-	-	-	0.4	-	-
Semifuzinit	-	-	-	-	-	0.2
Makrinit	-	-	-	-	-	-
Mikrinit	-	-	-	-	-	-
Funginit	0.2	0.2	-	-	-	-
Sekretinit	-	-	-	-	-	-
Inertodetrinit	-	-	0.2	0.4	0.2	0.3
INERTINITI	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.5
Ukupno ugalj	94.5	98.8	97.3	99.6	95.4	58.4
Glina	3.4	0.4	0.2	0.2	0.6	7.4
Pirit	1.9	0.6	0.4	-	0.9	0.6
Karbonati	0.2	0.2	0.4	-	0.2	1.0
Minerali-neodređeno	-	-	1.3	0.2	0.6	17.9
Minerno-bitum kompleks	-	-	-	-	2.3	10.9
Kvarc	-	-	0.4	-	-	3.8
Ukupno mineralne materije	5.5	1.2	2.7	0.4	4.6	41.6



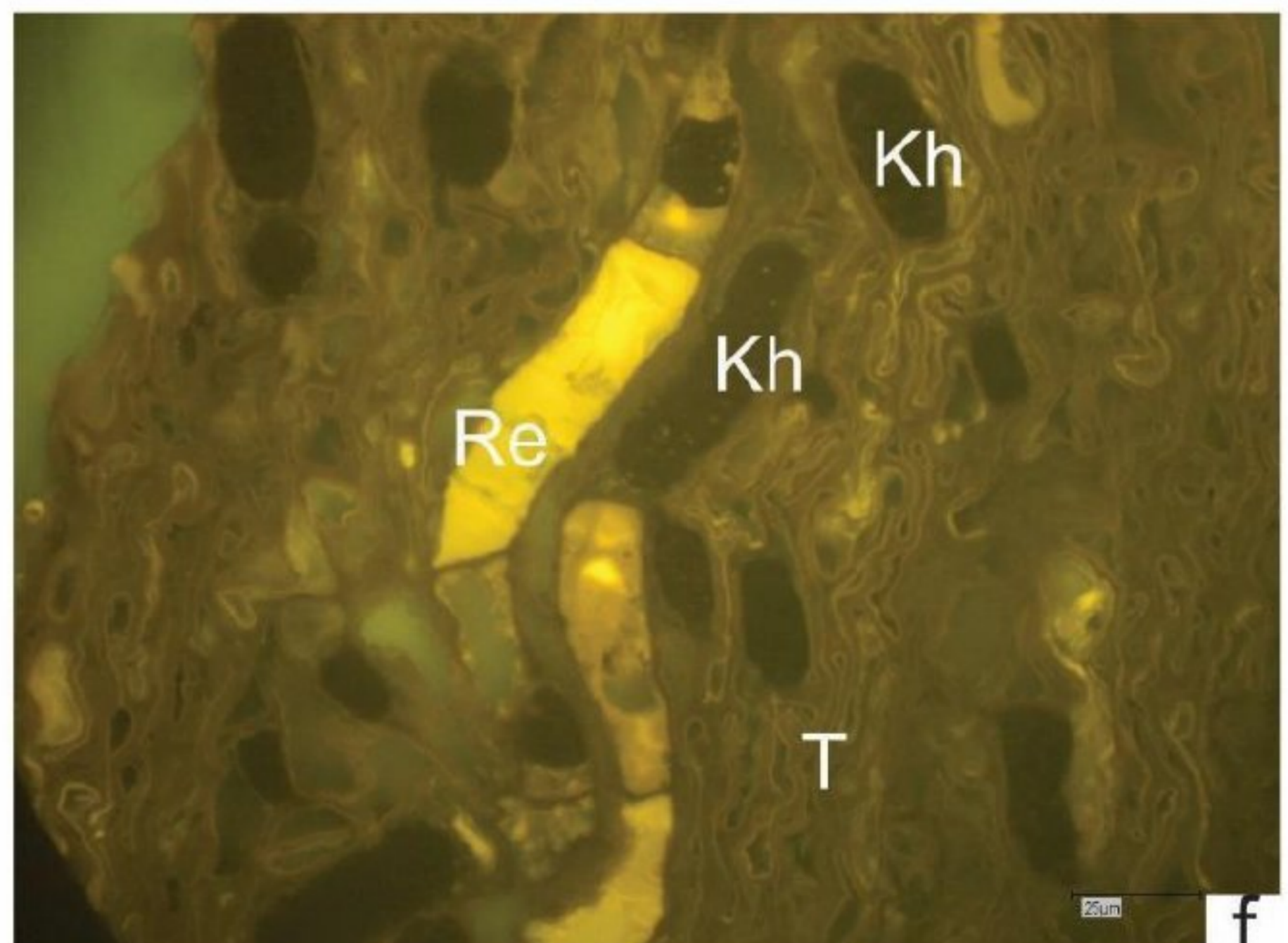
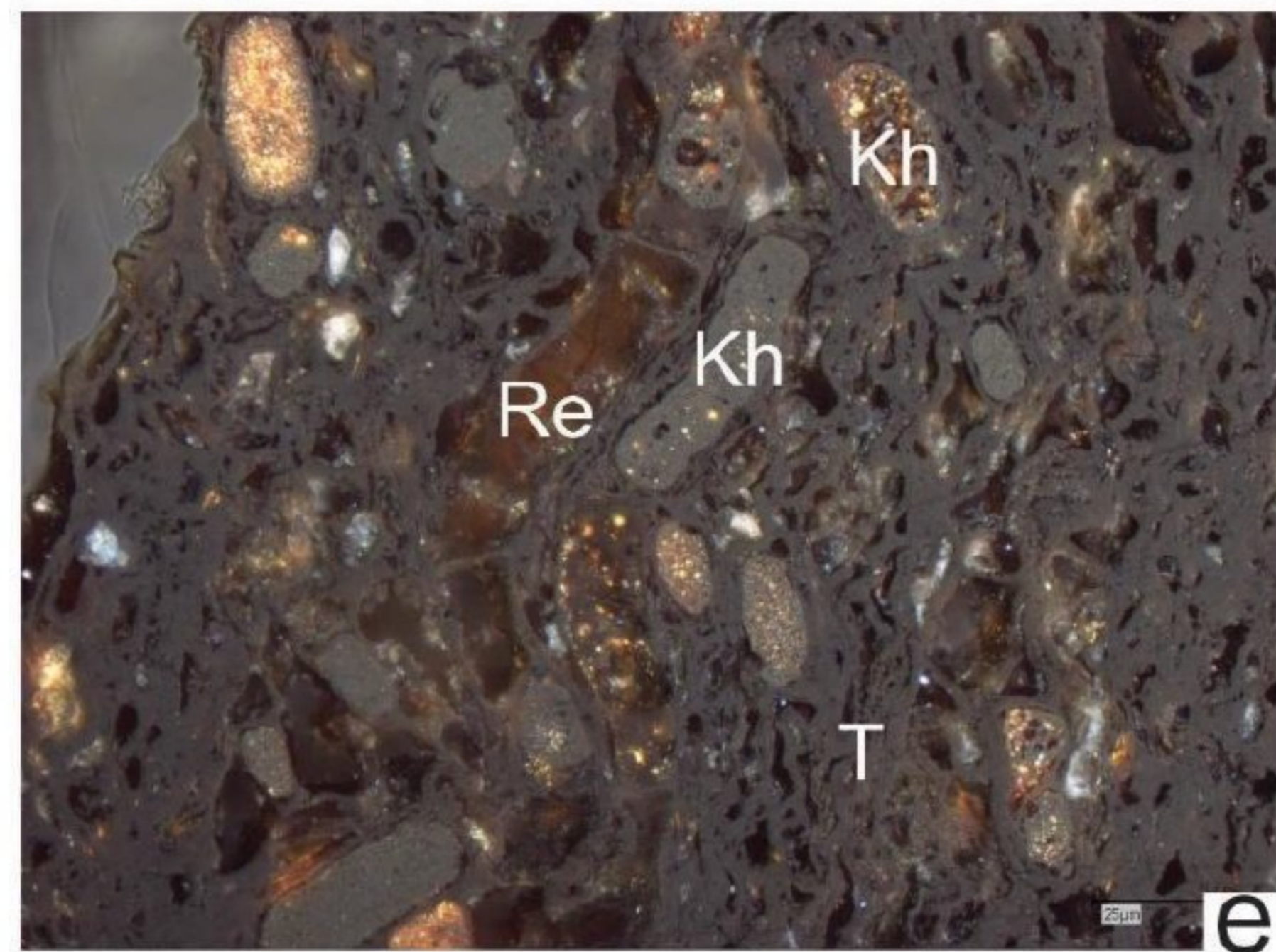
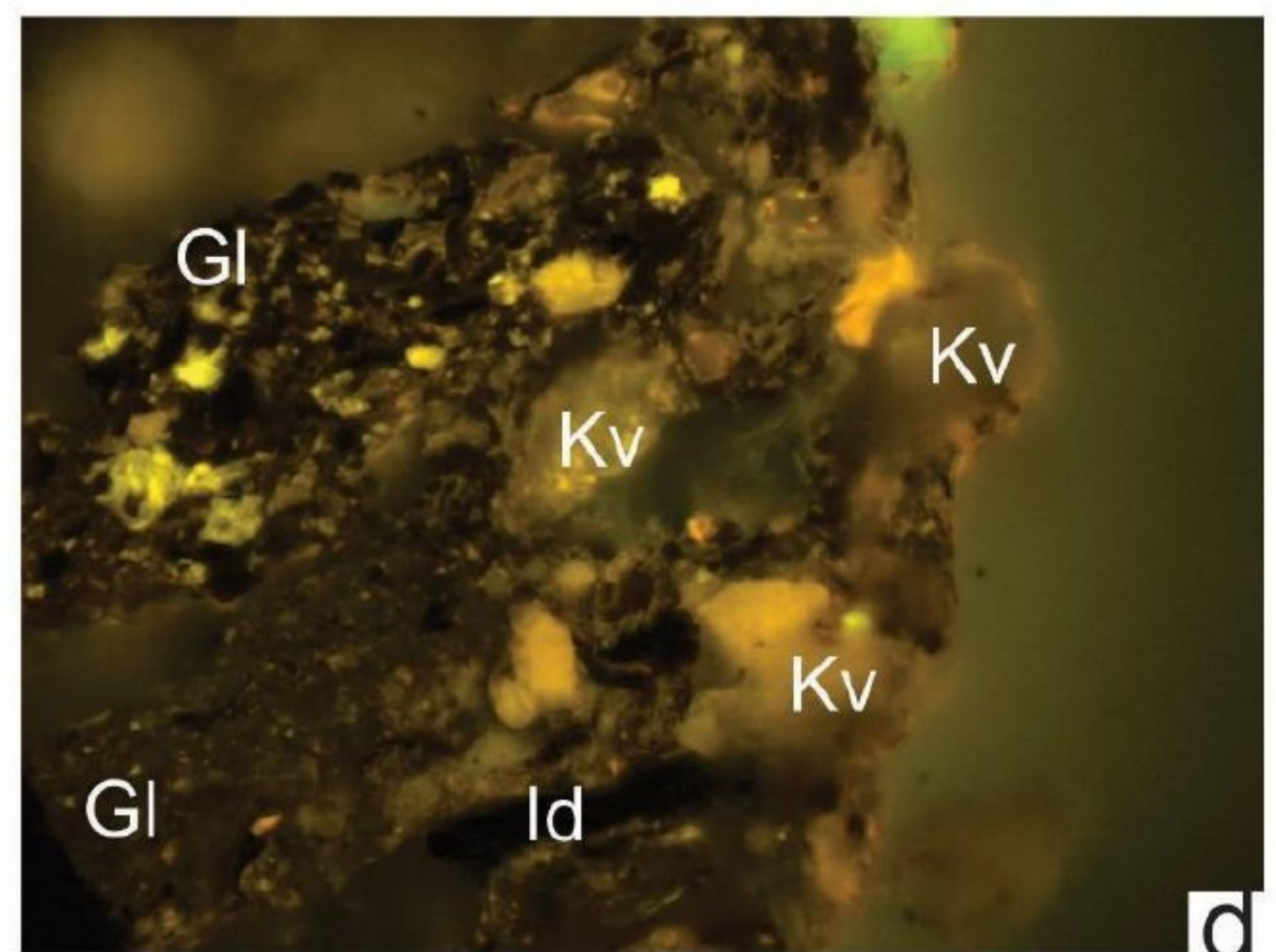
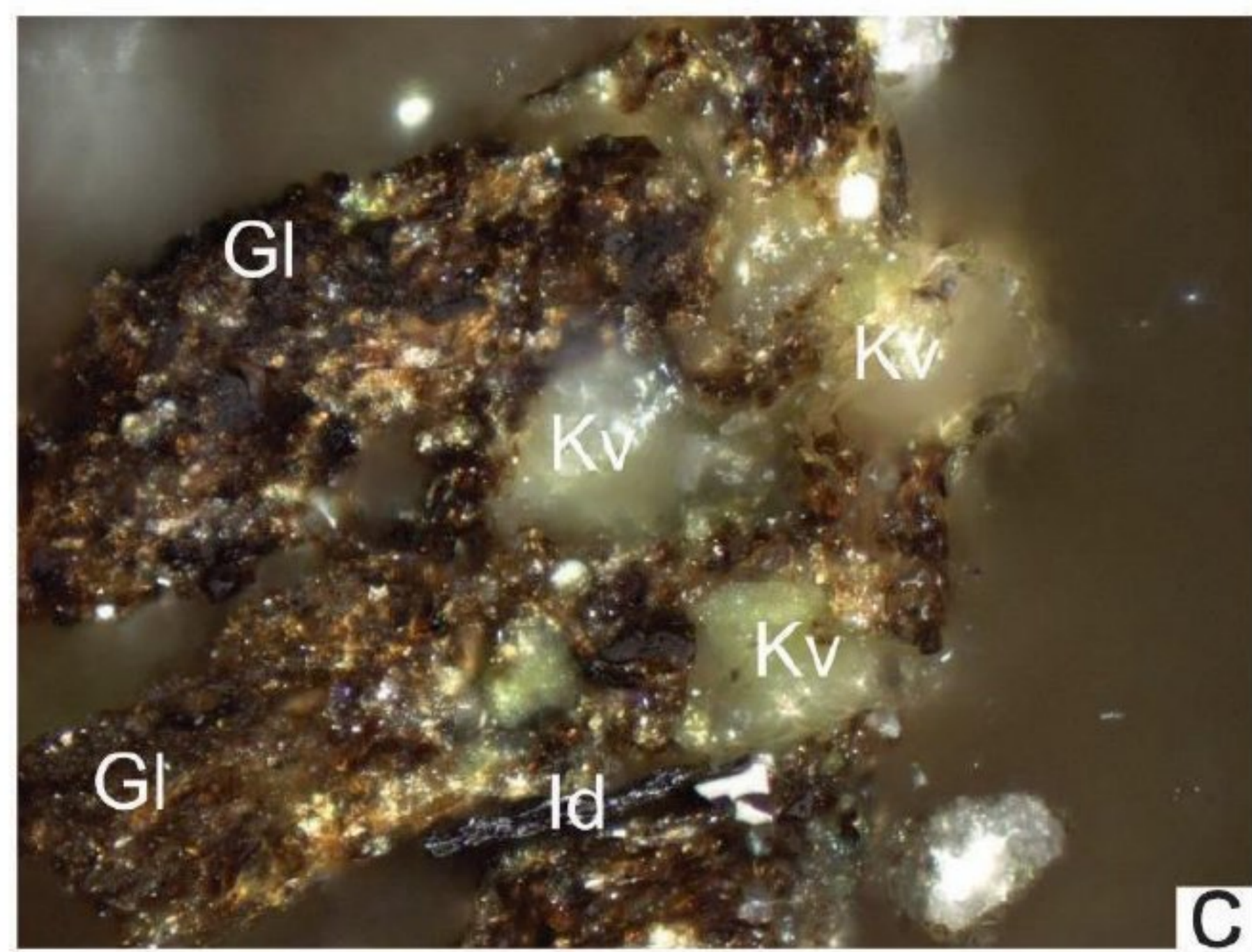
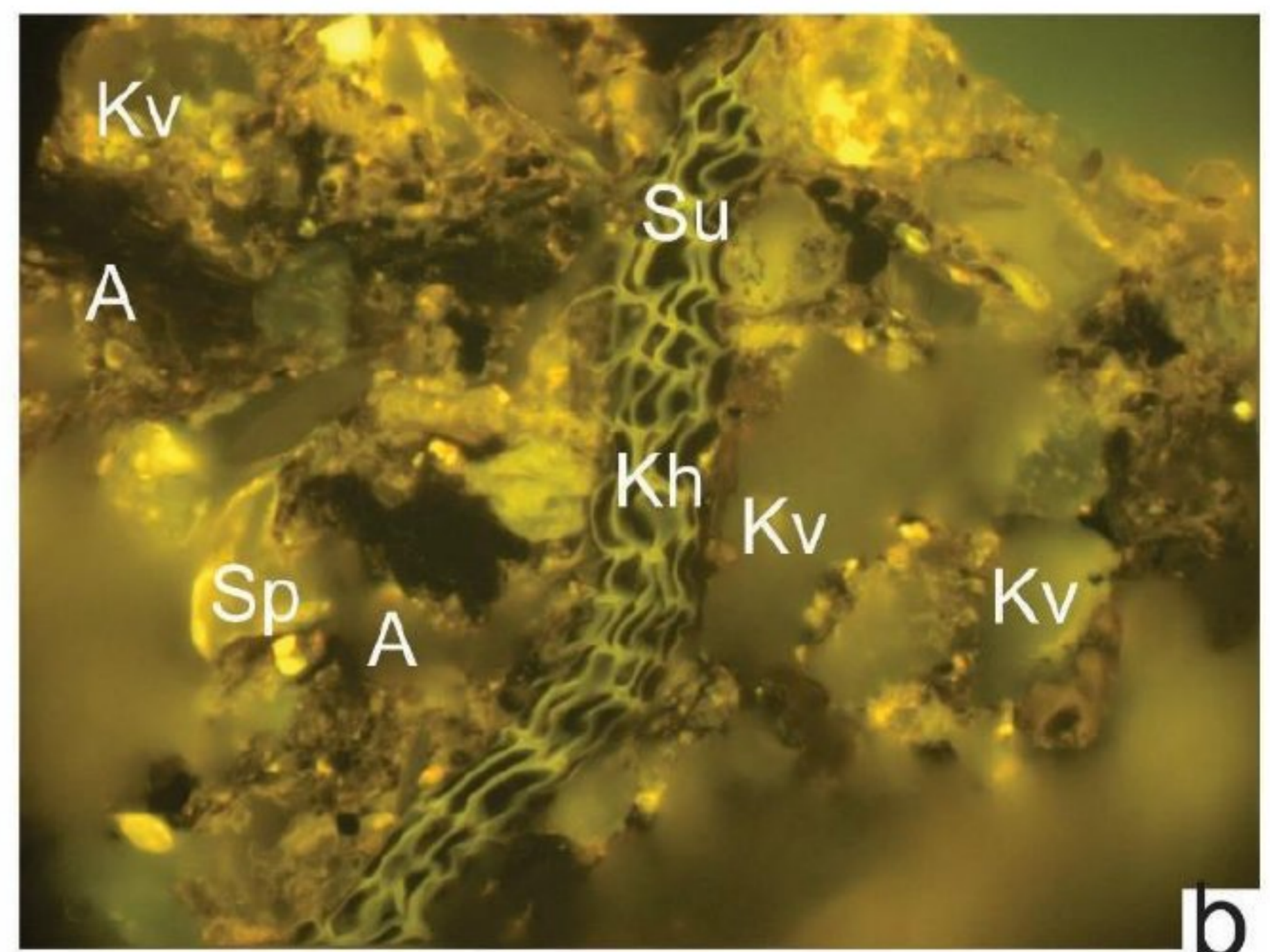
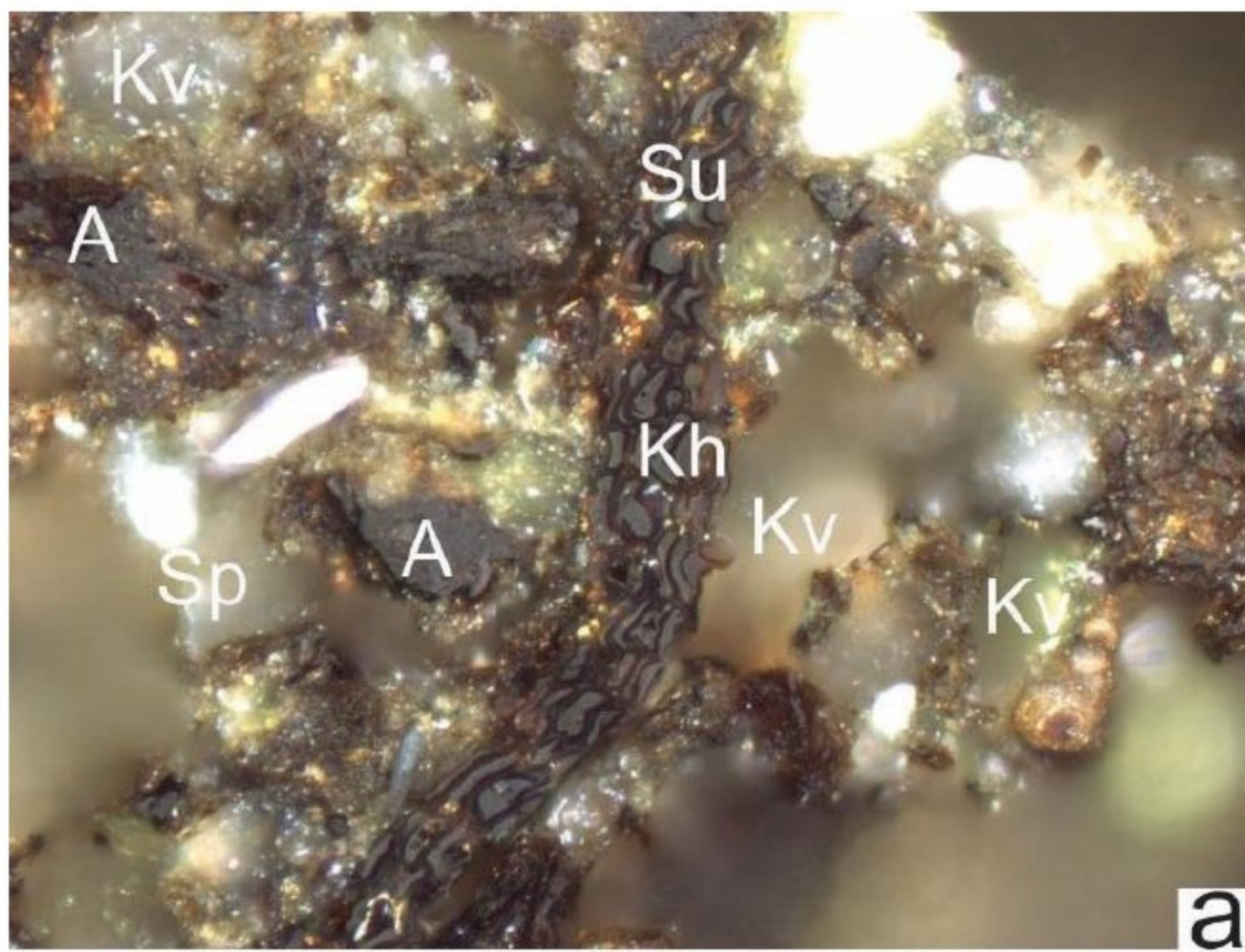
Slika 44 - Izgled macerala ispitivanih uzoraka u normalnoj (a, c, d) i ultraljubičastoj svetlosti (b, d,f);

Legenda: T-tekstinit, U-ulminit, A-atrinit, D-densinit, Kh-korpohuminit, Sp-sporinit, Su-suberinit, Ld-liptodetrinit, Fn-funginit.



Slika 45 – Izgled macerala ispitivanih uzoraka u normalnoj (a, c, d) i ultraljubičastoj svetlosti (b, d,f);

Legenda: T-tekstinit, U-ulminit, D-densinit, Kh-korpohuminit, Sp-sporinit, Ld-liptodetrinit.



Slika 46 – Izgled macerala ispitivanih uzoraka u normalnoj (a, c, d) i ultraljubičastoj svetlosti (b, d, f);

Legenda: T-tekstinit, A-atrinit, Kh-korpohuminit, Sp-sporinit, Su-suberinit, Ld-liptodetrinit, Id-inertodetrinit, Gl-glina, Kv-kvarc.

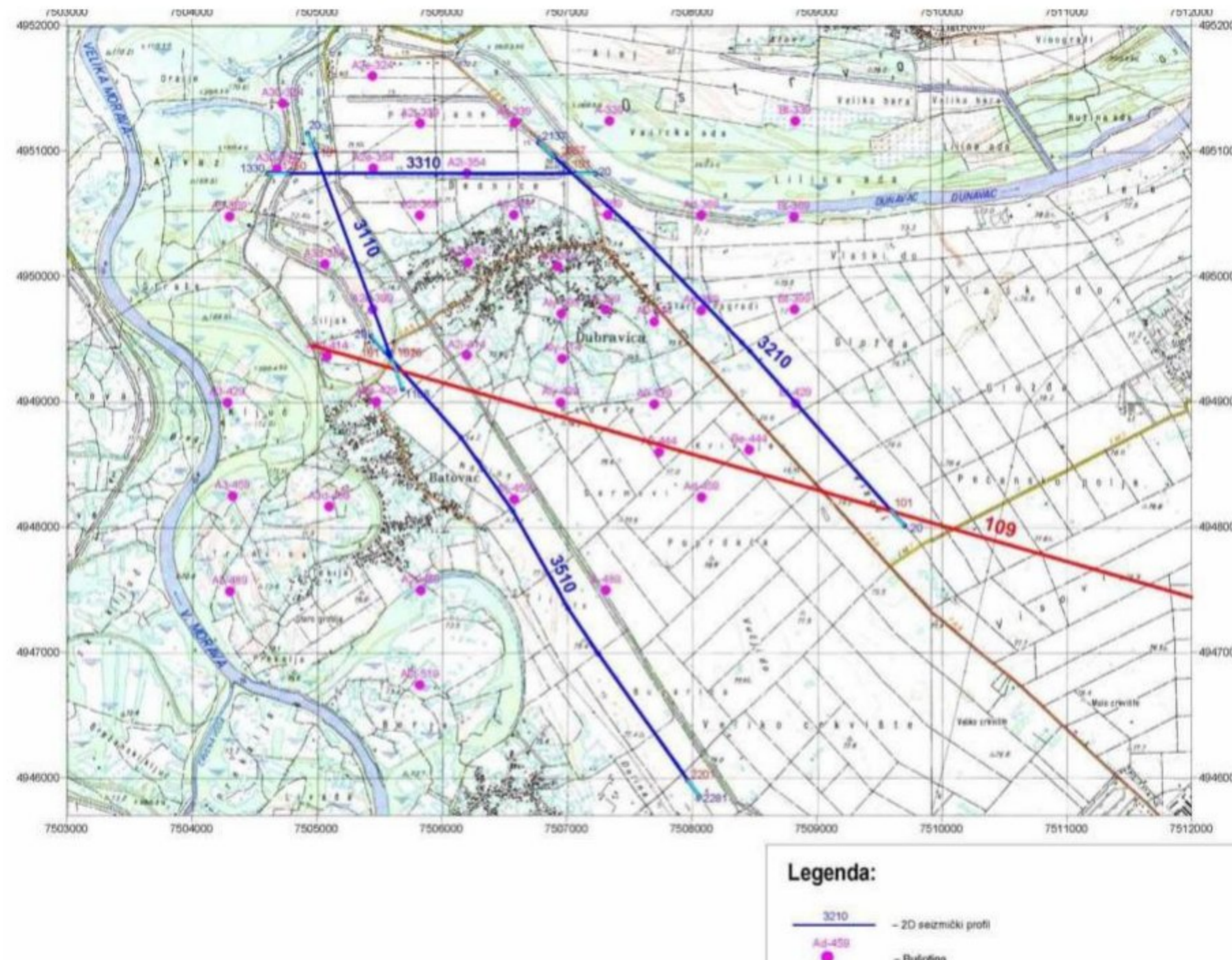
Rezultati maceralne analize uzoraka sa prvog profila pokazuju konstantne osobine, povećan sadržaj huminita, nizak sadržaj inertinita i liptinita, kao i mineralne materije. Ove karakteristike ukazuju na depoziciju u mirnoj močvari, sa slabim prinosom klastičnih sedimenata. Produkcija treseta je kontinuirana, a prisustvo tekstinita i ulminita ukazuje na dobru očuvanost biljnog tkiva. Budući da su uzorci uzeti iz podinskog, središnjeg i povlatnog dela, može se konstatovati da se uslovi depozicije uglja nisu drastično menjali, te da je prekid akumulacije treseta nastao usled postepenog prinosa terigenih klastita, bez izloženosti uglja eroziji.

Uzorci iz gornjeg dela profila pokazuju promene u sadržaju huminita. U prva dva uzorka uzeta u donjem delu profila, huminita ima procentualno manje nego u prethodnim uzorcima, ali je razlika nedovoljna da govori o drastičnim promenama u uslovima sedimentacije. Poslednji uzorak je uzet sa krovinskog dela prvog sloja u prelazu ka klastitima. Rezultati maceralne analize ovog uzorka pokazali su veoma visok nivo mineralne materije u ovom uglju, naročito zrna kvarca, glina, pirita i mineralnih kompleksa. Ove osobine mogu biti dobar indikator nagle promene u depozicionim uslovima i brzog prekrivanja tresetišta usled naglog povećanja prinosa klastičnih sedimenata. Nakon ove promene u depozicionim uslovima, potpuno prestaje akumulacija treseta i formiraju se dekametarske naslage peskova. Novi ciklus depozicije treseta formira se kasnije i danas je predstavljen drugim ugljenim slojem.

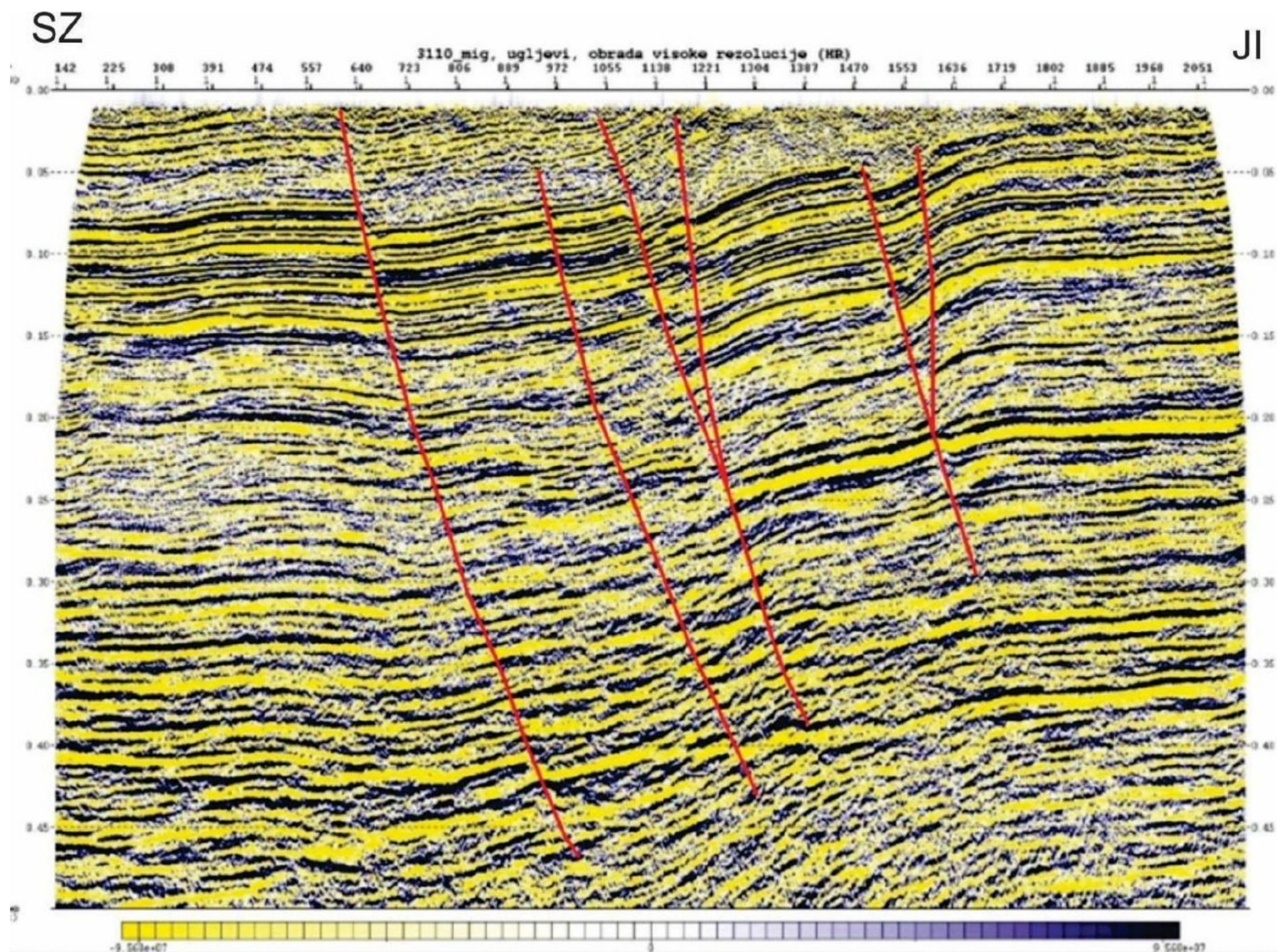
3.5 Rezultati seizmičkih istraživanja i intepretacija

U cilju sagledavanja geološke građe Kostolačkog basena i njegovih strukturnih karakteristika, izvršena su reflektivna seizmička istraživanja. Rezultati seizmičkih merenja preuzeti su iz Projekta detaljnih geoloških istraživanja 2021. godine. Na slici 47 predstavljene su pozicije seizmičkih profila po kojima su izvedena merenja, a za potrebe ovog istraživanja intepretirani su rezultati migrirane vremenske sekcije i dubinske sekcije profila 3110, koji se pruža pravcem severozapad – jugoistok.

Na slici 48 prikazana je intepretacija migrirane vremenske sekcije profila 3110, na kom se jasno uočava niz gravitacionih raseda koji padaju prema jugoistoku, a definisani su na osnovu prekida i pomeranja refleksija. Rasedi su strmi, velikog padnog ugla, a neki od njih su i subvertikalni. Severni deo profila karakteriše se kaskadnim normalnim rasedima, koji padaju na istu stranu, sa znatnim iznosima kretanja po rasedu, koje se smanjuje ka jugu. U središnjem delu profila uočavaju se dve negativne cvetne strukture, ograničene sa po dva normalna raseda koji padaju na suprotne strane, gde su dominantni ranije pomenuti rasedi koji padaju ka jugoistoku, dok su rasedi suprotnog pada subvertikalni i završavaju se u većim strukturama. Većina raseda završava se u plićim delovima ispod površine terena, dok neki od njih presecaju sedimente do površine. Moguće je primetiti da se rasedi na severnom delu prostiru do većih dubina, ali i pliće do površine, dok se ka jugu rasedi prostiru do manjih dubina, a i prekriveni su debljim horizontima neporemećenih sedimenata.

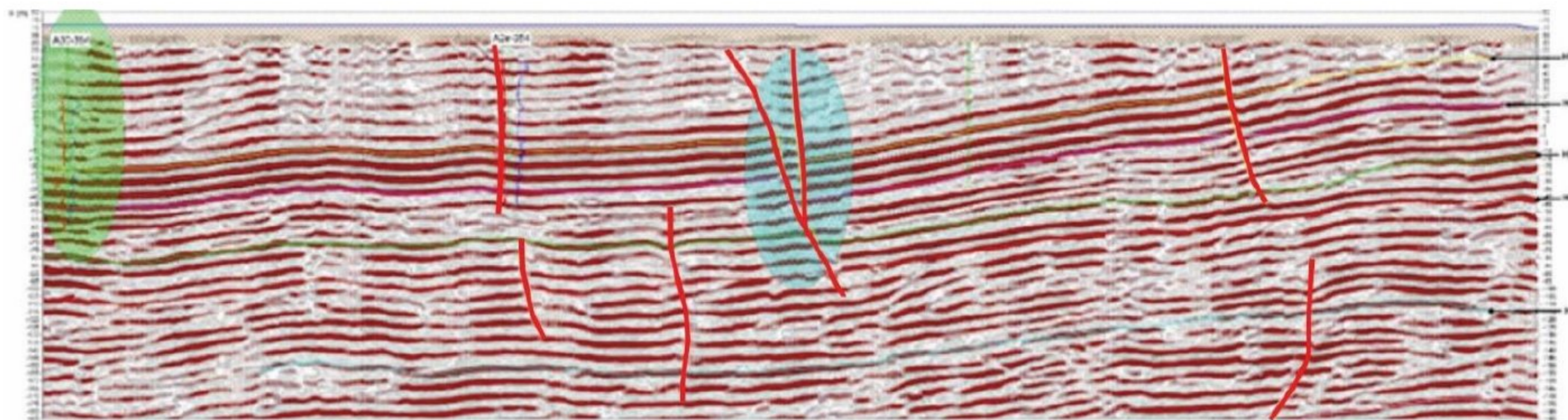


Slika 47 - Karta sa pozicijama seizmičkih profila.



Slika 48 – Interpretirana migrirana vremenska sekcija profila 3110.

Slične strukture mogu se videti i na dubinskoj sekciji profila 3110, prikazanoj na slici 49. Na ovoj sekciji uočen je manji broj raseda, budući da su prekidi refleksija teže uočljivi, potencijalno zbog manjeg kvaliteta podataka. Uočeno je nekoliko raseda sa padom ka jugoistoku, sličnih kao i na vremenskoj sekciji, međutim njihov dubinski kontinuitet na ovoj sekciji je narušen. Takođe je uočena i jedna negativna cvetna struktura (na slici označena plavim poligonom), identična kao na vremenskoj sekciji, dok druga, južnija, nije uočena.



Slika 49 - Interpretirana dubinska sekcija profila 3110.

Intepretacija podataka migrirane vremenske sekcije i dubinske sekcije profila 3110, pokazuje slične strukture na obe sekcije. Jasna je dominacija strmih normalnih raseda jugoistočnog pada, koji se uočavaju na obe sekcije. Rasedi na severnom delu profila su izraženiji, a budući da se prostiru do površine terena, mogu se definisati i kao mlađi, u odnosu na rasede na južnom delu terena, koji su pokriveni debljim naslagama kontinuiranih sedimenata.

Strukture uočene na ovom profilu mogu se po karakteristikama korelisati sa regionalnim normanim rasedima zaslužnim za formiranje peri – Panonskog sistema basena tokom miocena, pomenutim u uvodnom delu. Na intepretiranom regionalnom seizmičkom profilu (slika 4), uočava se niz normalnih raseda, kaskadnog tipa, po kojima je došlo do spuštanja stenskih blokova i otvaranja niza depresija, među kojima je i Drmljanska. Ovi rasedi imaju slične pozicione, genetske i kinematske karakteristike kao rasedi primećeni na sekcijama iznad, te se rasedi sa ovih sekcija mogu smatrati delom iste kinematske faze.

Prisustvo negativnih cvetnih struktura uočeno je na obe seizmičke sekcije, svedoči o dve tektonske faze koje su uslovile formiranje ovih struktura. Prva faza vezana je za ekstenzioni tektonski režim u kom dolazi do otvaranja akomodacionog prostora po sistemima gravitacionih raseda. Kao što je ranije navedeno, kretanje po normalnim rasedima je znatno, iako njegov iznos opada ka jugu. Deformacije ovih razmera mogu imati uticaja na formiranje ugljenih slojeva, budući da kretanja blokova remete ravnotežu između akomodacije i vodenog stuba, koja je veoma bitna za opstanak tresetišta. Druga faza vezana je za horizontalna smicanja, u kompresionom naponskom polju, koja dovode do reaktivacija predisponiranih površi i formiranja drugog niza gravitacionih raseda, koji formiraju negativne cvetne strukture.

4. DISKUSIJA

Za potrebe ovog istraživanja obrađeni su rezultati velikog broja različitih metoda, koje je neophodno postaviti u koncept sekvencione stratigrafije. Kao što je u prethodnim poglavljima navedeno, sekvenciona stratigrafija ugljeva ima sopstvene principe koji su prilagođeni prirodi sedimenata kojim se bave, kao i sopstvenu nomenklaturu i način izdvajanja stratigrafskih jedinica.

Rezultati sedimentoloških analiza čine osnovu ovog istraživanja, a izvedeni su iz primene terenskih i laboratorijskih ispitivanja. Sedimentološki stubovi koji su konstruisani za povratne delove III ugljenog sloja i sedimente između III i II ugljenog sloja, dali su značajan uvid u uslove depozicije koji su doveli do prekida akumulacije treseta i početak klastične akumulacije. Stubovi konstruisani u III ugljenom sloju ukazuju na postepene promene u depozicionim uslovima tokom celog intervala depozicije treseta, kao i povremene uplive veće količine klastičnog materijala. Kao glavni dokaz tome uzima se diskontinuitet u pružanju ugljenog sloja, gde se sam sloj definiše kao takav, ali je izgrađen od velikog broja proslojaka ugljevite gline, peska i ksilitnog uglja, gde dominantna litologija jeste ksilitni ugalj. Sedimenti koji se nalaze između dva ugljena sloja su peskoviti, u donjem delu masivni i krupnoslojeviti, dok u gornjem delu pokazuju niz različitih sedimentnih tekstura. Donji deo ove peščane serije se nastavlja na prvi ugljeni sloj i ukazuje na mirnu depoziciju, finozrni sedimenti govore o niskoj energiji depozicije, kao i povremene pojave horizontalne laminacije. U masivnom pesku pronađeni su fosili školjaka *Prosodacnomya* i puževa iz roda *Melanopsis* kao i ostrakode, što ukazuje na slatkovodnu, plitkovodnu depoziciju. Na prelazu u gornji deo sedimentne serije dolazi do promene uslova depozicije, iz mirnih depozicionih uslova ka dinamičnim. Glavni indikatori promene su prisustvo kose laminacije i proslojaka ugljeva, koji se mogu objasniti naglim prilivima materijala sa kopna bujičnim tokovima. Gornji deo peskovite serije pokazuje visok sadržaj gvoždavite komponente, kao glavnu karakteristiku. Prisustvo gvožđa može biti objašnjeno postsedimentacionim izluživanjem karbonata, te ukazuje na tople klimatske uslove. Peskovi su različite krupnoće zrna u zavisnosti od sredine deponovanja, ali su po sastavu kvarcni, gde su zrna kvarca dobro sortirana i zaobljena, što govori o dugom transportu. Uslovi depozicije ovog dela serije su promenljivi, u donjem delu izražena je horizontalna laminacija kao indikator mirne sredine, dok u srednjem i gornjem delu postoji kosa laminacija, konvolucija i nagle promene krupnoće zrna duž profila. Peskovita serija završava se masivnim peskovima, sličnim onima kojima i počinje, kao i žutim peskovima sa tragovima korenja, koji naviše prelaze u drugi ugljeni sloj. Na osnovu facijalne analize, izdvojene su facijalne asocijacije močvare, gornjeg i donjeg dela deltne ravnice. Močvarnoj asocijaciji pripadaju facije ksilitnih ugljeva i ugljevite gline, dok facije masivnih peskova sa i bez makrofaune pripadaju gornjem delu deltne ravnice. Donji deo deltne ravnice predstavljen je klastičnim facijama žutih peskova sa različitim teksturama, koje ukazuju na

brze promene dinamike depozicije. Facijalne asocijacije ukazale su na depoziciju u sistemu paralske močvare i deltnom depozicionom sistemu.

Karte debljina sedimenata ukazuju na zapunjavanje basena prema severu, gde se debljine svih granulometrijskih članova za koje su konstruisane karte, povećavaju vremenom ka severu. Depozicija ugljeva u prvim horizontima najveća je na jugu, ali ka mlađim delovima prelazi u ceo basen, dok se najmlađi ugljevi formiraju samo u severnim delovima. Slična situacija je sa kartama debljina peskova, u starijim horizontima debljina je najveća na jugu, ali vremenom se centar depozicije seli na sever, što markira progradaciju ka severu. U pojedinim horizontima moguće je izdvojiti konusna peščana tela, koja podsećaju na kanale u deltnom sistemu. Izokarte debljina gline ne pokazuju tolike varijacije u vremenu, ali pokazuju zakonitost širenja depozicionog centra sa juga ka severu.

Rezultati paleontološke analize pokazuju veću starost sedimenata u južnom delu basena, gde se kao indeks fosil koristi *Prosodacnomya carbonifera*, a manju starost u severnim delovima, gde je pronađena *Prosodacnomya elongata*. Osim školjaka, u sedimentima su pronađeni i puževi *Melanopsis decollata*, kao i ostrakode *Cyprideis triangulata*. Smanjenje starosti sedimenata ka severu je još jedan dokaz o progradaciji sa juga ka severu.

Korelacijom podataka geofizičkog karotaža na dva profila u severozapadnom delu basena, stečen je uvid o prostiranju sedimenata u prostoru i smenama facija visoke i niske energije reljefa. Profil sa pružanjem severozapad – jugoistok pokazuje jasan trend oplicavanja facija od juga ka severu. U južnim delovima horizonti alevrita i glina su znatno dominantniji, dok u severnim delovima dominantna je peskovita litologija. Slojevi uglja su relativno konstantni, ali su prelazi u severnom delu izraženiji, budući da ugalj direktno prelazi u pesak, dok na jugu ugalj prelazi prvenstveno u glinu pa tek onda u pesak. Na samom severu ovog profila pojavljuje se i treći ugljeni sloj koga u južnom delu basena nema. Drugi profil čiji podaci su korelisani, pruža se relativnim pravcem sever – jug, a pozicioniran je geografski severnije od prvog profila. Na odzivima karotaža ovih bušotina uočena su tri sloja uglja na svakoj bušotini, što potvrđuje pretpostavku sa prethodnog profila, da se najmlađi sloj prostire samo na severu. Facije i u ovoj korelaciji pokazuju oplicavanje ka severu, s tim što su razlike u krupnoći zrna na ovom profilu još izraženije. Iz intepretacije geofizičkih podataka proizilazi još jedan dokaz o progradaciji ka severu. Osim ovog zaključka, uočljiv je generalni trend povećanja zrna naviše u svim logovima, što govori o generalnom oplicavanju, kao regionalnom događaju i progradacionoj geometriji parasekvenci.

U prilog ostalim rezultatima idu i rezultati maceralne analize ugljeva. Ugljevi srednjeg dela III ugljenog sloja ukazuju na konstantne uslove depozicije treseta, bez naglih priliva terigenog materija ili izloženosti treseta eroziji i oksidaciji. Visok stepen očuvanosti biljne materije govori dodatno o stabilosti uslova formiranja treseta. Gornji deo III ugljenog sloja pokazuje drugačije osobine, prinos sedimenata sa kopna se povećava, što se ogleda u

porastu mineralne materije u uglju, naročito kvarca. Na osnovu toga jasno je da se akumulacija treseta završila usled potapanja močvare i početka povećanog priliva materijala sa kopna.

Rezultati intepretacije seizmičkih sekcija pokazali su prisustvo sistema kaskadnih gravitacionih raseda, koji padaju prema jugoistoku, a mogu se korelisati sa regionalnim rasedima zaslužnim za otvaranje Drmljanske depresije u miocenu i u tom kontekstu postaviti u isti kinematski akt. Prisustvo negativnih cvetnih struktura ukazuje na ekstenzioni tektonski režim, koji se vremenom smenjuje kompresionim režimom. Ekstenziono naponsko polje dovodi do formiranja gravitacionih raseda sa znatnim iznosom spuštanja blokova, što remeti kontinuitet sedimentne zapune basena. Izražena tektonska aktivnost narušava ravnotežu akumulacije treseta u močvari i dovodi do formiranja slojeva uglja sa jasnim prekidima kontinuiteta, lateralnim smenama klastičnih sedimenata i uglja. Ovakve karakteristike sloja primećene su u trećem, najstarijem ugljenom sloju i mogu se dovesti u vezu sa tektonskom aktivnošću u basenu, naročito u fazama otvaranja akomodacionog prostora u kom je došlo do formiranja uglja. Kompresiono naponsko polje dovodi do formiranja drugog sistema gravitacionih raseda, reaktivacijom postojećih rasednih površi, sa komponentnama horizontalnog i vertikalnog kretanja, koja na kraju formiraju negativne cvetne strukture. Formiranje ovih raseda može se izdojiti kao posebna kinematska faza, vremenski vezana za pleistocen i kvartar.

5. ZAKLJUČAK

U prethodno napisanim poglavljima definisane su osnovne geološke karakteristike područja istraživanja, glavni metodološki principi i principi sekvencione stratigrafije, predstavljeni rezultati različitih metoda i njihovo mesto u sekvenciono – stratigrafskom kontekstu.

Glavni zajednički zaključak svih dobijenih rezultata jeste povećan prinos sedimenata sa juga ka severu u vremenu. Granulometrijske karte pokazuju pomeranje centra deponovanja sa juga ka severu, kao i povećane debljine svih granulometrijskih članova u tom pravcu. Karte prostiranja slojeva uglja ukazuju na pomeranje oblasti akumulacije treseta ka severu u svakom novom ciklusu, dok najmlađi sloj postoji samo na severu.

Rezultati paleontološke analize uzoraka iz bušotina ukazuju na starost od 8 miliona godina u južnom delu, na osnovu *Prosodacnomya carbonifera*, a u severnom delu ta starost se smanjuje na 7,5 miliona godina na osnovu *Prosodacnomya elongata*. Ovaj podatak dodatno govori o progradaciji ka severu.

U korist ovog zaključka idu i rezultati geofizičkog karotaža koji jasno ukazuju na okrupnjavanje zrna u facijama ka severu, kao i migraciju tresetišta ka severu. Generalni trend okrupnjavanja na logovima ukazuje na regionalnu regresiju vodenog stuba. Geofizički podaci takođe govore i o postojanju najmanje tri ciklusa promene energije depozicije, od visoke do niske energije depozicije i obrnuto, sa aspekta primene sekvencione stratigrafije na ugljevima. Svaki ciklus niske energije počinje sa glinama i alevritima niske energije depozicije, nastavlja se sa peskovima i završava se horizontom uglja. Promena u visoku energiju depozicije počinje nakon svakog ugljenog horizonta, potapanjem močvare i formiranjem horizonta peska preko treseta. Na osnovu toga zaključuje se da je svaki ugljeni horizont produkt jednog ciklusa promene energije depozicije u basenu.

Postojanje ovih ciklusa potvrđuju i rezultati maceralne analize, koji ne pokazuju prisustvo erozionih površina na povlati ugljenog horizonta, koji bi ukazali na granicu parasekvence, nego se akumulacija treseta završava povećanim prinosom materijala i početkom klastične sedimentacije.

Facijalna analiza sedimenata između dva ugljena sloja takođe nije ukazala na postojanje bilo kakve erozione površi. Međutim ukazala je na veliki prinos dobro sortiranog i zaobljenog peskovitog materijala sa kopna, u depozicionom sistemu deltne ravnice. U ovom sistemu izdvojene su tri facijalne asocijacije, močvarna vezana za akumulaciju uglja, donji deo deltne ravnice predstavljen sukcesijom klastita sa karakteristikama brze promene dinamike depozicije i gornji deo deltne ravnice predstavljen masivnim peskovima. Karakteristike sedimenata ukazuju na dug transport, sa mogućim izvorom u Karpatima.

Cikličnost sedimentne serije uočava se i u ovim sedimentima, koji počinju depozicijom u mirnoj sredini, koja postepeno evoluirala u dinamičnu sredinu, te se na kraju vraća u uslove niske energije u kojima je depozicija i počela.

Deo sistema raseda po kom je došlo do formiranja Drmljanske depresije, uočava se na seizmičkim sekcijama koje su intepretirane. Niz strmih, kaskadnih, gravitacionih raseda korelativan je sa rasedima po kojima su otvoreni ostali baseni peri - Panonskog domena u miocenu i predstavlja deo većeg sistema Velikomoravskog raseda. Na smenu ekstenzionog i kompresionog naponskog polja ukazuju negativne cvetne strukture, čije formiranje može biti jedan od razloga lateralnih promena u litologiji ugljenih slojeva i narušavanja kontinuiteta ugljenog sloja. Prva tektonska faza je formiranje niza gravitacionih raseda u ekstenzionom naponskom polju tokom miocena, koji su usloveli formiranje akomodacionog prostora. Druga tektonska faza vezana je za formiranje raseda u kompresionom naponskom polju, sa komponentama horizontalnog i vertikalnog kretanja, koji su formirali negativne cvetne strukture u pleistocenu i kvartaru. Osim toga, širenje akomodacionog prostora po sistemu normalnih raseda jugoistočnog pada, može biti dovedeno u vezu sa migracijom ugljenih slojeva ka severu i severoistoku.

Kao glavni zaključak celog istraživanja izvodi se mogućnost korišćenja sekvencione stratigrafije na neogenim ugljevima u Srbiji, sa pozitivnim rezultatima. Unapređenje metodologije je moguće kroz korišćene podatke o tehničkoj analizi ugljeva, sistematičnije uzorkovanje ugljeva direktno kod podine i povlate, povećanje broja korelisanih bušotina, primena metoda apsolutnog datovanja.

ZAHVALNICA

Ovom prilikom, želela bih da se zahvalim svima koji su ovaj master rad učinili mogućim, sa nadom za budućim saradnjama.

Pre svega, profesorki dr Dragani Životić, zahvaljujem se za neizmernu pomoć i konstantnu podršku u radu, savete i sugestije, vezane za rad i životna iskustva. Profesoru dr Urošu Stojadinoviću beskrajno sam zahvalna na podršci u svim idejama tokom prethodnog perioda studiranja, kao i na svim prijateljskim savetima. Takođe, zahvaljujem se profesoru dr Draženku Nenadiću, na pomoći pri izradi mastera i korisnim sugestijama. Posebnu zahvalnost dugujem mentoru, profesoru dr Dejanu Radivojeviću, na svim idejama, savetima, konstruktivnim kritikama, posvećenosti i istrajnosti, a naročito na podršci i razumevanju, vezanim za rad ali i dalji karijerni put. Veliku zahvalnost upućujem i profesorki dr Nevenki Đerić na bezbrojnim savetima i podršci tokom studiranja.

Takođe, zahvaljujem se i svojim kolegama, Maši Vulović na pomoći pri terenskom radu, Aleksi Viziju za korisne savete i objašnjenja i svim ostalima za pruženu podršku u prethodnim godinama.

Na kraju, najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici i prijateljima, koji su me bezuslovno podržavali tokom studija, na svoj pomoći, strpljenju i razumevanju; pogotovo svojoj sestri Evgeniji i majci Miladi koje su bile moja najveća podrška.

LITERATURA

1. ASTM D2799-05, 2005. Standard test method for microscopical determination of the maceral composition of coal, *American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA*, str. 3.
2. Bohacs, K., Suter, J., 1997. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples, *AAPG Bulletin*, 81, str. 1612 – 1639.
3. Catuneanu, O., 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, str. 7, 17, 73.
4. Dimitrijević, M., 1997. Geology of Yugoslavia, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet, Beograd, str. 9.
5. Ercegovac, M., Životić, D., Kostić, A., 2006. Genetic–industrial classification of brown coals in Serbia, *International Journal of Coal Geology*, 68, str. 39 – 56.
6. Guo, B., Shao, L., Hilton, J., Wang, L., Zhang, L., 2018. Sequence stratigraphic interpretation of peatland evolution in thick coal seams: Examples from Yimin Formation (Early Cretaceous), Hailaer Basin, China, *International Journal of Coal Geology*, 196, str. 211 – 231.
7. Holz, M., Kalkreuth, W., Banerjee, I., 2002. Sequence stratigraphy of paralic coal-bearing strata: an overview, *International Journal of Coal Geology*, 48, str. 147 – 179.
8. International Committee for Coal and Organic Petrology, 2001. The new inertinite classification, 80, str. 459 - 471.
9. ISO 7404-3, 2009. Methods for the petrographic analysis of coals - Part 3: Method of determining maceral group composition, International Organization for Standardization, Switzerland, str. 7.
10. Jarrett, R., Flint, S., Davies, R. C., Hodgson, D. M., 2011. Sequence Stratigraphic interpretation of Pennsylvanian (Upper Carboniferous) coal from the central Appalachian Basin, USA, *Sedimentology*, 58, str. 1180 – 1207.
11. Krstekanić, N., Stojadinović, U., Kostić, B., Toljić, M., 2017. Internal structure of the Supraetic Unit basement in the Serbian Carpathians and its significance for the late early cretaceous nappe-stacking, *Anali Balkanskog poluostrva* 78, str. 1–15.
12. Marović, M., 2001. Geologija Jugoslavije, Skripta, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, str. 11 – 14.
13. Matenco, L., Radivojević, D., 2012. On the formation and evolution of the Pannonian Basin: Constraints derived from the structure of the junction area between the Carpathians and Dinarides, *Tectonics*, 31, str. 2 – 31.
14. Pickel W., Kus J., Flores D., Kalaitzidis S., Christanis K., Cardott B.J., Miszkennan M., Rodrigues S., Hentschel A., Hamor-Vido M., Crosdale P., Wagner N., 2017. Classification of liptinite – ICCP System 1994, *International Journal of Coal Geology*, 169, str. 40-61.

15. Radivojević, D., Radonjić, M., Katona, L. T., Magyar, I., 2022. Against the tide: southeast to northwest shelf edge progradation in the southeastern margin of Lake Pannon, Banat (Serbia and Romania), *International journal of Earth Sciences*, 111, str. 73 – 88.
16. Raffi, I., Wade, B.S., Pälke, H., Beu, A.G., Cooper, R., Crundwell, M.P., Krijgsman, W., Moore, T., Raine, I., Sardella, R., Vernyhorova, Y.V., 2020. The Neogene Period, *Geologic Time Scale 2020*, 2, str. 1141-1215.
17. Rakić, M., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Bela Crkva, str. 15 – 25.
18. Rundić, Lj., Ganić, M., Knežević, S., Soliman, A., 2011. Upper Miocene Pannonian sediments from Belgrade (Serbia): new evidence and paleoenvironmental considerations, *Geologica Carpathica*, 62, str. 267 – 278.
19. Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fugenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tichler, M., Ustaszewski, K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units, *Swiss J. Geosci*, 101, str. 139–183.
20. Schmid, S. M., Fugenschuh, B., Kounovc, A., Matenco L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszewski, K., Hinsbergend, D. J. J., 2020. Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey, *Gondwana Research*, 78, str. 308 – 374.
21. Shao, L., Wang, X., Wang, D., Li, M., Wang, S., Li, Y., Shao, K., Zhang, C., Gao, C., Dong, D., Cheng, A., Lu, J., Ji, C., Gao, D., 2020. Sequence stratigraphy, paleogeography, and coal accumulation regularity of major coal-accumulating periods in China, *International Journal of Coal Science & Technology*, 7, str. 240 – 262.
22. Stach E., Mackovsky M. Th., Teichmüller M., Taylor G., Chandra D. & Teichmüller R., 1975. Coal petrology, Gebrüder borntraeger, Berlin, str. 554.
23. Stojadinović, U., Krstekanić, N., Kostić, B., Ružić, M., Luković, A., 2021. Tectonic evolution of the Vršac Mts. (NE Serbia): Inferences from field kinematic and microstructural investigations, *Geologica Carpathica*, 72, str. 395 – 405.
24. Stojanović, K., Životić, D., Šajnović, A., Cvetković, O., Nytoft, H. P., Scheeder, G., 2012. Drmno lignite field (Kostolac Basin, Serbia): origin and palaeoenvironmental implications from petrological and organic geochemical studies, *Journal of Serbian Chemical Society*, 77, str. 1109 – 1127.
25. Sykorova I., Pickel W., Christanis K., Wolf M., Taylor G. H., Flores D., 2005. Classification of huminite ICCP System 1994, *International Journal of Coal Geology*, 62, str. 85-106.
26. Taylor G. H., Teichmüller M., Davis A., Diessel C. F. K., Littke R., Robert P., 1998. Organic Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, str. 704.

27. Toljić, M., Stojadinović, U., Krstekanić, N., 2019. Vardar zone: new insights into the tectono-depositional subdivision, *Zbornik radova, knjiga sažetaka i radova II kongres geologa Bosne i Hercegovine*, Laktaši, str. 60 – 73.
28. Tucker, M., 1988. *Techniques in Sedimentology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, str. 5 – 23.
29. Tucker, M., 2001. *Sedimentary Petrology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, str. 6.
30. Vincent, S., Macdonald, D., M., Gutteridge, P., 1999. *Sequence stratigraphy*, John Wiley and sons, New York, str. 299 – 351.
31. Vučković, B., 2021. Projekat primenjenih geoloških istraživanja ležišta Drmno, JP EPS Beograd, Beograd, str. 164 – 168.
32. Životić, D., 2001. Petrografski sastav i kvalitet uglja Kostolačkog basena i njegov energetski potencijal – Magistarska teza, Rudarsko – Geološki fakultet, str. 8 – 12.
33. Životić, D., Gržetić, I., Simić, V., Popović, V., Milićević, V., 2008. Sadržaj potencijalno toksičnih mikroelemenata u uglju Kostolačkog basena, *Tehnika - Rudarstvo, geologija i metalurgija*, 59, str. 5 – 12.
34. Životić, D., Bechtel, A., Sachsenhofer, R., Gratzer, R., Radić, D., Obradović, M., Stojanović, K., 2014. Petrological and organic geochemical properties of lignite from the Kolubara and Kostolac basins, Serbia: Implication on Grindability Index, *International Journal of Coal Geology*, 131, str. 344 – 362.
35. Životić, D., 2018. *Geologija ugljeva*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet, Beograd, str. 147 – 168.
36. Wang, S., Shao, L., Wang, D., Hilton, J., Guo, B., Lu, J., 2020. Controls on accumulation of anomalously thick coals: Implications for sequence stratigraphic analysis, *Sedimentology*, 67, str. 991 – 1013.
37. Whittaker, A., 1999. *Borehole data and geophysical log stratigraphy*, John Wiley and sons, New York, str. 243 – 275.
38. <https://www.eps.rs/>
39. <https://geoliss.mre.gov.rs/>

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента АНАСТАСИЈА НУКИЋ

Број индекса Г 612/22

Изјављујем

да је завршни рад под насловом

ВИСОКОРЕЗОЛУЦИЈНА СЕКРЕЦИОНА СТРАТЕГИЈА
УГЉЕМА КОСТОЦА

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кришио/да ауторска права и користио/да интелектуалну својину других лица.

У Београду, _____

Потпис студента

ИЗЈАВА
О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента Анастасија (Снежана) Илић
Број индекса Г 612/22
Студијски програм РЕГИОНАЛНА ГЕОЛОГИЈА
Наслов рада Високорезолуциона селекционата
СТРАТИГРАФИЈА УГЛЕНА КОСТОЛЦА
Ментор проф др Лејан Радивојевић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

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

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, _____

Потпис студента

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Високорезолутивна сензациона структура
угља Костолица

који је моје ауторско дело.

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

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је (заокружити једну од две опције):

- I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;
- II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора 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)

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

У Београду, _____

Потпис ментора

Потпис студента

1. **Ауторство.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
 2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
 3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
 4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
 5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
 6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-

ПОТВРДА

О ПРЕДАЈИ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Потврђује се да је студент Александра (Славољубић) Илић
(име (име родитеља) презиме)

бр. индекса ГМЗ/22 предао/ла електронску верзију завршног рада на
основним/мастер академским студијама под насловом:

Високорезолуциона секвенционата стратиграфија
угљена Костолаца

који је урађен под менторством Др. Радивојковић ванредни професор
(име, презиме и звање)

за Дигитални репозиторијум завршних радова РГФ-а.

Потврда се издаје за потребе Одељења за студентска и наставна питања и не може се
користити у друге сврхе.

У Београду, _____

Библиотекар
